

**Abteilungsübergreifende Termin- und Reihenfolgeplanung
in Krankenhäusern mittels multichromosomaler,
künstlicher Evolution**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt an der Fakultät für Informatik und Automatisierung
der Technischen Universität Ilmenau

von Dipl.-Wirt.-Inf. Matthias Jürgen Kühn
geb. am 06.04.1981

1. Gutachter: Prof. Ph.D. Horst Salzwedel
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel

Tag der Einreichung: 30.06.2016

Tag der wiss. Aussprache: 19.04.2017

Vorwort

*“Since the building of the universe is perfect
and is created by the wisdom creator,
nothing arises in the universe
in which one cannot see the sense of
some maximum or minimum.”*

(Leonhard Euler)

Menschen schaffen künstliche Systeme, leben und arbeiten in diesen. Mit der Weiterentwicklung der Gesellschaft, der Technik und den Möglichkeiten der Interaktion, steigt die Komplexität der Systeme immer weiter an. Der Mensch ist in seinem Verständnis begrenzt. So ist es nur natürlich, dass die durch den Menschen geschaffenen Systeme durch Unsicherheiten und Fehler behaftet sind. Der Mensch ist in seinem Wesen bestrebt zur Vermeidung und Reduktion der Unsicherheiten und Fehler, einhergehend mit der Akzeptanz, unter Ungewissheit zu leben¹. Dieses grundlegende Bestreben zur Minimierung der Unsicherheit oder Maximierung des Nutzens findet sich in fast allen Bereichen des Lebens in der modernen (westlichen) Gesellschaft. Immer verbunden mit dieser Suche sind die Fragen: Wo sind die Grenzen der Unsicherheit – wo sind Minimum resp. Maximum? und: Wo stehen wir? Um diese Fragen zu beantworten, entwickelten die Menschen neue Methoden zur Eingrenzung der Unsicherheit, zum „Greifen“ von Problemstellungen, z.B. in einem Modell, und zur Lösung von bis dato nicht zu lösenden Problemstellungen². Hierin begründet sich die Wissenschaft des Operations Research, als:

„... Wissenszweig, der sich mit der Analyse von praxisnahen, komplexen Problemstellungen im Rahmen eines Planungsprozesses zum Zweck der Vorbereitung von möglichst guten Entscheidungen durch die Anwendung mathematischer Methoden beschäftigt.“ [Domschke et al. 2011, S. 1] (vgl. [Zimmermann 1963, S. 11; Zimmermann & Stache 2001, S. 2; Hillier & Lieberman 2010, S. 1–3]).

Unter diesem Blickwinkel wird in der vorliegenden Arbeit versucht die Unsicherheit in Krankenhäusern (Kliniken) bei der Planung von Patienten (in einem Modell) greifbar zu machen und trotz der herausfordernden Komplexität Lösungen zu finden, welche zur Weiterentwicklung und Verbesserung, hin zu einem durch verschiedenste, teils gegenseitig bedingender Zielstellungen, das unbekannte Optimum zu erreichen versuchen.

¹ Prinzip des Grenznutzens – absolute Sicherheit bedarf des maximalen Aufwandes.

² Auch wenn sich dies zunächst nur als Näherungslösung darstellt.

Danksagung

Zunächst gebührt mein außerordentlicher Dank meinen Eltern, für die Ausbildung, welche sie mir ermöglicht haben sowie für die Freiheiten zur eigenen Verwirklichung, welche sie mir im Zuge dessen eingeräumt haben.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Ph.D. Horst Salzwedel, welcher mein Promotionsvorhaben von Anfang an unterstützt hat. Er stand mir jederzeit als Diskussionspartner für fachliche Probleme zur Verfügung. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Nissen. Mit seinen sehr hilfreichen Anregungen konnte die Qualität der vorliegenden Arbeit deutlich gesteigert werden. Ferner danke ich Herrn Dipl.-Inf. Tino Jungebloud von der Firma Mission Level Design GmbH für die technische Unterstützung bei der Modellentwicklung, Herrn Dipl.-Inf. Joachim Lippold und Herrn Dipl.-Inf. Thomas Severin für die Programmierung.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Fachgebiets System- und Steuerungstheorie der Technischen Universität Ilmenau, allen voran Herr Prof. Dr. Zimmermann.

Ich danke insbesondere Herrn Prof. Dr. Dr. Markus Ferrari, Herrn Dr. Sebastian Freytag, Herrn Dr. Ulf Dennler, Herrn Prof. Dr. Markus Zabel und Frau Prof. Dr. Sabine Blaschke für ihre Unterstützung innerhalb der Referenzkliniken. Ohne sie wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen. Darüber hinaus danke ich den vielen nicht genannten Ärzten, Pflegekräften und Verwaltungskräften aus den Referenzeinrichtungen, welche, neben dem Tagesgeschäft, bei der Datenerhebung behilflich und tolerant waren. Ein großer Dank gebührt Herrn Dr. Björn Kabisch, welcher zu den richtigen Momenten den Ansporn gab, über den einen oder anderen Punkt der Umsetzung noch einmal kritisch nachzudenken. Hierdurch konnte die Qualität des Modells und damit der vorliegenden Arbeit deutlich gesteigert werden.

Darüber hinaus gilt mein Dank auch der Firma Mission Level Design GmbH für die unentgeltliche zur Verfügungstellung des Simulationssystems (MLDesigner), der Firma Semtation GmbH für die unentgeltliche Bereitstellung des Modellierungswerkzeuges (SemTalk) zur Prozessmodellierung und dem Rechenzentrum der TU Ilmenau für die unentgeltliche zur Verfügungstellung zweier Server zum Zweck der Simulation.

Zu guter Letzt danke ich meiner Lebensgefährtin für ihre unendliche Geduld und ihrer Nachsicht mit mir, während der Zeit die ich mit der Anfertigung dieser Arbeit verbracht habe.

Kurzbeschreibung

Seit der Umstellung des Vergütungssystems auf diagnosebezogene Fallpauschalen sind Krankenhäuser gezwungen, effizient zu arbeiten um kostendeckend zu wirtschaften. Unter diesem Gesichtspunkt steigt die Notwendigkeit zur Planung und Optimierung der Abläufe innerhalb dieser. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist eine abteilungsübergreifende Termin- und Reihenfolgeplanung der Patienten, mit dem Ziel, die Krankenhausressourcen möglichst effizient einzusetzen und die Wartezeiten der Patienten zu minimieren. Bis heute werden Lösungsansätze nach ambulanter Aufnahmeplanung, stationärer Aufnahmeplanung sowie OP-Planung differenziert und überwiegend losgelöst voneinander betrachtet. Die bisherigen Lösungsansätze verkennen weitestgehend, dass die stationär und ambulant aufgenommenen Patienten im weiteren Ablauf teils die selben Ressourcen beanspruchen. Auch lässt sich eine OP-Planung nicht verlässlich durchführen, ohne die Aufnahmeplanung und ohne die vorhandenen Krankenhausressourcen (z.B. Betten, Personal) mit deren jeweiligen Kapazitäten in der Planung zu berücksichtigen. Daher erfolgt erstmalig in der hier entwickelten Planungsmethode eine gesamtheitliche Betrachtung der Problemfelder der stationären Aufnahmeplanung, der ambulanten Aufnahmeplanung und der OP-Planung, unter Berücksichtigung erforderlicher vor- und nachgelagerter Ressourcen, insbesondere der Notaufnahme. Es wird auf den Untersuchungsgegenstand bezogen aufgezeigt, wie die vorliegenden fachübergreifenden und dynamischen Gegebenheiten (fachübergreifende und dynamische Komplexität) berücksichtigt werden können, ohne im Detaillierungsgrad mit vielen stark vereinfachenden Annahmen zu arbeiten (Detailkomplexität), wie es bisherige Arbeiten tun. Um der dynamischen Eigenschaft der zugrunde liegenden Prozesse zu entsprechen (dynamische Komplexität), wurde ein dynamisches Simulationsmodell (ausführbares Modell) entwickelt, welches unter Einsatz einer hier entwickelten Methode zur automatisierten Transformation aus eEPK Prozessbeschreibungen aufgebaut und an Realdaten validiert wurde. Der Arbeit liegen Prozesse und Daten aus drei Kliniken der Maximalversorgung zugrunde (Referenzklinik). Um der Detailkomplexität gerecht zu werden, sind im Modell auf die Planung einwirkende stochastische Einflüsse berücksichtigt, wie u.a. Notfälle, nicht geplantes Patientenaufkommen (nicht-elektiv, walk-ins), Unpünktlichkeit von Patienten, Ausbleiben von Patienten (no-show), Varianzen im Behandlungsverlauf, Varianzen in den Bearbeitungszeiten oder Störungen resp. Ausfälle technischer Ressourcen. Das entwickelte Planungskonzept wird in einer multichromosomalen Repräsentation kodiert. Die Planung und Optimierung erfolgt mit einem hybriden Genetischen Algorithmus (GA), welcher eine hier entwickelte Methode der selbstadaptiven Mutation einsetzt. Im Weiteren werden die Ergebnisse der optimierten Termin- und Reihenfolgeplanung dargelegt und analysiert. Abschließend wird ein konkreter Vorschlag zur Umsetzung im Krankenhaus unterbreitet.

Abstract

Since the compensation system was switched to diagnosis-related payments, hospitals have been forced to work efficiently in order to economize and cover costs. To achieve these objectives, processes have to be planned and optimized. In this work, an inter-departmental plan for appointment and patient sequencing is developed, that focus on using hospital resources efficiently and minimize patients waiting time. Up to now the approach has been to find dedicated and independent solutions for the outpatient admission, inpatient admission and operating room (surgery) planning, even so they are dynamically coupled. The current solutions for the most part do not take into consideration that inpatients and outpatients lay claim to many of the same resources in subsequent procedures. Surgery planning cannot be carried out reliably without planning admission or taking the available resources of the hospital (e.g. beds, staff) and their respective capacities into account. The planning method developed here, hence for the first time combines the problem areas in planning admissions for in- and outpatients, and surgeries, taking into account the required upstream and downstream resources, in particular from the emergency department. It is shown, how the inter-departmental, dynamic conditions (inter-departmental and dynamic complexity) can be taken into account without the need to work at a level of detail with numerous grossly simplifying assumptions (detail complexity) as in previous research. In order to consider the dynamics of the underlying processes (dynamic complexity), a dynamic simulation model (executable model) has been developed. An automated transformation method was developed and used to transform an eEPC description of the underlying processes into an executable model. The model was validated for recorded data from a hospital. The research was based on processes and data from three maximum care clinics (reference clinics). To do justice to the detail complexity, stochastic variations which affect planning have been taken into consideration, such as emergencies, unplanned patient volumes (non-electives, walk-ins), patients' lack of punctuality, patient absence (no-show), variances in the course of treatment, variances in processing time or faults and failures of technical resources. The developed planning concept is coded by a multichromosomal representation. For planning and optimization, a hybrid genetic algorithm (GA) is used, that employs a method for self-adapting mutation developed here. GA performance for self-adapting mutation rate and several static mutation rates are compared. The results of the optimization are presented and analyzed. It is shown how the developed planning concept may be integrated into an existing hospital IT-system (SAP IS-H*med).

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis.....	XVII
Abkürzungsverzeichnis.....	XXI
1. Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung	10
1.3 Forschungsmethode.....	12
1.4 Gliederung und Aufbau der Arbeit.....	13
2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken	15
2.1 Definition Krankenhaus und Organisationsstruktur	15
2.2 Gegenstand der Krankenhauslogistik.....	19
2.3 Gegenstand der Termin- und Reihenfolgeplanung	25
2.4 Strukturierung der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken	30
2.4.1 Ausrichtung der Planung	30
2.4.2 Art der eingesetzten Modelle	31
2.4.3 Statische vs. dynamische Planung	32
2.4.4 Einplanung und Neuplanung	33
2.4.5 Planungsebenen.....	34
2.4.6 Planungsgrößen und Kriterien der Planung	35
2.4.7 Patientenklassifikation	43
2.4.8 Einbeziehung von Ressourcen im Ablauf.....	45
2.4.9 Einbeziehung von Unsicherheiten und störenden Ereignissen.....	45
2.4.10 Allgemeine Kriterien zur Bewertung	46
3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)	47
3.1 Ambulante Aufnahmeplanung	47
3.2 Stationäre Aufnahmeplanung	55
3.3 OP-Planung.....	62
3.4 Ausgewählte weitere Ansätze.....	71
3.5 Zusammenfassung.....	74
4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation	79
4.1 Begriff und Grundlagen der Systeme.....	79
4.2 Begriff und Grundlagen der Simulation	82
4.3 Anwendungsbereiche der Simulation	83

4.4	Voraussetzungen zum Einsatz der Simulation	85
4.5	Modellarten	86
4.6	Simulationsarten	88
4.7	Grenzen der Simulation	90
4.8	Methodik der Simulation	93
4.8.1	Problemanalyse	94
4.8.2	Situationsanalyse und Zielsetzung	95
4.8.3	Erhebung, Aufbereitung und Prüfung der Datenbasis	95
4.8.4	Systemabbildung (Modellbildung)	96
4.8.5	Validierung und Verifizierung des Simulationsmodells	99
4.8.6	Versuchsplanung und Simulationsexperimente	105
4.8.7	Ergebnisanalyse und Interpretation	107
4.8.8	Dokumentation	108
4.9	Optimierung mittels Simulation	109
4.9.1	Hillclimbing-Algorithmen	111
4.9.2	Evolutionäre Algorithmen	112
5.	Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	132
6.	Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen	135
6.1	Mitarbeiter und Patientenbefragungen	135
6.1.1	Patientenbefragung	135
6.1.2	Mitarbeiterbefragung	136
6.2	Aufnahme der Einbestellungsprozesse	136
6.2.1	Referenzeinrichtung 1	139
6.2.2	Referenzeinrichtung 2	147
6.2.3	Referenzeinrichtung 3	158
6.2.4	Gegenüberstellung und Zusammenfassung der vorgefundenen Einbestellungs- und Planungsmethodik	165
6.3	Weitere Prozessdokumentation, Datenerhebung und -validierung	170
6.3.1	Datenquellen und Vorgehen bei der Erhebung	170
6.3.2	Kardiologische Stationen	173
6.3.3	Elektrokardiografie	178
6.3.4	Echokardiografie	180
6.3.5	Herzkatheterlabor	182
6.3.6	Notaufnahme	190
6.3.7	Kardiologische Ambulanz	192
6.3.8	Erhebung von Planwerten	195
6.3.9	Erhebung von Wegezeiten	196
6.4	Zusammenfassung der Prozess- und Datenerhebung	197

7.	Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme	198
7.1	Allgemeine themenbezogene Herausforderungen der weiteren Arbeit	198
7.2	Spezifische, bereichsbezogene Herausforderungen und Optimierungsziele	203
8.	Auswahl des Optimierungsverfahrens	216
8.1	Probleme beim direkten Vergleich von Optimierungsheuristiken.....	217
8.2	Anforderungen an das heuristische Optimierungsverfahren.....	219
8.3	Evolutionäre Algorithmen zur Termin- & Reihenfolgeplanung.....	221
8.4	Zusammenfassung und Auswertung.....	223
9.	Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells	225
9.1	Das Systementwurfswerkzeug und Simulationssystem MLDesigner	226
9.2	Auswahl des Berechnungsmodells - der Ausführungsdomäne im MLDesigner	230
9.3	Simulationszeit	231
9.4	Modellabgrenzung	232
9.5	Annahmen und Abstraktionen	234
9.6	Modelltransformation - Automatisierte Modellgenerierung aus Behandlungspfaden.....	238
9.6.1	Ausgangsbasis der Transformation.....	238
9.6.2	Auswahl und Modellierung der Behandlungspfade	242
9.6.3	Transformation einer eEPK.....	245
9.6.4	Erkenntnisse und Ausblick bezogen auf die automatisierte Modelltransformation.....	247
9.7	Umsetzung der Planung im Ist-Modell – Herstellung des Zweckbezugs	249
9.7.1	Erläuterung des Zusammenwirkens der Planungsebenen	249
9.7.2	Zugangskontrolle	250
9.7.3	Terminvergabe und Einsteuerung der elektiven Patienten	253
9.7.4	Patientenauswahl	256
9.8	Abbildung stochastischer Elemente und Determinierung des Patientenverlaufs ...	258
9.8.1	Bearbeitungszeiten	258
9.8.2	Ankunftstermine.....	260
9.8.3	Entlassungszeitpunkt.....	260
9.8.4	Patientenverläufe (Patientenrohdaten)	262
9.9	Weitere Modellanpassungen.....	265
9.10	Datenhaltung und Dokumentation	266
9.11	Parametrisierung des Ist-Modells	268
9.12	Verifizierung und Validierung des Ist-Modells	284
9.12.1	Bestimmung der Anlaufphase	285
9.12.2	Auswertung der Simulationsläufe.....	291
9.12.3	Auswertung der Validierungsläufe.....	291

9.12.4	Operationale Modellvalidierung, Ablauftests nach Abschluss des Modellaufbaus, Justierungen und Bestimmung der Modellungenauigkeit	291
9.12.5	Zusammenfassung	322
10.	Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus	323
10.1	Planungsdynamik, Planungsschrittweite und Planungshorizont	323
10.2	Optimierung von Planungsparametern (Optimierungsgrößen)	325
10.3	Zugangskontrolle	326
10.4	Terminvergabe mit Reservierungskonzept	331
10.5	Patientenauswahl	340
10.6	Parametrisierung des Soll-Modells	341
10.7	Validierung und Verifizierung der Implementierungen im Soll-Modell	344
11.	Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell	346
11.1	Kodierung der Planung	346
11.1.1	Zugangskontrolle	348
11.1.2	Terminvergabe	351
11.2	Umsetzung der genetischen Operatoren	360
11.2.1	Selektionsoperator	360
11.2.2	Mutationsoperator	368
11.2.3	Crossoveroperator	370
11.2.4	Wertausprägung der Kontrollparameter	372
11.3	Variable Mutationsrate in Abhängigkeit zur Fitness der Einzelchromosomen	378
11.3.1	Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness	380
11.3.2	Berechnung der Fitnesswerte der Chromosomen	383
11.3.3	Ableitung der Mutationsrate	384
12.	Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus	387
12.1	Export des Soll-Modells (Klinikmodell)	387
12.2	Umsetzung der Optimierungsschleife	388
12.3	Parallelisierung im Optimierungsmodell	390
12.4	Evaluationskopien und Anpassung im Aufbau der Simulations-ID	393
12.5	Parametrisierung des Optimierungsmodells	394
12.6	Justierung, Validierung und Verifizierung des Genetischen Algorithmus	395
12.6.1	Ablauftests	395
12.6.2	Test auf Konvergenz des Algorithmus	395
12.6.3	Test der Mutationsraten auf Chromosomenebene im variablen Fall	398
12.6.4	Justierung	399

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse	403
13.1 Simulationsszenario 1: Versuchsplanung unter Einsatz des Genetischen Algorithmus	403
13.2 Auswertung der besten gefundenen Lösung aus dem Optimierungsszenario 1 (Soll-Modell)	408
13.2.1 Ertragswerte	408
13.2.2 Zugangsplanung.....	409
13.2.3 Terminvergaberegeln	414
13.2.4 Reservierungsplanung.....	416
13.2.5 Kennzahlen der Simulation zur Bewertung der Planung im Soll-Modell	420
13.2.6 Zusammenfassung	428
13.3 Weitere Szenarientests	430
13.3.1 Simulationsszenario 2: Wirkung der im HKL1 eingeplanten Puffer (RESERVED_5).....	430
13.3.2 Simulationsszenario 3: Optimierte Reservierungsplanung.....	434
13.3.3 Simulationsszenario 4: Ohne elektive Patientenzugänge am Freitag auf den kard. Stationen	441
13.4 Validierung der Simulationsergebnisse	446
13.5 Auswertung statische vs. variable Mutationsrate	447
13.6 Zusammenfassung.....	454
14. Umsetzungsmöglichkeiten im Realsystem.....	456
14.1 Zugangsplanung	456
14.2 Terminplanung	457
14.2.1 Aufnahmetermine.....	457
14.2.2 Terminreservierungen, Planwerte und Puffer.....	457
14.3 Patientenauswahl.....	458
14.4 Abschließende Anmerkungen zur Umsetzung im Realsystem.....	459
15. Zusammenfassung & Ausblick	460
Glossar.....	466
Literaturverzeichnis.....	472
Anhang	495

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung der Krankenhauskosten in Deutschland von 1996 bis 2014 [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016a, 2016c]	1
Abb. 2: Jahresergebnis 2014 nach Krankenhausgröße [Deutsches Krankenhaus Institut 2015, S. 85]	3
Abb. 3: Mittlere Krankenhausverweildauer über alle Diagnosekategorien (einschließlich Sterbefälle, ohne Stundenfälle) der Staaten im Vergleich [OECD 2016]	6
Abb. 4: Überblick aktuelle abteilungsinterne Terminierung [Kriegel et al. 2009, S. 22]	9
Abb. 5: Überblick aktuelle abteilungsübergreifende Terminierung [Kriegel et al. 2009, S. 22]	9
Abb. 6: Prozessmodell des Design Science Research [Peppers et al. 2006, S. 93]	12
Abb. 7: Überblick und Struktur der Arbeit	14
Abb. 8: Profibürokratie [Mintzberg 1992, S. 263]	17
Abb. 9: Funktionale Organisation eines Krankenhauses [Lieb 2004, S. 69]	17
Abb. 10: Matrixorganisation (in Anlehnung an Fleßa & Nickel [2008, S. 25])	19
Abb. 11: Institutionelle Abgrenzung der Logistik (verkürzte Darstellung nach Pfohl [2009, S. 15])	20
Abb. 12: Klassifikation der Modelle (verkürzte Darstellung nach Page [1991, S. 5])	31
Abb. 13: Schematische Darstellung der Dynamik im Modell und in der Planung	32
Abb. 14: Übersicht der Planungsebenen – allgemein (in Anlehnung an Sickinger [2008, S. 7])	34
Abb. 15: Terminvergabe-Regeln [Cayirli & Veral 2003, S. 527; Sickinger 2008, S. 57]	38
Abb. 16: Strukturierung der OP-Planung nach Blake & Carter [1997, S. 19]	41
Abb. 17: Verteilung der Kapazitäten im Optimierungsansatz nach Helm & van Oyen [2014, S. 20]	59
Abb. 18: Strukturierung der Planung nach Knoeff [2010, S. 63]	65
Abb. 19: Übersicht Zusammenspiel der Agenten [Kanaga et al. 2010, S. 71]	72
Abb. 20: Überblick Ansatz Zusammenspiel der Agenten im Ansatz der Partikelschwarmoptimierung [Kanaga & Valarmathi 2012, S. 389]	73
Abb. 21: System (leicht modifiziert nach Krallmann et al. [1999, S. 21] und Bossel [2004, S. 36])	79
Abb. 22: Einordnung der diskreten Simulation [Kosturiak & Gregor 1995, S. 8]	87
Abb. 23: Grenzen der Modellbildung und Simulation (in Anlehnung an Page [1991, S. 20] und Müller [1998, S. 51])	90
Abb. 24: Vorgehensweise bei dem Einsatz der Simulation (in Anlehnung an Kosturiak & Gregor [1995, S. 105])	94
Abb. 25: Schematischer Ablauf der Modellerstellung (in Anlehnung an Rosemann [1996, S. 19])	99
Abb. 26: Validierung und Verifizierung entlang der Phasen der Modellbildung [Page 1991, S. 12]	100
Abb. 27: Schematische Darstellung zum Erklärungsmodell (verkürzte Darstellung nach Küll & Stähly [1999, S. 3])	105
Abb. 28: Zusammenwirken von Simulation und Optimierung [März et al. 2011, S. xii]	109
Abb. 29: Optimierung eines Simulationsmodells [Nissen & Biethahn 1999, S. 114]	110
Abb. 30: Problematik der Wahl der Such-Schrittweite (Prinzipdarstellung)	111
Abb. 31: Schematische Darstellung des Hängenbleibens im Suchraum (in Anlehnung an Weicker [2007, S. 165])	112
Abb. 32: Aufbau eines Chromosoms in der charakteristischen Form während der Mitose	114

Abb. 33: Ablauf evolutionärer Algorithmen (leicht modifizierte Darstellung nach Pohlheim [2000, S. 9]).....	115
Abb. 34: Beispiel des Übergangs aufeinander folgender Populationen (in Anlehnung an Gonçalves & Resende [2011, S. 188]).....	122
Abb. 35: Beispiel einer problemspezifischen Kodierung eines Individuums (in Anlehnung an Kühne et al. [2012, S. 105]).	124
Abb. 36: Beispiel eines One-Point-Crossovers (in Anlehnung an Kühn et al. [2012, S. 106])	125
Abb. 37: Beispiel einer Mutation	126
Abb. 38: Beispiel für die Baumtausch-Rekombination [Weicker 2007, S. 149].....	131
Abb. 39: Beispiel der hier zur Anwendung kommenden Prozessabbildung	137
Abb. 40: Prozessbausteine für die informale Prozessbeschreibung	138
Abb. 41: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 1	140
Abb. 42: Tafel im Vorraum des HKL mit der OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag – Einrichtung 1	142
Abb. 43: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1-3 / kard. Stationen – Einrichtung 1 (Teil 1/2).....	143
Abb. 44: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1-3 / kard. Stationen – Einrichtung 1 (Teil 2/2).....	144
Abb. 45: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL1-3 – Einrichtung 1	145
Abb. 46: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 1.....	146
Abb. 47: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 2	148
Abb. 48: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Stationen/HKL durch kard. Ambulanz – Einrichtung 2	149
Abb. 49: Tafel im Vorraum der HKL1+2 mit OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag – Einrichtung 2	151
Abb. 50: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1+2/kard. Stationen durch HKL - Einrichtung 2 (Teil 1/2)	152
Abb. 51: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1+2/kard. Stationen durch HKL - Einrichtung 2 (Teil 2/2)	153
Abb. 52: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL1+2 – Einrichtung 2	154
Abb. 53: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL3 – Einrichtung 2.....	155
Abb. 54: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL3 – Einrichtung 2	156
Abb. 55: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 2.....	157
Abb. 56: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 3	159
Abb. 57: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL / kard. Stationen – Einrichtung 3.....	161
Abb. 58: Monitor im Vorraum der HKL mit der OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag – Einrichtung 3	162
Abb. 59: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für das HKL1-3 – Einrichtung 3	163
Abb. 60: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 3.....	164
Abb. 61: Prozesskette stationärer Aufenthalt.....	174
Abb. 62: Übersicht Bettenbelegung auf den kardiologischen Stationen im Wochenverlauf – Einrichtung 3	177
Abb. 63: Übersicht der HKL-Maßnahmen im Wochenverlauf – Einrichtung 3	183

Abb. 64: Überblick Prozessablauf im HKL	183
Abb. 65: HKL-Buch – Einrichtung 2	184
Abb. 66: Untersuchungsprotokoll des HKL – Einrichtung 2	185
Abb. 67: Übersicht Patientenbelegung im HKL2 – Einrichtung 2	187
Abb. 68: Prozesskette Notaufnahmestation – Einrichtung 2 [interne Dokumente der Klinik]	191
Abb. 69: Auftreten von Patienten in der Notaufnahme im zeitlichen Verlauf – Einrichtung 2.....	192
Abb. 70: Ankunftsstrom der Ambulanzpatienten im Tagesverlauf - Einrichtung 3.....	194
Abb. 71: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen auf den Stationen	206
Abb. 72: Planerisches Problemumfeld bezogen auf die Elektro- und Echokardiografie.....	209
Abb. 73: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen im HKL	211
Abb. 74: Typische Belegung des HKL im Wochenverlauf am Beispiel der Einrichtung 3	211
Abb. 75: Flurbetten der Notaufnahmestation – Einrichtung 2	213
Abb. 76: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen in der Notaufnahme	214
Abb. 77: Grafische Benutzeroberfläche des MLDesigner [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 43].....	229
Abb. 78: Überblick der betrachteten Fachbereiche und Abgrenzung zur Umwelt (Modellabgrenzung) ..	233
Abb. 79: Schematischer Ablauf des Transformationsansatzes (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 21])	239
Abb. 80: Elemente einer EPK und ausgewählte Elemente der Erweiterung.....	240
Abb. 81: Verknüpfungsarten in der EPK-Semantik [Keller et al. 1992, S. 15].....	241
Abb. 82: Gegenüberstellung traditionelle und flussorientierte Planung im Krankenhaus [Brettel 1999, S. 768]	242
Abb. 83: Schnittmenge der Modellarten (Idee der Darstellung nach Prof. Dr.-Ing. Salzwedel)	246
Abb. 84: Übersicht der Planungsebenen – mit Wirkungsbereichen am Beispiel des HKL	249
Abb. 85: Übersicht der im Rahmen der Zugangskontrolle geplanten Patienten mit Zugangspunkten....	252
Abb. 86: Auswahlproblematik im Rahmen der Patientenauswahl.....	256
Abb. 87: Histogramm der Stich-Naht-Zeiten im HKL mit hinterlegter Normalverteilungskurve	258
Abb. 88: Histogramm der logarithmierten Stich-Naht-Zeiten im HKL mit Normalverteilungskurve	259
Abb. 89: Schematische Darstellung der Einbindung und Zweck der Patientenrohdaten	263
Abb. 90: Histogramm zur zeitlichen Verteilung der stationären, elektiven Patientenzugänge an Arbeitstagen (Einrichtung 3)	264
Abb. 91: Übersicht der Datenbestände im Modell.....	266
Abb. 92: Bettenbelegungen auf den kard. Station 1 im zeitlichen Verlauf	286
Abb. 93: Bettenbelegungen auf den kard. Station 2 im zeitlichen Verlauf	286
Abb. 94: Bettenbelegungen auf den kard. Station 1 im zeitlichen Verlauf mit verkürzter Anlaufphase .	287
Abb. 95: Bettenbelegungen auf den kard. Station 2 im zeitlichen Verlauf mit verkürzter Anlaufphase .	287
Abb. 96: Zugänge im Wochenverlauf auf der kard. Station 1 (STA_1) im Vergleich mit den Realdaten .	297
Abb. 97: Zugänge im Wochenverlauf in der kard. Ambulanz (AMB_1) im Vergleich mit den Realdaten	297
Abb. 98: Zugänge im Wochenverlauf in der kard. Ambulanz (ECHO_2) im Vergleich mit den Realdaten	297
Abb. 99: Boxplot Verteilung Ankunftszeiten AMB_1 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis).....	301
Abb. 100: Boxplot Verteilung Ankunftszeiten STA_1 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis).....	301

Abb. 101: Boxplot Verteilung Durchführungszeiten ECHO_2 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis)	302
Abb. 102: Korrelation der Abweichung Maßnahmenanzahl mit der Abweichung in der Anzahl der Patientenzugänge	303
Abb. 103: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten EKG- Belastung im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis).....	306
Abb. 104: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten HKL-Coro im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis)	307
Abb. 105: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten ECHO-TEE im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis)	307
Abb. 106: Boxplot zur Verteilung der Wartezeiten im Funktionsbereich EKG im direkten Vergleich ...	310
Abb. 107: Simulierte Bettenbelegung auf den kard. Stationen im Wochenverlauf in Prozent	316
Abb. 108: Gegenüberstellung Bettenallokationen im Modell (links) und Realsystem (rechts)	316
Abb. 109: Simulierte Auslastung im Funktionsbereich EKG, Echo und für den Arzt der kard. Ambulanz im Wochenverlauf.....	320
Abb. 110: Schematische Darstellung des Planungsrasters im Soll-Modell	326
Abb. 111: Visualisierung des Reservierungskonzeptes	338
Abb. 112: Gegenüberstellung: Abbildung der Zugangsplanung im Ist-/Soll-Modell	348
Abb. 113: Aufbau eines Chromosoms zur Abbildung der allgemeinen Zugangsplanung	349
Abb. 114: Chromosoms für die Planung prästationärer Patienten.....	351
Abb. 115: Chromosomenaufbau zur Terminvergabe über Terminvergaberegeln	352
Abb. 116: Aufbau des Chromosoms für die Reservierungsplanung	358
Abb. 117: Beispielhafte Belegung des Chromosoms für die Terminplanung	358
Abb. 118: Beispielhafte Auswertung der Terminreihenfolge	359
Abb. 119: Schematischer Aufbau zur Unterteilung der Chromosomen auf Tagesbasis	360
Abb. 120: nicht-lineares Ranking zur Berechnung des Fitnesswertes	365
Abb. 121: Lineares Ranking zur Berechnung des Fitnesswertes [Severin 2014, S. 71].....	366
Abb. 122: Skizze zur Roulett-Wheel-Selektion mittels der normierten Fitnesswerte	367
Abb. 123: Schematischer Ablauf der Mutation bei haploiden, multichromosomalen Individuen	368
Abb. 124: Mutation bei mehrschichtigen Chromosomen.....	369
Abb. 125: Mutationsoperator zur Längenmutation	370
Abb. 126: Schematischer Ablauf des Crossover bei haploiden, multichromosomalen Individuen (in Anlehnung an Cavill et al. [2005, S. 1754])	371
Abb. 127: Schematischer Ablauf des Crossover bei Chromosomen unterschiedlicher Länge	372
Abb. 128: Beispielhafte Darstellung der Mutationsraten im Zeitverlauf.....	386
Abb. 129: Schematische Darstellung zum Ablauf.....	387
Abb. 130: Darstellung des Optimierungsmodells mit eingebundenem Genetischen Algorithmus (vgl. [Severin 2014, S. 73]).....	388
Abb. 131: CPU Auslastung bei nicht- parallelisierter Simulation.....	390
Abb. 132: CPU Auslastung bei parallelisierter Simulation.....	391
Abb. 133: Simulations-ID unter Einbeziehung der Evaluationskopien.....	393

Abb. 134: Ertragswerte der besten Individuen im Verlauf der Generationen	397
Abb. 135: Variable Mutationsraten der Zugangschromosomen im Zeitverlauf	399
Abb. 136: Darstellung der Fitnesswerte in Bezug auf die Anzahl der Reservierungen und Anzahl genutzter Reservierungen (1-13)	400
Abb. 137: Übersicht der nach ambulant und stationär aggregierter Zugänge für die beste gefundene Lösung aus dem Szenario 1	409
Abb. 138: Stationäre und prästationäre Zugänge im Wochenverlauf in der Planung des Soll-Modells... 410	
Abb. 139: Übersicht der Ressourcenauslastung für die Funktionsbereiche EKG und ECHO im Szenario 1	426
Abb. 140: Übersicht der Ressourcenauslastung in den Funktionsbereichen EKG und ECHO im Ist- Modell.....	426
Abb. 141: Anzahl Maßnahmen im Wochenverlauf im Szenario 1	427
Abb. 142: Bettenauslastung der kard. Stationen 1+2 im Wochenverlauf in Prozent im Szenario 1	427
Abb. 143: Ressourcenauslastung in den Funktionsbereichen EKG und ECHO für das Szenario 4	444
Abb. 144: Bettenauslastung der kard. Stationen 1+2 im Wochenverlauf in Prozent für das Szenario 4. 445	
Abb. 145: Auslastung HKL-Maßnahmen im Wochenverlauf.....	445
Abb. 146: Übersicht Ertragswerte des Szenarios1 bei statischer Mutation (bester und schlechtester Lauf sowie Mittelwert über alle Läufe) (in Anlehnung an Nissen & Biethahn [1999, S. 122])..	447
Abb. 147: Ergebnisse der Varianten an statischen Mutationsraten im direkten Vergleich mit der variablen Mutationsrate im Szenario 1.....	449
Abb. 148: Streuung der Ertragswerte bei variabler Mutationsrate im zeitlichen Verlauf.....	449
Abb. 149: Streuung der der Ertragswerte bei statischer Mutationsrate von 0,02 im zeitlichen Verlauf. 450	
Abb. 150: Mutationsrate im zeitlichen Verlauf bei angewendeter variabler Mutation.....	451
Abb. 151: Übersicht Ertragswerte des Szenarios 1 bei statischer Mutation (bester und schlechtester Lauf sowie Mittelwert über alle Läufe) (in Anlehnung an Nissen & Biethahn [1999, S. 122])..	452
Abb. 152: Ergebnisse der Varianten an statischen Mutationsraten im direkten Vergleich mit der variablen Mutationsrate im Szenario 5.....	453
Abb. 153: Plantafel SAP IS-H*med – Funktionsbereich Echokardiografie (Ist-Zustand Einrichtung 3). 458	
Abb. 154: Untersuchungszimmer Echokardiografie – Einrichtung 3.....	467
Abb. 155: Ruhe-EKG – Einrichtung 2.....	467
Abb. 156: Belastungs-EKG mit Fahrradergometer – Einrichtung 2.....	468
Abb. 157: Untersuchungstisch im Herzkatheterlabor – Einrichtung 1.....	469
Abb. 158: Grafische Lösungsweg für Maschinenbelegung nach Diagonaltechnik.....	A-2
Abb. 159: Optimale Abarbeitungsreihenfolge nach Diagonaltechnik	A-2
Abb. 160: Branch & Bound – Auszug Entscheidungsbaum	A-4
Abb. 161: Patienten-, Informations- und Dokumentenfluss am Beispiel einer STEMI- Notfallbehandlung.....	A-95
Abb. 162: Beispiel zur Modellierung von Ressourcen mit Elementen der eEPK (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 23])	A-121
Abb. 163: Prinzipdarstellung zur Abbildung wahlfrei-sequentieller Abläufe in der eEPK.....	A-123
Abb. 164: Beispiel einer eEPK-Funktion mit Ressourcennutzung [Kühn et al. 2013a, S. 26]	A-130

Abb. 165: Funktions-Modul im Simulationssystem als Transformationsergebnis der Beispiel eEPK-Funktion [Kühn et al. 2013a, S. 27].....	A-130
Abb. 166: Beispiel der Umsetzung einer gerichteten Ressourcennutzung in EPML.....	A-133
Abb. 167: Übersicht der Transformationsergebnisse und verbundener Prüfschritte.....	A-135
Abb. 168: Vorschlag für die Verwendung von Ressourcen Elementen in einer eEPK (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 28]).....	A-138
Abb. 169: Vorschlag zur Integration der Ressourcen-Elemente in EPML.....	A-139
Abb. 170: Übersicht der Quellen im Modell aus Sicht der kard. Ambulanz.....	A-142
Abb. 171: Darstellung einer implementierten Quelle im Detail.....	A-142
Abb. 172: Darstellung der implementierten Quelle für Notfälle im HKL.....	A-143
Abb. 173: Darstellung der implementierten Quelle für stationäre Zugänge aus der Notaufnahme.....	A-143
Abb. 174: Zeitliche Folge der Terminvergabe bei Aufnahmen (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17]).....	A-145
Abb. 175: Zeitliche Folge der Terminvergabe bei Aufnahmen (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17]).....	A-146
Abb. 176: Prinzipdarstellung zum Ablauf eines Patientenaufenthaltes mit Terminvergabe.....	A-147
Abb. 177: Zeitliche Folge der Terminvergabe mittels Maßnahmenplan (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17]).....	A-148
Abb. 178: Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans im stationären Pfad.....	A-151
Abb. 179: Schematische Darstellung der möglichen Ablaufvarianten im Baustein „Aufstellen des Maßnahmenplans“ für stationäre Patienten im Rahmen der Voruntersuchungen.....	A-153
Abb. 180: Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans im Ambulanzpfad.....	A-154
Abb. 181: Modul „Make Appointment“ zur Terminanfrage [Lippold 2014, S. 84].....	A-156
Abb. 182: Patienten-ID im zeitlichen Verlauf der Simulation.....	A-157
Abb. 183: Aufbau der finalen Patient-ID.....	A-158
Abb. 184: Modul „ResourceManagement“ zur Verwaltung der Ressourcenverfügbarkeit.....	A-164
Abb. 185: Skizze zur Umsetzung Patientenauswahl im Modell am Beispiel der kard. Station.....	A-176
Abb. 186: Module zur Auswahl nicht-elektiver Patienten im Funktionsbereich Echo.....	A-177
Abb. 187: Modul „DelayToAppointmentElective“ zur Verzögerung elektiver Patientenpartikel (erweitert um das Modul „Allocate Patient“ nach Lippold [2014, S. 86]).....	A-184
Abb. 188: Modul „DelayToAppointmentNonElective“ zur Verzögerung nicht-elektiver Patientenpartikel (erweitert um das Modul „Allocate Patient“ nach Lippold [2014, S. 86]) ..	A-185
Abb. 189: Modul „CancelableDelay“ zur Umsetzung einer unterbrechbaren Verzögerung [Lippold 2014, S. 82].....	A-185
Abb. 190: Modul „DelayWithInterference“ zur Verzögerung nicht-elektiver Patientenpartikel [Lippold 2014, S. 83].....	A-186
Abb. 191: Implementierung des „ResourceMonitor“ zur Überwachung der beplanten Ressourcen [Lippold 2014, S. 88].....	A-187
Abb. 192: Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ zur Realisierung der Patientenauswahl (verkürzt um das Modul „Allocate Patient“ [Lippold 2014, S. 90]).....	A-188

Abb. 193: Modul „AllocateQREmergency“ zur Realisierung der Patientenauswahl [Lippold 2014, S. 94].....	A-190
Abb. 194: Module zu Allokation (links) und Deallokation (rechts) der Patientenressource (geringfügig verändert nach Lippold [2014, S. 39])	A-193
Abb. 195: Modul zur Kapselung der stationären Abläufe auf dem Pfad 1	A-196
Abb. 196: Typischer Tagesverlauf der ärztlichen Ressource auf einer kard. Station im Realsystem ..	A-198
Abb. 197: Ausgewählte Verwaltungspfade der kard. Stationen im Modell.....	A-200
Abb. 198: Priorisierung bei der Auswahlentscheidung der ärztlichen Aktivitäten auf den kard. Stationen.....	A-201
Abb. 199: Differenzierung der Liegezeit auf den kard. Stationen	A-201
Abb. 200: Varianten des Ablaufs zur Abgrenzung der Restliegezeit.....	A-202
Abb. 201: Übersicht aller Maßnahmen zur Liegezeit bis zum Tag 10 eines Aufenthaltes – Einrichtung 3.....	A-203
Abb. 202: Ergänzung der Gesamtliegezeit um Entlassungszeit.....	A-204
Abb. 203: Histogramm zur Verteilung der Zeitpunkte zu denen die Patienten das Stationsbett räumen (Einrichtung 3)	A-205
Abb. 204: Implementierung des Funktionsbereiches Echokardiografie als Modul	A-207
Abb. 205: Modul „PatientSource“ mit Möglichkeit zu no-show und unpünktlichen Patienten.....	A-238
Abb. 206: Erweiterung des Chromosoms der kard. Stationen um den Zugangstermin	A-239
Abb. 207: Parameterausprägungen zur Vergabe der Aufnahmetermine	A-239
Abb. 208: Anlegen der Planobjekte	A-251
Abb. 209: Dispotypen Übersicht im SAP-System	A-252
Abb. 210: Planungsmaske zum Anlegen/Pflegen des Tagesprogramms	A-254
Abb. 211: Planungsmaske zum Anlegen/Pflegen des Tagesprogramms mit hinterlegten Reservierungen.....	A-255
Abb. 212: Übersicht Jahresplanung.....	A-256
Abb. 213: Festlegung der Berechtigungen zur Terminbelegung	A-257

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 1/4)	52
Tab. 2: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 2/4)	53
Tab. 3: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 3/4)	53
Tab. 4: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 4/4)	54
Tab. 5: Literaturübersicht zur stationären Aufnahmeplanung (Teil 1/2)	60
Tab. 6: Literaturübersicht zur stationären Aufnahmeplanung (Teil 2/2)	61
Tab. 7: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 1/3)	68
Tab. 8: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 2/3)	69
Tab. 9: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 3/3)	70
Tab. 10: Abgrenzung bestehender Arbeiten zur vorliegenden Arbeit - Planungsgegenstände	76
Tab. 11: Abgrenzung bestehender Arbeiten zur vorliegenden Arbeit - Komplexitätsebenen.....	77
Tab. 12: Begrifflichkeiten der Evolutionären Algorithmen [Nissen 1997a, S. 13]	115
Tab. 13: Gegenüberstellung der Referenzeinrichtungen in Zahlen [Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland 2011a, 2011b]	132
Tab. 14: Gegenüberstellung Einbestellpraxis in den Referenzeinrichtungen (Teil 1/2)	166
Tab. 15: Gegenüberstellung Einbestellpraxis in den Referenzeinrichtungen (Teil 2/2)	167
Tab. 16: Gegenüberstellung Erhebung Planwerte und Mittelwerte der Maßnahmen.....	196
Tab. 17: Modellannahmen und Abstraktionen (Teil 1/2).....	234
Tab. 18: Modellannahmen und Abstraktionen (Teil 2/2).....	235
Tab. 19: Gruppierung der Patienten anhand des groben Behandlungsverlaufes	244
Tab. 20: Übersicht und Abgrenzung der Quellen für den Modellaufbau	252
Tab. 21: Parametrisierung zur Art der Maßnahmen bei Patienten der kard. Ambulanz (Einrichtung 3).....	264
Tab. 22: Signifikanzniveau beim Test der Zufallsverteilungen bezogen auf die Anzahl der Patientenzugänge in der kard. Ambulanz (AMB_1) und auf der kard. Station 1 (STA_1).....	269
Tab. 23: Übersicht Ressourcen und eingestellte Kapazitäten im Ist-Modell	270
Tab. 24: Systemparameter für Dimensionen und Kapazitäten	271
Tab. 25: Systemparameter zu Ressourcenerfordernissen	271
Tab. 26: Ressourcenhinterlegung in der zentralen Datenbank – Tabelle „resource“.....	272
Tab. 27: Vorlage für den Terminkalender am Beispiel der Echoressource 1 am Montag – Tabelle „schedule_template“.....	273
Tab. 28: Systemparameter bzgl. der Oberarztbesprechung	274
Tab. 29: Systemparameter bzgl. der Visiten auf den kard. Stationen.....	275
Tab. 30: Systemparameter für Ressourcenbeschränkungen durch Wartungen.....	275
Tab. 31: Systemparameter für Ressourcenbeschränkungen durch Störungen	276
Tab. 32: Übersicht zeitlicher Umfang Störungen und Wartungen im HKL (Einrichtung 3)	276
Tab. 33: Zeitlicher Abstand zwischen zwei Störungen	277
Tab. 34: Systemparameter bzgl. zeitlichem Abstand zwischen zwei Störungen.....	277
Tab. 35: Systemparameter zu den Planwerten der Maßnahmen.....	278
Tab. 36: Eingliederung des Arztgesprächs im Rahmen des Ambulanzbesuchs	280
Tab. 37: Systemparameter bzgl. der Lage des Arztgesprächs im Verlauf in der kard. Ambulanz.....	281

Tab. 38: Überblick Unpünktlichkeit und no-show Wahrscheinlichkeit in den Funktions-/OP-Bereichen (Einrichtung 3).....	282
Tab. 39: Systemparameter zur Unpünktlichkeit elektiver Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen ..	282
Tab. 40: Systemparameter zur tolerierten Wartezeit in den Funktions-/OP-Bereichen.....	283
Tab. 41: Systemparameter zum Vorziehen nicht-elektiver Patienten	283
Tab. 42: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen und Justierungen	293
Tab. 43: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen bei vergrößerter Stichprobe	294
Tab. 44: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen ..	295
Tab. 45: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen bei vergrößerter Stichprobe	296
Tab. 46: Simulierte Ankunftszeiten bzgl. Abweichungen und Justierungen.....	298
Tab. 47: Justierung der Ankunfts-/Durchführungszeiten im Ist-Modell	299
Tab. 48: Simulierte Ankunftszeiten bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen.....	300
Tab. 49: Anzahl Maßnahmen im Jahr bei HKL-Maßnahmen mit Abweichungen	306
Tab. 50: Simulierte Wartungen und Störungen bzgl. Abweichungen und Justierungen.....	307
Tab. 51: Simulierte Wartungen und Störungen bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen.....	308
Tab. 52: Übersicht im Modell eingestellter Nacharbeiten und Zusatz Tätigkeiten der Engpassressourcen.....	311
Tab. 53: Simulierte Liegezeiten auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen	312
Tab. 54: Übersicht Justierungen in Bezug auf die Restliegezeiten	312
Tab. 55: Simulierte Voruntersuchungszeit und Zeitpunkt Räumung Bett auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen	313
Tab. 56: Simulierte Wartezeiten bei der Bettenvergabe im Modell	314
Tab. 57: Simulierter Wartezeiten bei der Anamnese und dem Arztbrief.....	314
Tab. 58: Simulierte Bettenbelegung auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen ...	315
Tab. 59: Simulierte Bettenbelegung der kard. Stationen bzgl. Abweichungen Teil 2 der Datenbasis	316
Tab. 60: Simulierte Verteilung der HKL-Maßnahmen auf die HKL-Labore bzgl. Abweichungen und Justierungen.....	317
Tab. 61: Simulierte Auslastung der HKL bzgl. Abweichungen und Justierungen.....	318
Tab. 62: Unpünktlichkeit und no-show Wahrscheinlichkeit im Realsystem (Einrichtung 3).....	342
Tab. 63: Gegenüberstellung der Planwerte im Ist- und Soll-Modell	344
Tab. 64: Parameter des GA für die allgemeine Zugangsplanung in den Chromosomen CZ01-CZ06	349
Tab. 65: Wertausprägungen für die Zugangspunkte.....	350
Tab. 66: Parameterausprägungen für die Terminvergaberegeln	352
Tab. 67: Parameterausprägung für Planwerte der Reservierungen und Puffer.....	356
Tab. 68: Anzahl Gene in den Reservierungschromosomen	357
Tab. 69: Übersicht Erlöse zur Berechnung der Fitness der Individuen.....	362
Tab. 70: Übersicht Kosten zur Berechnung der Fitness der Individuen.....	363
Tab. 71: Übersicht Strafkosten zur Berechnung der Fitness der Individuen	363
Tab. 72: Übersicht Parameterausprägungen nach De Jong [1975, S. 119 ff.]	373
Tab. 73: Übersicht der in der vorliegenden Arbeit gewählten Ausprägung der Kontrollparameter des GA	378

Tab. 74: Übersicht Erlöse zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung	401
Tab. 75: Übersicht Kosten zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung	402
Tab. 76: Übersicht Strafkosten zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung.....	402
Tab. 77: Übersicht Simulationsszenario 1.....	403
Tab. 78: Übersicht der Variation der Kontrollparameter innerhalb des Testszenario 1	404
Tab. 79: Übersicht eingesetzter Hardware	407
Tab. 80: Übersicht erreichter Ertragswerte je simulierter Woche der besten gefundenen Lösung des Szenarios 1 (bereinigt) im Vergleich zum Ist-Modell.....	409
Tab. 81: Vergleich der Zugänge der besten Lösung im Soll-Modell mit dem Ist-Modell	411
Tab. 82: Übersicht Entsender der stationären Aufnahmen auf den kard. Stationen 1+2	412
Tab. 83: Übersicht Abweichungen von der Zugangsplanung in der tatsächlichen Umsetzung im Soll- Modell.....	413
Tab. 84: Wartezeit der stationären Zugänge auf ein Bett der kard. Stationen 1+2 im Soll-Modell.....	414
Tab. 85: Terminvergaberegeln der kard. Ambulanz und kard. Stationen bei der besten gefundenen Lösung	414
Tab. 86: Übersicht zur Verteilung der eingestellten Puffer	416
Tab. 87: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource ECHO1 für Patienten der kard. Ambulanz und kard. Stationen	417
Tab. 88: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource ECHO2 für Patienten der kard. Ambulanz und den kard. Stationen	418
Tab. 89: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource HKL2 für Patienten der kard. Stationen	418
Tab. 90: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource HKL3 für Patienten der kard. Stationen	418
Tab. 91: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender des EKGs für Patienten der kard. Ambulanz und den kard. Stationen	419
Tab. 92: Übersicht genutzter Reservierung in der Anwendung der Reservierungsplanung im Soll- Modell.....	419
Tab. 93: Ergebniswerte bzgl. WZ und DLZ der Ambulanzpatienten bei der besten gefundenen Lösung im Szenario 1	420
Tab. 94: Ergebniswerte bzgl. WZ und VU-Dauer der stationären Patienten im Szenario 1	422
Tab. 95: Übersicht Dauer der Voruntersuchung nach Tag der Aufnahme und Quelle im Szenario 1.....	423
Tab. 96: Übersicht Wartezeiten und Terminabweichungen für Funktions-/OP-Bereiche im Szenario 1	424
Tab. 97: Übersicht WZ auf ein Bett auf den kard. Stationen 1+2 im Szenario 1	428
Tab. 98: Gegenüberstellung und Abgrenzung des Szenarios 1 und 2.....	430
Tab. 99: Ergebniswerte des Szenarios 2 im Vergleich mit dem Szenario 1.....	431
Tab. 100: Gegenüberstellung der Terminabweichungen im Szenario 1+2 bei den Herzkatheterlaboren	432
Tab. 101: Gegenüberstellung der Terminabweichungen im Ist-Modell und Szenario 2 bei den Herzkatheterlaboren	433
Tab. 102: Optimierte Reservierungsplanung im Szenario 3 – Abgrenzung zum Szenario 1+2.....	434
Tab. 103: Ergebniswerte des Szenarios 3 im Vergleich mit dem Szenario 2.....	436

Tab. 104: Ergebniswerte des Szenarios 3 im Vergleich mit dem Ist-Modell.....	439
Tab. 105: Veränderte Zugangsplanung für die kard. Stationen im Szenario 4 im Vergleich zur bisherigen Zugangsplanung in den Szenarien 1-3.....	441
Tab. 106: Ergebniswerte des Szenarios 4 im Vergleich mit dem Szenario 3	442
Tab. 107: Übersicht Voruntersuchungsdauer je Quelle im Vergleich zum Szenario 1.....	443
Tab. 108: Übersicht Ertragswerte bezogen auf die angewendete Crossoverrate im Szenario 1	451
Tab. 109: Arbeitsgangfolge und Bearbeitungszeiten für Diagonalmethode	A-1
Tab. 110: Beispiel Arbeitsgangfolge und Bearbeitungszeiten für Branch & Bound.....	A-3
Tab. 111: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – allgemeine Angaben	A-84
Tab. 112: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Art des Eingriffs	A-84
Tab. 113: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Vorbereitungen	A-85
Tab. 114: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Durchführung	A-85
Tab. 115: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Nachbereitung	A-86
Tab. 116: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Verzögerungen.....	A-86
Tab. 117: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Prozessabbruch.....	A-86
Tab. 118: Ausgewählte Kennzahlen im HKL (1/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich.....	A-87
Tab. 119: Ausgewählte Messpunkte im HKL (2/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich.....	A-87
Tab. 120: Ausgewählte Messpunkte im HKL (3/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich.....	A-88
Tab. 121: Häufigkeitsverteilung der Untersuchungsarten in den HKL1-3 – Einrichtung 2	A-93
Tab. 122: Dauer der Untersuchungsarten in den HKL1-3 – Einrichtung 2	A-94
Tab. 123: Parameter zur Priorisierung innerhalb der Funktions-/OP-Bereiche	A-170
Tab. 124: Parameter zur Priorisierung der Bettenanforderungen	A-173
Tab. 125: Parameter zur Priorisierung in den Funktions-/OP-Bereichen innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten.....	A-175
Tab. 126: Parameter zur Umsetzung des Einschlebens von Patienten im Ablauf	A-183
Tab. 127: Struktur der Patientenrohdaten mit Beispielbelegung für zwei stationäre Patienten – Tabelle „patient_type“	A-191
Tab. 128: Systemparameter für Dauer bis Patient das Bett räumt	A-192
Tab. 129: Übersicht wesentlicher Tabellen in der zentralen Datenbank.....	A-210
Tab. 130: Übersicht der Ressourcenparameter und Verfügbarkeiten im Ist-Modell (Einrichtung 3) ..	A-213
Tab. 131: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Zugangsplanung (CZ01-CZ07).....	A-240
Tab. 132: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Planung von Aufnahmetermen (CT01-CT02)	A-241
Tab. 133: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Reservierungsplanung (CR01-CR06).....	A-242
Tab. 134: Beispiele für Dispotypen gemäß Planungskonzept für die Echokardiografie.....	A-253

Abkürzungsverzeichnis

&	und
Abb.	Abbildung
ABLAE	Ablation einfach
ABLAK	Ablation komplex
Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
AM	Ambulanz
AML	ARIS Markup Language
ANAMA	ärztliche Anamnese
ANAMP	pflegerische Anamnese
ANEAS	Akkreditierung und Evaluierung im Gesundheitsbereich
APROMORE	Advanced Process Model Repository
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
ASCS	Admission Scheduling and Control System
AUFKL	Aufklärung
AUFNM	Aufnahme (ambulant/stationär)
BELAS	Belastungs-Elektrokardiogramm
bes.	besonders
BQS	Bundesgeschäftsstelle Qualitätssicherung
BRIEF	Arztbrief
bzw.	Beziehungsweise
ca.	zirka
CCM	Kardiale Kontraktionsmodulation
CDT-D	Untersuchung von Carbohydrat-defizienten Transferrin
CMI	Case Mix Index
CORO	Koronarangiografie
CPU	Central processing unit
CRT	Kardiale Resynchronisationstherapie
CT	Computertomografie
CTDE	Continuous Time/Discrete Event
DSR	Design Science Research
d.h.	das heißt
DE	discrete event
Di.	Dienstag
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
DNA	Desoxyribonukleinsäure
Do.	Donnerstag
DRG	Diagnosis Related Group (G-DRG = deutsches DRG)
EA	Evolutionärer Algorithmus / Evolutionäre Algorithmen

ECHO	Echokardiogramm, Echokardiografie
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EKG	Elektrokardiogramm, Elektrokardiografie
elekt.	elektiv
EMIKA	echtzeitgestützte mobile Informationssysteme in Krankenhaus-Anwendungen
engl.	Englisch
Entl.	Entlassung
EP	Evolutionäre Programmierung / Evolutionäres Programmieren
EPC	event driven process chain engl. für Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
EPML	Event-Driven Process Chain Markup Language
EPU	Elektrophysiologische Untersuchung
ES	Evolutionsstrategie / Evolutionsstrategien
et al.	und andere
etc.	et cetera
Eur	Euro
evtl.	eventuell
exkl.	exklusive
ext.	extern
f.	folgende
FA	Fertigungsauftrag/Fertigungsaufträge
FB	Funktionsbereich
FCFA	first-call, first-appointment bzw. first-come, first-appointment
FCFS	first-come, first-served
ff.	fortfolgende
FIFO	first-in, first-out
Fr.	Freitag
FSM	finite state machine, endlicher Automat
GA	Genetischer Algorithmus / Genetische Algorithmen
ggf.	gegebenenfalls
GOM	Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung
GP	Genetische Programmierung / Genetisches Programmieren
GReAT	Graph Rewriting and Transformation language
h	Stunde / Stunden
HKL	Herzkatheterlabor
HVAC	heating, ventilating, and air-conditioning
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinne
i.V.m.	in Verbindung mit
ICD	implantierbare Defibrillator-(ICD)-Elektroden
ID	Identifikation

IMC	Intermediate Care
Ind.	Individuum, Individuen
ind.	indirekt
inkl.	inklusive
IT	Informationstechnologie
JADE	Java Agent Development
kard.	kardiologische
Kard.	Kardiologie
KATH	Katheteruntersuchung (re/li)
KHEntgG	Gesetz über die Entgelte für voll- und teilstationäre Krankenhausleistungen
KHG	Krankenhausfinanzierungsgesetz
KIS	Krankenhausinformationssystem (z.B. SAP IS-H*med)
KOZ	kürzeste Operationszeit
KST	kard. Station
LAA	Percutaneous Left Atrial Appendage Occlusion, Herzohr-Verschluss
lfd. Nr.	laufende Nummer
log.	logarithmisch
LZ	Liegezeit(en)
max.	maximal, maximale
MDA	Model Driven Architecture
Mi.	Mittwoch
min.	minimal, minimale
Min.	Minute(n)
Mio.	Millionen
MITRA	Mitralklappeneingriff, MitraClip-Therapie
Mo.	Montag
MOLA	Model transformation Language
MFD	Organisationseinheit Echokardiografie in Einrichtung 3
Mrd.	Milliarden
MRP	Manufacturing Resources Planning
MRSA	Methicillin-resistente Staphylococcus aureus
MS	Microsoft
MSS	master surgery schedule
MTA	Medizinisch-technischer Assistent, Medizinisch-technischer Assistentin, Medizinisch-technische Assistenten
np-vollständig	vollständig für die Klasse der Probleme, die sich nichtdeterministisch in Polynomialzeit lösen lassen
NQMC	National Quality Measurement Clearinghouse
Nr.	Nummer
NSTEMI	Nicht-ST-Hebungsinfarkt
n.v.	nicht verfügbar

OA	Oberarzt
ODBC	Open Database Connectivity
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OP	Operation
OrgEinheit.	Organisationseinheit
ORGPF	Organisationseinheit Pflege
PCA	Koronarangiografie (CORO)
PFO	Persistierendes offenes Foramen ovale, Verschlusssystem zum Verschließen eines Defektes an der Vorhofscheidewand des Herzens
PSO-Agent	Particle swarm optimization agent
PTA	Ballondilatation
PTCA	Perkutane transluminale coronare Angioplastie
QMS	Qualitätsmodell Krankenhaus
R-EKG	Ruhe-Elektrokardiogramm
RAM	Random-Access Memory (Direktzugriffsspeicher/Arbeitsspeicher)
Rek.	Rekanalisation
resp.	respektive
RFID	radio-frequency identification
RL	Restliegezeit
S.	Seite
SA	Simulated Annealing
SAP IS-H*med	Krankenhausinformationssystem
SDF	Synchronous Data Flow, kontinuierlicher Datenfluss
SGB	Sozialgesetzbuch
Simulationsergeb.	Simulationsergebnisse
SM	Schrittmacher
SONST	Sonstige HKL-Maßnahme
Sp.	Spalte
SPIRO	Spiroergometrie
ST	Station
St.Abw.	Standardabweichung
STEMI	ST-elevation myocardial infarction, ST-Hebungsinfarkt
TA	Terminabweichung(en)
Tab.	Tabelle
Tagesw.	Tageswechsel
TAVI / TFTAVI	kathetergestützte Aortenklappenimplantation (transvaskulär/transapikal)
TEE	Transösophageale Echokardiografie (Schluckecho)
TNA	Tag-Nacht-Aufnahme (Notaufnahme)
TSE	Stressecho, Belastungsechokardiografie
TTE	Transthorakalen Echokardiografie (normales Echo)
TUL	Transport-, Umschlags- und Lagerungslogistik

u.	und
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
UMLX	XML basierte unified modeling language
unabh.	unabhängig, unabhängige
USA	United States of America
usw.	und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche (Bezug auf eine andere Textstelle/Literaturquelle, welche an der ausgewiesenen Stelle nicht explizit ausgeführt wurde)
VIATRA	VIsual Automated model TRAnsformations
VISIK	Kurvervisite
VISIP	Patientervisite
vs.	versus
VU	Voruntersuchung
VU-Dauer	Voruntersuchungsdauer
Win.	Windows
WL	Warteliste
WS	Warteschlange
WZ	Wartezeit(en)
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformations
z.B.	zum Beispiel
ZE	Zeiteinheit / Zeiteinheiten
zzgl.	zuzüglich
ZNA	Zentrale Notaufnahme (Notaufnahme) auch TNA
zw.	zwischen

1. Einleitung

1.1 Motivation

Das deutsche Gesundheitssystem befindet sich im Umbruch. Der Gesetzgeber versucht den stetig steigenden Kosten im deutschen Gesundheitssystem entgegenzuwirken. Abb. 1 zeigt die Entwicklung der Krankenhauskosten in Deutschland von 1991 bis 2014 sowie die Anzahl der im Bezug stehenden Krankenhäuser. Während dieser Zeit wuchs die deutsche Bevölkerung, auf welche sich die Ausgaben beziehen, leicht, von 80,0 Mio. Einwohnern 1991 auf 80,9 Mio. Einwohner in 2014 [OECD 2015].

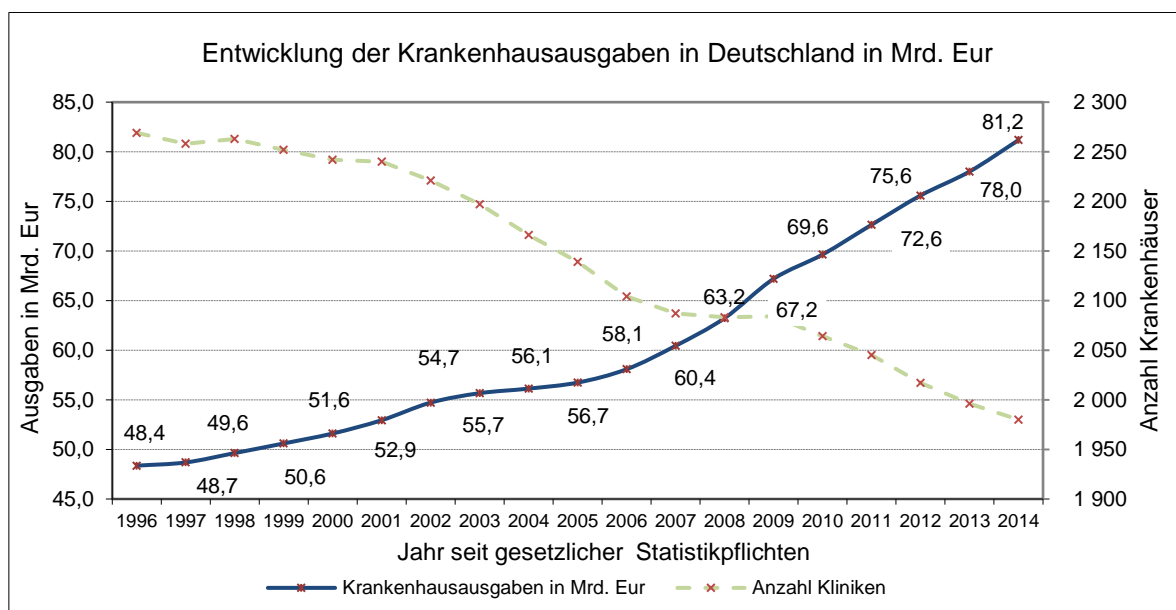


Abb. 1: Entwicklung der Krankenhauskosten in Deutschland von 1996 bis 2014 [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016a, 2016c]

Doch warum stellt dies ein Problem dar? Bis zum Jahr 1992 konnten Krankenhäuser auf eine vollständige Deckung der Selbstkosten durch die Vergütung der Krankenkassen und die Investitionsfinanzierung durch die öffentliche Hand bauen (Selbstkostendeckungsprinzip). Im Rahmen dessen erhielten Kliniken die Aufwendungen für die Behandlung eines Patienten³ vollständig vergütet, unabhängig z.B. von der Dauer des Aufenthaltes. Das Prinzip zur Deckung der Selbstkosten wurde, durch mangelnde Anreize zu Rationalisierungsbemühungen und sparsamen Wirtschaftens, für die relativ starke Kostensteigerung im Krankenhausbereich verantwortlich gemacht. Um dem entgegenzuwirken, wurde beginnend mit dem Gesundheitsstrukturgesetz (GSG), welches am 01. Januar 1993 in Kraft gesetzt

³ Im Rahmen der Arbeit wird zum Zweck der besseren Lesbarkeit Patient sowohl für männliche wie auch weibliche Person verwendet. In gleicher Weise erfolgt dies für Ärzte und Pflegekräfte.

1. Einleitung

wurde, ein Reformprozess gestartet, mit dem Ziel der Kosteneindämmung und leistungsbezogenen Vergütung. So sah die Verabschiedung des „GKV-Gesundheitsreformgesetzes 2000“ im Jahr 1999, u.a. die Einführung eines pauschalierten Entgeltsystems vor, welches das bestehende System ab 01.01.2003 vollständig ersetzt⁴ [Fleßa 2013, S. 138]. Mit der obligatorischen Einführung des G-DRG-Vergütungssystems (diagnose-bezogene Fallgruppen) für voll- und teilstationäre Patienten zum 01.01.2004 durch das Krankenhausentgeltgesetz (KHEntgG) [Fleßa 2013, S. 139], basiert nunmehr die Höhe der Vergütung auf den Fallpauschalen, welche u.a. auf der Krankheitsart und Schwere der Erkrankung⁵ beruhen [Fleßa 2013, S. 144 ff.; Greiling 2007, S. 28 ff.]. Damit sind die Vergütungen nun vorbestimmt und somit weitestgehend⁶ losgelöst vom Einflussbereich der Kliniken. Dies stellt die Krankenhäuser zunehmend vor das Problem der fehlenden Kostendeckung, da die DRG-Pauschalen die tatsächlichen Kosten u.U. nicht mehr vollständig decken. Für eine Übergangszeit (Konvergenzphase⁷) sah das KHEntgG Aufschläge auf die DRG-Vergütung vor, welche bis 2009 abgebaut wurden [Fleßa 2013, S. 140, 167]. Ab 2010 gilt ein landesweiter Basisfallwert für alle Krankenhäuser. Im Dezember 2012 wurden im KHEntgG einheitliche Bundesbasisfallwerte festgelegt, welche ab 2013 gelten und einen Basisfallwertkorridor vorsehen. Hintergrund der Entwicklung stellt das nach wie vor erklärte Ziel der Regierung dar, Krankenhäuser in ein wirtschaftlicheres Handeln zu leiten und ein gegenseitiges wirtschaftlich konkurrierendes Bestreben anzuregen, um die Effizienz zu erhöhen und Kosten weiter zu senken [Braun von Reinersdorff 2007, S. 17 f.]. Wie die Abb. 1 jedoch zeigt, bleibt der nachhaltige Erfolg bisher aus. Die Krankenhauskosten steigen weiter. Krankenhäuser sind zunehmend mit der fehlenden Kostendeckung konfrontiert, welche sie nicht zu bewältigen vermögen (siehe Abb. 2). Das Krankenhaus Barometer 2015 des Deutschen Krankenhaus Institutes bezeichnet die aktuelle wirtschaftliche Lage vieler deutscher Krankenhäuser als „nach wie vor kritisch“ [Deutsches Krankenhaus Institut 2015, S. 84]. Es wird festgestellt, dass in 2014 mit 31,5 % fast jedes Dritte deutsche

⁴ Ausnahmen stellen die in der Psychiatrie-Personalverordnung genannten Einrichtungen und der Einrichtungen für Psychosomatik und Psychotherapeutische Medizin dar §17b KHG, Abs. 1, S 1 [Bundesministerium der Justiz 2013b].

⁵ Zudem sieht das KHEntgG Zuschläge zu den Fallpauschalen vor, z.B. für Ausbildungsstätten, um einen entsprechenden Ausgleich zu schaffen [Fleßa 2013, S. 140].

⁶ Die Diagnosestellung unterliegt nach wie vor der subjektiven Einschätzung und dem Können des ärztlichen Personals.

⁷ Phase des Übergangs bis zur gesamtheitlichen Anwendung des pauschalen Entgeltsystems. Seit dem Jahr 2003 konnten die Krankenhäuser freiwillig optieren, ob sie ihre Leistungen nach DRG (Diagnosis Related Groups) abrechnen oder nicht. Mit Beginn der Konvergenzphase in 2004 sind alle Krankenhäuser zur Abrechnung nach DRG verpflichtet. Ausgenommen sind Bereiche, wie z.B. die Psychiatrie oder die Psychosomatik. Bislang war der Umstieg für die Krankenhäuser budgetneutral. Ab 2004 werden die krankenhausesindividuellen Basisfallwerte an den landeseinheitlichen Basisfallwert herangeführt.

Krankenhaus einen Jahresfehlbetrag ausweist. Bei den Kliniken mit 600 Betten und mehr sind dies sogar 39,3 % (siehe Abb. 2). Lediglich 56,0 % aller Krankenhäuser weisen einen Jahresüberschuss aus [Deutsches Krankenhaus Institut 2015, S. 84].

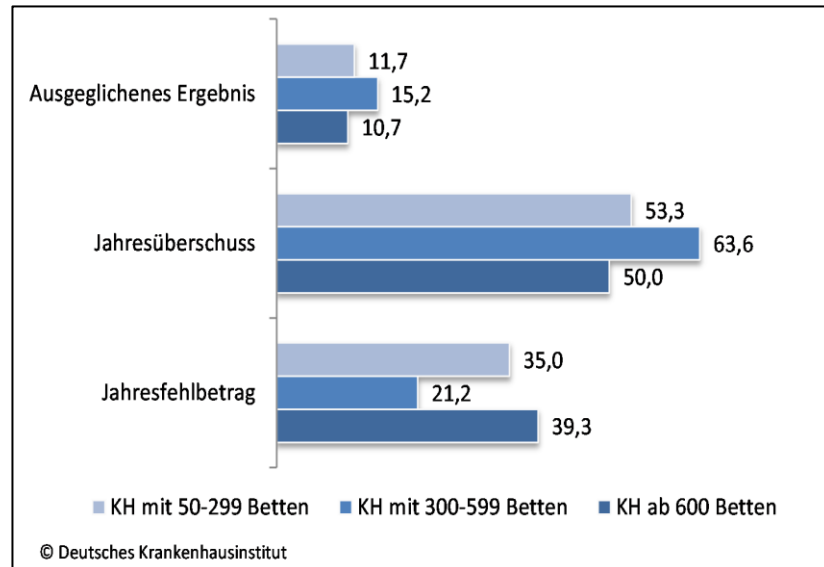


Abb. 2: Jahresergebnis 2014 nach Krankenhausgröße [Deutsches Krankenhaus Institut 2015, S. 85]

Dieser Umstand führt in Deutschland regelmäßig zur Insolvenz, Schließung oder Privatisierung, z.B. in jüngster Zeit die Insolvenz des Südhessischen Klinikverbunds [Frankfurter Allgemeine 2016] oder die Schließung der St. Lukas Klinik [Solinger Tageblatt 2016]. Hauptgrund ist immer wieder die fehlende Kostendeckung. Laut Krankenhaus Rating Report 2015 sind aktuell ca. 16 % der Krankenhäuser erhöht insolvenzgefährdet [Augurzky et al. 2015]. Den öffentlich-rechtlichen Krankenhäusern gehe es hierbei am schlechtesten. Um dem Kostendruck entgegenzuwirken reagierten die Krankenhäuser in den vergangenen Jahren u.a. durch eine Ausweitung der Maßnahmen (Mengendynamik), wie der Krankenhaus Rating Report 2012 aufzeigt [Augurzky et al. 2012]. Es werden am Patienten nicht notwendige aber im Rahmen des DRG-Systems abrechenbare und gut bezahlte Maßnahmen durchgeführt, um den Ertrag zu steigern. Dies war sicherlich nicht das Bestreben des Gesetzgebers. Somit gilt es nach wie vor nachhaltige Lösungen zu finden, um die Wirtschaftlichkeit der Krankenhäuser zu verbessern.

Um den Ertrag eines Krankenhauses zu bestimmen, lässt sich folgende Gleichung aufstellen:

$$\text{Ertrag}^8 = \sum_{i=1}^n (\text{Vergütung}(\text{DRG})_i - \text{Behandlungskosten}_i); n \in N$$

⁸ Es wird zu bedenken gegeben, dass das Zielstreben von der Trägerschaft der Klinik abhängig ist. Teils werden soziale Aspekte in den Vordergrund gestellt und Kliniken subventioniert. Damit sich eine Klinik

1. Einleitung

Eine Kostendeckung resp. Maximierung des Ertrags kann folglich über eine Minimierung der Behandlungskosten⁹ in Verbindung mit einer Maximierung der Patientenzahlen (n) erreicht werden. Als potentiell wichtigster Regelmechanismus für die Patientenzahl ist die Qualität der Behandlung anzusehen, welche u.a. an den Behandlungsergebnissen und dem Erfolg der Behandlung bemessen wird. Bezogen auf das Ziel der Kostendeckung oder Ertragsmaximierung, darf Qualität nicht zum Opfer einer Kostenreduktion werden, wie dies scheinbar 2009 bei der Antonius-Klinik in Wegberg der Fall war [Focus Online 2009] oder 2010 in dem Klinikum Bogenhausen [BR Online 2011]. Eine systematische Erfassung und der Vergleich von Ergebnisqualität sind für das moderne Qualitätsmanagement und für die zukünftige Steuerung der Behandlungsprozesse und -strukturen unerlässlich. Zur Messung der Behandlungsqualität gibt es bereits diverse Vorstöße. Nowak & Schmied [2003] geben hierzu einen Überblick, z.B. die Initiative um das Qualitätsmodell Krankenhaus (QMK), die Nationale Agentur für die Akkreditierung und Evaluierung im Gesundheitsbereich (ANEAS). Zahlreiche Qualitätsindikatoren über den erzielten Behandlungserfolg sind beim National Quality Measurement Clearinghouse (NQMC) und der Bundesgeschäftsstelle Qualitätssicherung (BQS) dokumentiert (siehe [BQS 2008, 2012]). Nicht zuletzt fand die Qualitätssicherung Einzug im deutschen Sozialgesetzbuch (SGB), z.B. für den stationären Bereich in Form des § 135a SGB V Verpflichtung zur Qualitätssicherung, § 137 SGB V Qualitätssicherung bei zugelassenen Krankenhäusern oder § 137c SGB V Bewertung von Untersuchungs- und Behandlungsmethoden im Krankenhaus [Bundesministerium der Justiz 2013a]. Traditionell ist die Strategie der Krankenhäuser im Wettbewerb um Patienten überwiegend auf neue medizintechnische Diagnose-, Behandlungs- und Therapiemethoden ausgerichtet (meist kostensteigernde Innovationen), weniger auf Prozess-, Service- und Geschäftssysteminnovationen [Braun von Reinersdorff 2007, S. 81 f.]. Das heißt, dass auch ansprechende und den Leistungsgegenstand angepasste Infrastrukturen oder die Freundlichkeit des Personals gegenüber dem Patienten, wie auch eine gute Planung, Transparenz und Steuerung des Patientenaufenthaltes über den gesamten Klinikaufenthalt hinweg als Wettbewerbsfaktor und Qualitätsmerkmal einer Klinik als Dienstleister ausgelegt werden kann. Dies bezeichnet Schulte als „Kundennutzensteigerungspotential“, welches als bewusst wahrnehmbarer Kundennutzen verstanden wird, durch eine gesteigerte Liefersicherheit und -genauigkeit, sowie einem Zusatz an dem Grundnutzen Funktionalität und Qualität für den

selber tragen kann, wird ein Ertrag erforderlich sein, der mindestens alle Aufwendungen (Kosten) deckt. Es wird hier ein wirtschaftlich orientiertes Krankenhaus unterstellt, ohne Zuschüsse.

⁹ Auf Basis der Vollkosten.

Kunden [Schulte 2005, S. 29]. Hieraus können den Patienten Anreize geschaffen werden, um daraus die Patientenzahlen zu steigern.

Ein Nutzen aus der Steigerung der Patientenzahlen ergibt sich gemäß der obigen Gleichung jedoch nur, wenn die DRG-Zahlungen die Behandlungskosten decken. Behandlungskosten lassen sich durchaus beeinflussen, z.B. eine Optimierung des Einkaufs von Verbrauchsmaterialien, Standardisierungen von Abläufen, Anwendung effizienter Behandlungsmethoden (best Practice), Optimierung des Ressourceneinsatzes und die Optimierung der Prozesse (Ablauforganisation). Da die Behandlungen und deren Abfolge auf medizinischen Entscheidungen fußen, z.B. klinikspezifische Behandlungspfade und -pläne, sind diese für die vorliegende Arbeit als gegebener Rahmen zu betrachten. Auch wird ein optimaler Einkauf von Verbrauchsmaterialien als Status Quo uns somit als gegeben angesehen. Jedoch hängen die Behandlungskosten wie auch die Anzahl der behandelten Patienten stark von dem effizienten Einsatz der verfügbaren Kapazitäten und Ressourcen ab, was wiederum effiziente Prozessabläufe bedingt. Desto besser dies ausgestaltet wird, umso kürzer fällt z.B. die Durchlaufzeit der Patienten aus. Dies führt zu einer Reduktion der Behandlungskosten und der Möglichkeit, mehr Patienten zu behandeln (vgl. [Kühn et al. 2012]), was wiederum zu Mehreinnahmen und bei positiver Kostendeckung zu mehr Ertrag der Einrichtung führt. Als Durchlaufzeit wird, in Anlehnung an das Grundmodell des betriebswirtschaftlichen Transformationsprozesses, die Zeitspanne zwischen einem Input und dem daraus resultierenden Output verstanden [Wöhe & Döring 2008, S. 283, 295, 352 f.]. Im hier vorliegenden Bezug ist dies die Zeitspanne zwischen Aufnahme des Patienten bis zur Entlassung (Krankenhausverweildauer). Als Throughput kann im klinischen Bereich u.a. die Behandlung und Betreuung des Patienten (Leistungserstellung) gesehen werden. Aus diesem heraus resultieren Liege- und Wartezeiten, welche die Durchlaufzeit determinieren. Auf der Basis dessen wird die Durchlaufzeit hier wie folgt definiert:

$$\text{Durchlaufzeit (Verweildauer)} = \text{Behandlungszeit} + \text{Wartezeit.}$$

Die Messung von Wartezeiten oder Durchlaufzeiten ist ein verbreitetes Güte- und Vergleichskriterium (siehe [Scholz & Vrohling 1994, S. 68 ff.] zur Durchlaufzeit). Abb. 3 zeigt die Krankenhausverweildauer für die Bundesrepublik im Vergleich mit anderen Staaten.

1. Einleitung

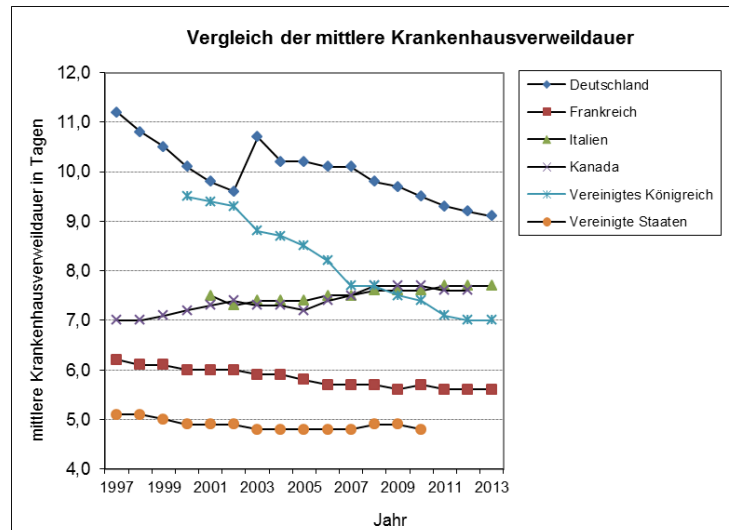


Abb. 3: Mittlere Krankenhausverweildauer über alle Diagnosekategorien (einschließlich Sterbefälle, ohne Stundenfälle) der Staaten im Vergleich [OECD 2016]

Wie der Grafik entnommen werden kann, ist die Verweildauer der Patienten in Deutschland gegenüber der hier im Vergleich stehenden Ländern signifikant höher. Gründe hierfür finden sich u.a. in den über Jahrzehnte gewachsenen Strukturen und Prozesse innerhalb der Krankenhäuser¹⁰. Krankenhäuser in Deutschland waren in der Vergangenheit, aufgrund des Vergütungsansatzes auf dem Selbstkostenprinzip, nicht bestrebt, die Verweildauer der Patienten und den Ressourceneinsatz (z.B. die Stationsbetten) zu optimieren. Sie sind für gewöhnlich in verschiedene Fachrichtungen gegliedert (z.B. Kardiologie, Pulmologie, interdisziplinäre Notaufnahme) und besitzen eine historisch gewachsene Organisationsstruktur (Verwaltung, Pflege, Medizin). Sowohl auf der Ebene der Fach- wie auch auf Seiten der Struktureinheiten gibt es eigene Vorstellungen sowie individuelle Bestrebungen und daran ausgerichtete Prozessabläufe. Wie Kriegel et al. [2009] im Rahmen einer Befragung von Kliniken gezeigt haben, sind Krankenhäuser aktuell bestrebt die alten Strukturen aufzubrechen und effizientere Strukturen zu schaffen, um auch in den Abläufen schlanker und effizienter zu werden. Im Zuge dessen versuchen die Fachbereiche und ihre Unterbereiche jeder für sich, selten auch zusammen mit anderen Bereichen, eine optimale Ausgestaltung z.B. hinsichtlich der Terminplanung von Patienten zu finden. Teils erreichen die einzelnen Bereiche auch eine Optimalität bezogen auf ihre individuellen Ziele. Problematisch ist hierbei zu werten, dass die Ergebnisse dieses bereichsbezogenen Optimierungsbestrebens nur für den jeweiligen Teilbereich optimal sind und im Zusammenspiel sich gegenseitig negativ bedingen können. Zum Beispiel ist die Einbestellung mancher klinischer Funktionsbereiche darauf ausgerichtet, eine möglichst einhundertprozentige Auslastung zu erreichen.

¹⁰ Gründe hierfür können auch in dem Gesundheitszustand, der abweichenden Lebenserwartungen oder dem Durchschnittsalter der Bevölkerung gesehen werden.

Dazu wird eine Art „Push-Prinzip“ praktiziert. Es werden so viele Patienten einbestellt (teils ohne festen Termin), dass unabhängig von der Abarbeitungsgeschwindigkeit immer ausreichend Patienten vorhanden sind, um eine Vollausslastung zu erreichen. Dieses Optimierungsbestreben geht zum einen zu Lasten der Patienten, welche dadurch mit teils extremen Wartezeiten (bis zu 5 Stunden [Kühn 2007, S. 307]) oder sogar einer Verschiebung des Termins auf einen anderen Tag rechnen müssen. Ferner verursachen diese lokalen Optimierungsbestreben, betrachtet man die Einrichtungen in ihrer Gesamtheit, negative Auswirkungen für im Ablauf nachgelagerte Bereiche, z.B. in Bezug auf die Terminplanung im OP, welche dadurch intransparent wird oder nicht eingehalten werden kann, weil dort geplante Patienten im Wartebereich des Funktionsbereiches „festhängen“. In diesem Sachverhalt kann die Notwendigkeit einer fachübergreifenden Abstimmung gesehen werden. In der Klinik fühlt sich derzeit keiner in der Lage und, bedingt durch die organisatorische, funktionale Gliederung in Fachbereiche (Abteilungen), verantwortlich diese Abstimmungsprozesse vorzunehmen resp. bewältigen zu können. Nach Martin [2013] ist das symptomatisch. Er führt aus:

„Ich selbst bin absolut nicht der Ansicht, dass die unklaren Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen in dieser Welt zugenommen haben. Es sind nur die negativen Folgen der weitgehend ignorierten fachübergreifenden Komplexität, die dafür sorgen, dass wir uns von massiver, unbeherrschbarer Komplexität überwältigt fühlen. [...] Um wirkliche Fortschritte bei Problemen im großen Maßstab machen zu können, müssen wir deshalb unbedingt herausfinden, wie der richtige Umgang mit fachübergreifender Komplexität aussieht.“ [Martin 2013]

Wie am vorhergehenden Beispiel aufgezeigt, verlieren sich die bisherigen Lösungsansätze in der Konzentration auf einzelne, spezifische Sachverhalte. Die bereichsbezogenen Lösungen scheitern im komplexen Zusammenspiel der Realität. Weiterhin führt Martin [2013] aus:

„Die echte Welt [...], in der wir leben und immer gelebt haben, ist eine Welt der Detail-Komplexität. Wenn wir also die Detail-Komplexität opfern, um uns auf dynamische Komplexität zu konzentrieren, kommen dabei nicht die Ergebnisse heraus, die wir wirklich wollen.“

Wie Martin ausführt, gibt es neben der fachübergreifenden Komplexität noch die Detailkomplexität und eine dynamische Komplexität. Letzteres lässt sich in den dynamischen Gegebenheiten der klinischen Prozesse wiederfinden. Zum Beispiel sind die Abläufe im Krankenhaus dynamisch. Patienten treten zeitlich bestimmt (mit

1. Einleitung

Termin) und unbestimmt (z.B. als Notfall) auf, werden behandelt entsprechend den jeweiligen, sich im zeitlichen Verlauf ändernden Anforderungen. Fortlaufend werden neue Erkenntnisse gefasst und Diagnosen gestellt. Der klinische Alltag ist damit hoch dynamisch. Es darf aber in der Betrachtung nicht die Detailkomplexität geopfert werden, um der dynamischen Komplexität gerecht zu werden. Die Ergebnisse, welche durch die Betrachtung von spezifischen, eng begrenzten Sachverhalten, mit häufig stark vereinfachenden Annahmen und damit ohne Berücksichtigung der erforderlichen Detailkomplexität, erzielt werden, bringen in der Realität des komplexen Zusammenspiels nicht die gewünschten Ergebnisse und scheitern damit. Bei der Lösungssuche bedarf es somit einer adäquaten Berücksichtigung der fachübergreifenden Komplexität, der Detailkomplexität und der dynamischen Komplexität. Bezogen auf die Krankenhausdomäne bedarf es insbesondere der abteilungsübergreifenden Betrachtung in den Prozessen (prozessorientierte Sicht), da die Behandlungsverläufe der Patienten oftmals fachübergreifend verlaufen.

Als fach- oder abteilungsübergreifend wird im Folgenden allgemein nach dem Duden „innerhalb eines bestimmten Bereichs alles bestimmend“ verstanden. Eine übergeordnete Bedeutung und Gültigkeit wird ebenfalls unterstellt [Duden 2013]. Bezogen auf die Domäne der Klinik, als einer Planungsart oder -methodik, die für einen Fachbereich (Abteilung) abgestimmt ist und bestimmend wirkt, mit eben einer übergeordneten Bedeutung, z.B. in Bezug auf das Zusammenspiel und die Einflüsse anderer Abteilungen.

Eine zentrale Problemstellung einer Klinik, in der sowohl Detailkomplexität wie auch dynamische Komplexität wirken, findet sich im Bereich der Ablauforganisation, im Speziellen in der Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten. Derzeit erfolgt die elektive Aufnahmeplanung (Patienteneinbestellung) bereichsbezogen, z.B. in der Ambulanz oder individuell durch die jeweilige Stationen, und damit gegenseitig unabgestimmt, obwohl im weiteren Verlauf teils gleiche Ressourcen beansprucht werden, z.B. diagnostische Funktionsbereiche. Im Idealfall erfolgt die Betrachtung und Abstimmung über den gesamten klinischen Aufenthalt eines Patienten hinweg, mit einer gegenseitigen Abstimmung der Termine und nachgelagerter Ressourcenerfordernisse. Hierbei sollte jedoch differenziert werden, wo eine Terminplanung sinnvoll und erforderlich ist und wo nicht.

Aktuell stellt sich die Situation in den Krankenhäusern derart dar, dass erst in wenigen Krankenhäusern die Patienteneinbestellung (Terminierung) strukturiert und geplant umgesetzt wird sowie eine Verbindlichkeit bei den Terminen (Termintreue) zu sehen ist. In 38 % der Krankenhäuser findet eine abteilungsinterne

Terminierung statt. Bei 29 % ist diese verbindlich (siehe Abb. 4) [Kriegel et al. 2009, S. 22].

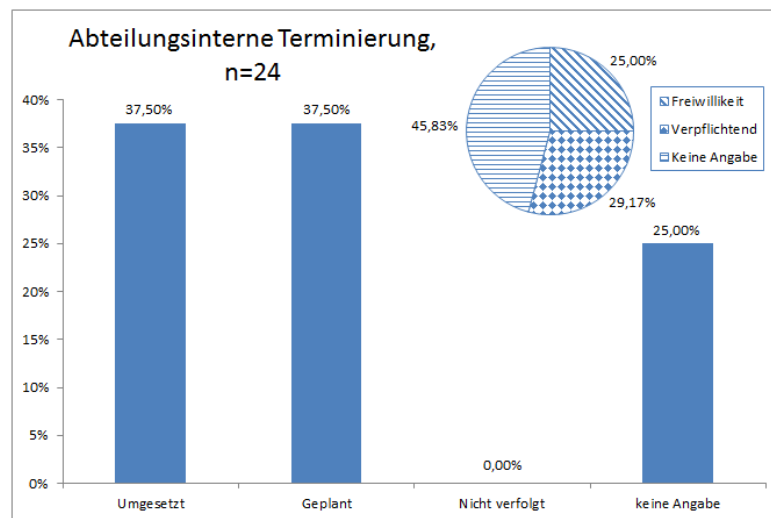


Abb. 4: Überblick aktuelle abteilungsinterne Terminierung [Kriegel et al. 2009, S. 22]

Eine abteilungsübergreifende Terminierung ist erst bei 17 % der Krankenhäuser umgesetzt und davon in 38 % der Fälle verpflichtend (siehe Abb. 5) [Kriegel et al. 2009, S. 22]. Hieraus ergibt sich ein konkreter Handlungsbedarf, „da eine prognostizierbare, qualitative und wirtschaftliche Leistungserstellung letztendlich nur auf Basis verbindlicher Terminierung erfolgen kann.“ [Kriegel et al. 2009, S. 22].

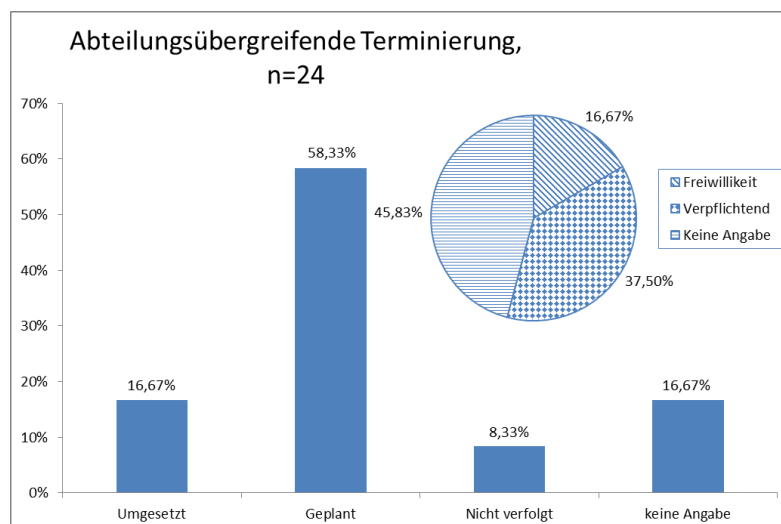


Abb. 5: Überblick aktuelle abteilungsübergreifende Terminierung [Kriegel et al. 2009, S. 22]

Hierbei unterstützende Planungssysteme sind nur sehr vereinzelt in Teilbereichen im Einsatz. Dies stellte sich bei Vor-Ort-Analysen, im Rahmen von Interviews und standardisierten Befragungen, die an Kliniken durchgeführt wurden, immer wieder heraus (siehe Abschnitt 6.1 zur Mitarbeiter- und Patientenbefragung). Eine mangelnde Koordination der Patienteneinbestellung, u.a. zwischen den

1. Einleitung

Fachabteilungen und den Unterbereichen, kann potentiell die Wartezeiten und Verweildauern der Patienten negativ beeinflussen. Hierdurch entstehen Zusatzkosten für praktisch alle Beteiligten (siehe [Scholz & Vrohling 1994, S. 68]) und die wahrgenommene Qualität der Leistung sinkt aus Sicht des Patienten. Im Bereich der Prozessoptimierung haben Kliniken das Potential diesem entgegenzuwirken [Stoll et al. 2008, S. 24; Greiling 2007, S. 13–14, 2004, S. 21]. Eine bereits im Vorfeld durchgeführte Simulationsstudie konnte das Verbesserungspotential im Speziellen bei der Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten und dem daraus resultierenden effizienteren Ressourceneinsatz aufzeigen (siehe [Kühn 2007]). Auch Fleßa und Nickel [2008, S. 181 f.] sehen großes Optimierungspotential in der Terminplanung. Brettel [1999, S. 771] sieht in der Güte des Planungssystems und der zusätzlich dazu zu ergreifenden Maßnahmen den größten Hebel zur Reduktion der Kosten. Um die Prozesse in den Krankenhäusern effizienter zu gestalten und die Krankenhauskosten zu senken, bedarf es nun einer stärkeren Gesamtsicht, über die bisher noch sehr eigenverantwortlichen Bereiche hinaus hin zu einer abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung der Patienten.

1.2 Zielsetzung

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist eine Möglichkeit zur abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten in Kliniken zu eruieren und zu validieren, welche dem aktuellen Trend zur prozessorientierten Sichtweise folgt. In dem Bezug soll aufgezeigt werden, wie der Umgang mit der fachübergreifenden Komplexität in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand ausgestaltet werden kann, ohne in der Betrachtung die Detailkomplexität oder die dynamische Komplexität zu vernachlässigen.

Wie Senger [2000, S. 6], mit Verweis auf Ross [1995, S. xi] und Szyperski & Klein [1993, S. 187], ausführt, ist es „eine wissenschaftlich anerkannte Methode, durch den Wechsel der Betrachtungsperspektive auf eine im Grunde bekannte Problemstellung neue Erkenntnisse zu gewinnen“. In diesem Sinne ist es das erklärte Ziel der vorliegenden Arbeit, die Problemfelder der

- stationären Aufnahmeplanung,
- ambulanten Aufnahmeplanung und der
- OP-Planung

einer neuen gesamtheitlichen und abteilungsübergreifenden Betrachtung zu unterziehen und daran ausgerichtet eine Optimierung derer durchzuführen. Hierin wird ein Teil der fachübergreifenden Komplexität gesehen. In diesem Zusammenhang sind einwirkende Einflüsse zu berücksichtigen, um auch der Detailkomplexität gerecht zu werden. Dies sind im Speziellen:

- zufälliges Eintreffen der Patienten/Patientenanfragen,
- stochastisch von extern einfließende Notfälle,
- zufällig im Behandlungsverlauf auftretende Notfälle,
- stochastisches Auftreten von Patienten ohne Termin (walk-in),
- Unpünktlichkeit von Patienten,
- ohne Absage ausbleibende Patienten (no-show),
- stochastische Varianzen im Behandlungsverlauf der Patienten,
- unterschiedliche Arten von Behandlungen (Maßnahmen),
- zum Zeitpunkt der Terminanfragen zur stationären/ambulanten Aufnahme unbekannter Behandlungsverlauf (Maßnahmenplan),
- stochastische Varianzen in den Bearbeitungszeiten (z.B. durch Komplikationen oder den individuellen Patientenzustand),
- stochastische Störungen resp. Ausfälle sowie geplante Wartungen an technischen Ressourcen und
- Wechselwirkungen zwischen Stationen/Fachbereichen (z.B. Verlegungen).

Speziell in den Wechselwirkungen zwischen den Stationen und Fachbereichen wird ein weiterer wichtiger Teil der abteilungsübergreifenden Komplexität gesehen.

Im Rahmen dessen wird fünf konkreten Fragestellungen nachgegangen:

- Wann und in welchem Umfang sind die elektiven Patienten (von extern) in Bezug auf die derzeitigen Prozessabläufe und vorhandene Ressourcen einzubestellen?
- Wie lassen sich nachgelagerte Maßnahmen (Termin- und Kapazitäten), z.B. Elektrokardiografie, Echokardiografie, bereits im Vorfeld der stationären/ambulanten Aufnahme berücksichtigen?
- Wie lassen sich Notfälle/Notfallzugänge in der Planung berücksichtigen, speziell im OP-Bereich und auf den Stationen?
- Wie lassen sich die Liegezeiten auf den betrachteten Stationen verkürzen, ohne Einfluss auf die medizinische Versorgung oder Genesungsdauer der Patienten zu nehmen?
- Wie sollte die Terminvergabelogik in den betrachteten Funktions-/OP-Bereichen ausgestaltet sein, um eine möglichst geringe zeitliche Abweichung vom Plantermin (hohe Termintreue) bei gleichzeitig möglichst geringer Wartezeit der Patienten zu erreichen?

Um auch der dynamischen Komplexität gerecht zu werden, wird es als erforderlich angesehen und somit als Ziel definiert, dass ein dynamisches Prozessmodell aufgebaut wird, welches dem Zweck zur Simulation, Prozessoptimierung und Ergebnisvalidierung dient.

1.3 Forschungsmethode

Die vorliegende Arbeit folgt dem Ansatz des Design Science Research (DSR). Die Aufgabe des DSR beschreibt Hevner [2004, S. 77] mit „Design science [...] creates and evaluates IT artifacts intended to solve identified organizational problems.“. Somit geht es dem DSR um das Erstellen und Evaluieren von „Artefakten“ der Informationstechnologie, deren Intention es ist, die identifizierten, organisatorischen Probleme zu lösen. Ein Artefakt kann verstanden werden als Begriff für „constructs (vocabulary and symbols), models (abstractions and representations), methods (algorithms and practices), and instantiations (implemented and prototype systems).“ [Hevner et al. 2004, S. 77]. Mit dem Ziel einer abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung sowie einer Optimierung derer, werden in der vorliegenden Arbeit IT-Artefakte aufgebaut. Zum einen handelt es sich dabei um das Simulationsmodell und im Weiteren um den Genetischen Algorithmus, welcher hier problemspezifisch adaptiert wird. Dem Simulationsmodell obliegt die Funktion der Abbildung des Realsystems, um daran eine Analyse und Optimierung durchzuführen und auf dem Wege zu Erkenntnissen zu gelangen, welche auf die Realität übertragbar sind. Der Genetische Algorithmus fungiert als Optimierer, welcher das Modell, bezogen auf die Optimierungsparameter (Stellgrößen) und die resultierenden Kennzahlen, verbessern soll. In dem Zusammenhang fungiert das Simulationsmodell auch zur Evaluierung und Verifizierung der Optimierungsergebnisse. Vom Ablauf folgt die vorliegende Arbeit dem Prozessmodell nach Peffers et al. [2007; 2006] (siehe Abb. 6).

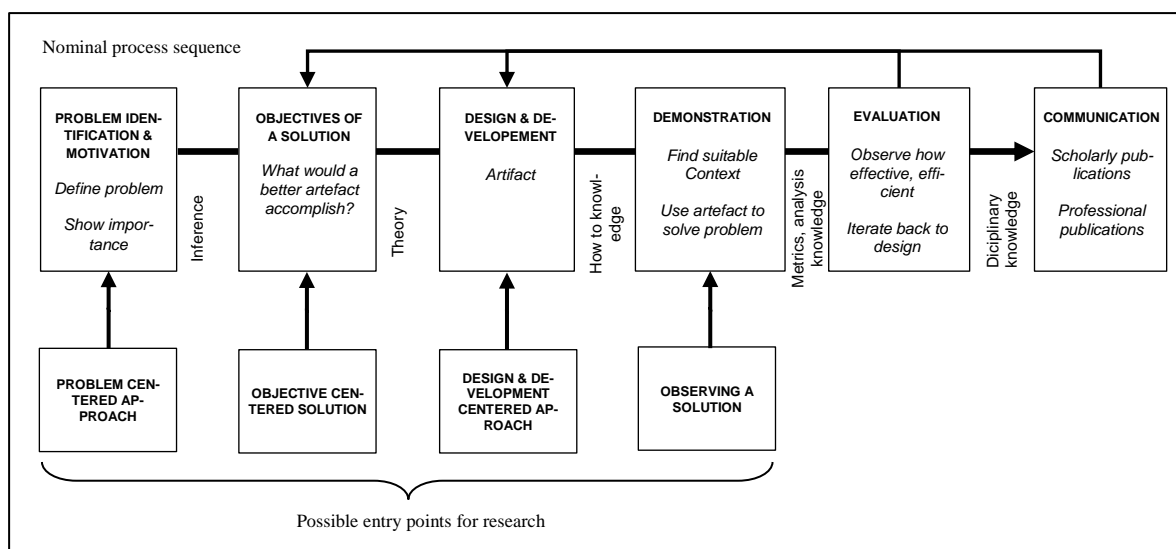


Abb. 6: Prozessmodell des Design Science Research [Peffers et al. 2006, S. 93]

Die Problemstellung als Motivation sowie die daran abgeleitete Zielstellung der Arbeit wurde bereits detailliert ausgeführt. In Bezug auf die Zielstellung dessen, was die hier zugrunde liegenden Artefakte erreichen sollen, werden im Weiteren eine

Literaturrecherche zum Stand der Lösungen durchgeführt sowie die Prozesse und Daten im Realsystem erhoben und analysiert (Objective of a Solution). Aus dem Delta wird die Spezifikation der Artefakte abgeleitet und diese anschließend implementiert (Design & Development). Die Demonstration erfolgt schließlich in der Anwendung des Simulationsmodells mit dem Genetischen Algorithmus als Optimierer. Evaluationen werden über die gesamte Arbeit hinweg vorgenommen in Form der Daten-, Modell- und Ergebnisvalidierung. Darüber hinaus wird detailliert betrachtet, ob die Optimierung eine Verbesserung gegenüber dem Ist-Stand (Soll-Ist-Vergleich) hervorgebracht hat. Die Kommunikation der Arbeit erfolgt in Form von wissenschaftlichen Veröffentlichungen von ausgewählten Teil- und Zwischenergebnissen sowie durch die Veröffentlichung der vorliegenden Arbeit als Ganzes in Form der Dissertationsschrift.

Im Weiteren werden ergänzend in der Arbeit das Systems Engineering nach Haberfellner & Daenzer [2002] als methodische Komponente eingesetzt. Das Systemsengineering versteht sich als Problemlösungsprozess, eine „Wegleitung zur zweckmäßigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme“ [Haberfellner & Daenzer 2002, S. XVIII]. Es ist geprägt durch das Systemdenken und modular kombinierbaren Grundbausteinen.

1.4 Gliederung und Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit wird das Thema in den Rahmen der Krankenhauslogistik eingegliedert und die Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung werden ausgeführt. Daran anschließend werden in Kapitel 3 existierende Lösungsansätze vorgestellt. In Kapitel 4 wird auf die Grundlagen der Systeme, der Simulation und der Optimierung mittels Simulation eingegangen. Ferner wird eine Auswahl an Optimierungsverfahren vorgestellt. Beginnend mit Kapitel 5 erfolgt der Modellaufbau. Hierzu wird zunächst der Untersuchungsgegenstand abgegrenzt und die damit verbundenen wesentlichen Begrifflichkeiten erläutert. In Kapitel 6 wird die Prozessaufnahme, Datenerhebung und Datenvalidierung beschrieben. Anschließend wird in Kapitel 7 auf die Ausgangsbasis in Bezug auf die identifizierten Herausforderungen und die bereichsspezifischen Optimierungsziele eingegangen. Kapitel 8 befasst sich mit der Fragestellung, welches Optimierungsverfahren in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kommt. Kapitel 9 schildert den konkreten Modellaufbau und die Modellvalidierung. Im Rahmen dessen wird der Frage nachgegangen, wie vorliegende Prozessbeschreibungen automatisiert in ablauffähige Simulationsmodelle transformiert werden können, um den Modellbildungsprozess zu beschleunigen und zu standardisieren. Darüber hinaus wird in Kapitel 9 auf die Umsetzung der drei Planungsebenen im Ist-Modell eingegangen. Kapitel 10 befasst sich mit der Überleitung des Ist-Modells in das Soll-Modell. Im Zuge dessen werden

1. Einleitung

Modellergänzungen erläutert und im Besonderen das, später durch den Algorithmus zu parametrisierende, Planungskonzept vorgestellt. In Kapitel 11 wird die Adaption und in Kapitel 12 die Anbindung des Genetischen Algorithmus zur Optimierung beschrieben. Im Zuge dessen wird die Anwendung einer variablen Mutationsrate, an eine als Chromosomenfitness bezeichnete Fitnessbewertung der Einzelchromosomen erläutert. Kapitel 13 führt die Simulationsszenarien zur Validierung und Optimierung des Planungskonzeptes wie auch der zur Anwendung kommenden variablen Mutationsrate aus. Die Simulationsergebnisse werden aufgeführt und in deren Bedeutung bezogen auf die vorliegende Zielstellung erläutert. Kapitel 14 zeigt auf wie die gewonnenen Erkenntnisse im Realsystem umgesetzt werden könnten. Abschließend erfolgt in Kapitel 15 eine Zusammenfassung und es wird ein Ausblick gegeben. Nachfolgende Abb. 7 veranschaulicht den geschilderten Aufbau und Ablauf der vorliegenden Arbeit.

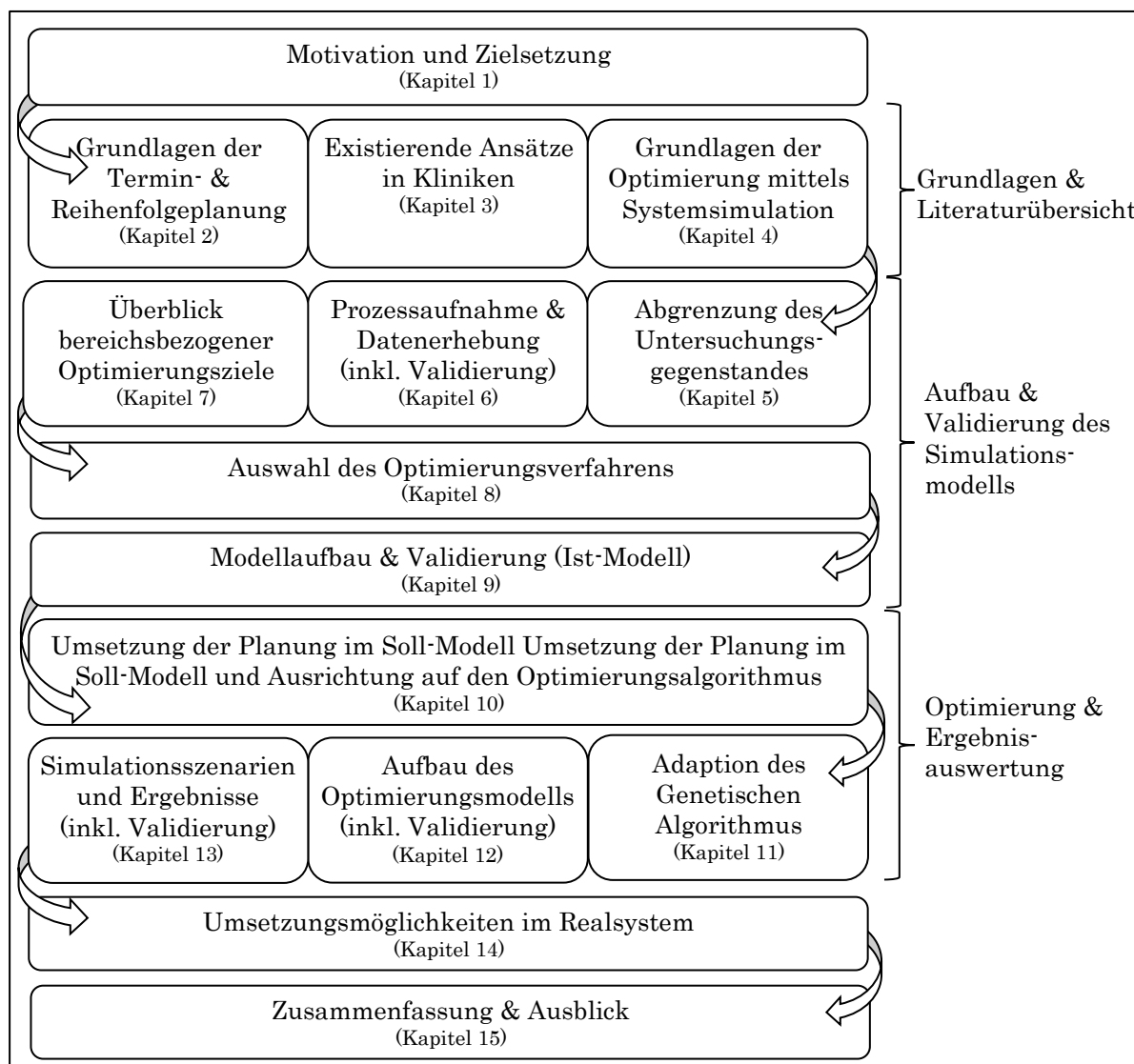


Abb. 7: Überblick und Struktur der Arbeit

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

Im Folgenden wird auf die Begrifflichkeit der Klinik resp. des Krankenhauses, die Logistik im Allgemeinen und auf die Krankenhauslogistik im Speziellen eingegangen, um die vorliegende Problemstellung in diesen Rahmen einzugliedern. Darüber hinaus wird auf themenbezogene Herausforderungen, das Wesen der Termin- und Reihenfolgeplanung sowie dessen Strukturierung eingegangen.

2.1 Definition Krankenhaus und Organisationsstruktur

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, wird Klinik synonym für Klinikum und Krankenhaus verwendet. Bundesweit werden 2014 insgesamt 1980 Krankenhäuser gezählt [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016a]. Nach der Legaldefinition §2 Nr. 1 KHG sind „Krankenhäuser“ definiert als:

„Einrichtungen, in denen durch ärztliche und pflegerische Hilfeleistung Krankheiten, Leiden oder Körperschäden festgestellt, geheilt oder gelindert werden sollen oder Geburtshilfe geleistet wird und in denen die zu versorgenden Personen untergebracht und gepflegt werden können, ...“ [Bundesministerium der Justiz 2013b].

Entsprechend dieser Definition ist eine ständige pflegerische oder ärztliche Hilfestellung nicht vorausgesetzt, so dass hierunter auch Tages- und Nachtkliniken sowie ambulante Behandlungseinrichtungen gefasst werden können. Dem entgegen sind Einrichtungen vor oder nach einer Behandlung im Sinne von z.B. einer Rehabilitationseinrichtung unter dem Begriff des Krankenhauses nicht eingeschlossen.

Eine Klinik erbringt Dienstleistungen (einen Service) am Patienten (Primärleistung) und ist somit als Dienstleistungsbetrieb einzustufen [Maleri & Frietzsche 2008, S. 6; Mertens 1998, S. 110]. Dienstleistungen sind aus prozessorientierter Sicht nach Berekoven wie folgt definiert¹¹:

„Dienstleistungen im weitesten Sinne sind der Bedarfsdeckung Dritter dienende Prozesse mit materiellen und/oder immateriellen Wirkungen, deren Vollzug und deren Inanspruchnahme einen synchronen Kontakt zwischen Leistungsgeber und Leistungsnehmer bzw. deren Objekten von der Bedarfsdeckung her erfordert.“ [Berekoven 1983, S. 23]

¹¹ Siehe [Maleri & Frietzsche 2008, S. 1–36] zum Wesen der Dienstleistung und [Meffert & Bruhn 1997, S. 23 f.] zu weiteren Definitionen.

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

Für den hierbei verwendeten Begriff des Prozesses gibt es viele Definitionen (siehe [Koch 2011, S. 3 f.]). Allgemein kann darunter Fortgang oder Verlauf verstanden werden [Koch 2011, S. 1]. Als Prozess wird im Weiteren die folgende betriebswirtschaftliche Definition nach Schwickert & Fischer zugrunde gelegt, wobei der definitionseitig angesprochene Output im Sinn des Dienstleistungsbetriebes die Dienstleistung ist:

„Der Prozess ist eine logische zusammenhängende Kette von Teilprozessen, die auf das Erreichen eines bestimmten Ziels ausgerichtet sind. Ausgelöst durch ein definiertes Ereignis wird ein Input durch den Einsatz materieller und immaterieller Güter unter Beachtung bestimmter Regeln und der verschiedenen unternehmensinternen und -externen Faktoren zu einem Output transformiert. Der Prozess ist in ein System von umliegenden Prozessen eingliedert, kann jedoch als eine selbständige, von anderen Prozessen isolierte Einheit, die unabhängig von Abteilungs- und Funktionsgrenzen ist, betrachtet werden.“ [Schwickert & Fischer 1996, S. 10 f.].

Dienstleistungen unterscheiden sich von industriellen Produkten grundsätzlich in zwei Punkten [Maleri & Frietzsche 2008, S. 5, 21 f.; Mertens 1998, S. 111; Meffert & Bruhn 1997, S. 24, 27, 48 f., 60 f., 65]:

- Die Dienstleistung wird an oder für einen Dienstleistungsempfänger erbracht. Zusätzlich zu den internen Produktionsfaktoren des Erstellers bedarf es somit der aktiven oder passiven Einwirkung eines externen Faktors. Dies kann der Nachfrager der Dienstleistung selbst, z.B. der Patient oder ein Objekt in dessen Verfügungsgewalt, sein, z.B. eine Blutprobe.
- Darüber hinaus ist eine Dienstleistung ein immaterielles Gut. Es kann nicht gelagert, transportiert oder auf Vorrat produziert werden.

Ein wichtiger Einflussfaktor für die Erbringung einer Dienstleistung und das Gerüst in welches sich die Prozesse (Ablauforganisation) eingliedern, ist die Aufbauorganisation eines Unternehmens. Diese legt die Rahmenbedingungen fest, um die teils gegenläufigen Ziele von Patienten (Kunden), Mitarbeitern und des Unternehmens selber miteinander zu vereinbaren. Im Zuge dessen werden u.a. Kompetenzen definiert und Strukturen geschaffen [Schulte-Zurhausen 2010, S. 14]. Mintzberg stuft, bis auf einige Ausnahmen, Krankenhäuser als sogenannte Expertenorganisationen (Profibükratien) ein [Mintzberg 1992, S. 256]. Die Aufbauorganisation von Kliniken ist darin geprägt, dass der betriebliche Kern aus vorrangig hochqualifizierten Mitarbeitern (Experten) besteht. Im vorliegenden Fall sind dies im Wesentlichen die Ärzte. Die Experten organisieren sich und strukturieren ihre Aufgaben weitestgehend selbst. Somit kommt der Technostruktur, welcher die Standardisierung in der Organisation obliegt, eine eher geringe

Bedeutung zu. Dem entgegen ist der Hilfsstab verhältnismäßig umfangreich, da dieser den Experten die Leistungen überwiegend direkt zur Verfügung stellt. Die Mittellinie als Schnittstelle des betrieblichen Kerns zur strategischen Spitze ist hingegen sehr reduziert, da die Experten auf der Basis ihrer Qualifikation eine weitgehende Selbstkontrolle und Ermessensfreiheit haben (siehe Abb. 8) (siehe [Mintzberg 1992, S. 255–286] zur Expertenorganisation).

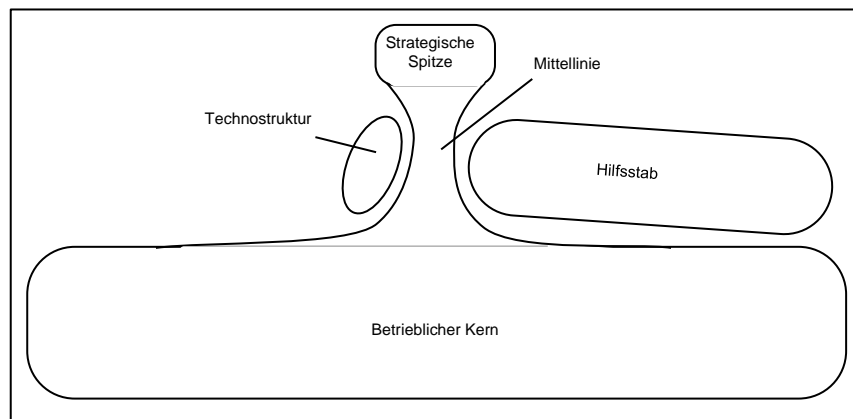


Abb. 8: Profibürokratie [Mintzberg 1992, S. 263]

Kennzeichnend für Krankenhäuser ist die vorherrschende funktionalen Gliederung in die berufsständischen Ressorts Pflege, Medizin und Verwaltung, mit jeweils eigenen Hierarchien [Fleßa & Nickel 2008, S. 23; Eckardt 2006, S. 13–14; Triebel & Becker 2000, S. 300] (siehe Abb. 9).

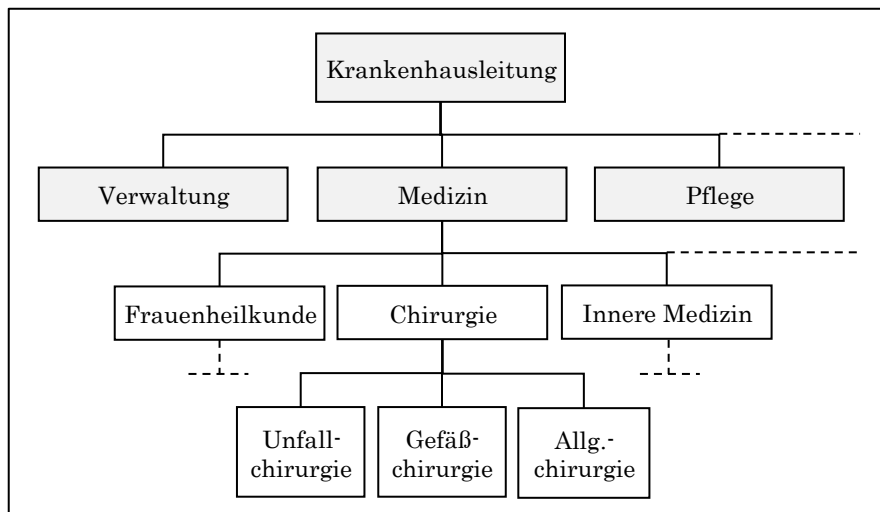


Abb. 9: Funktionale Organisation eines Krankenhauses [Lieb 2004, S. 69]

Dabei hat der ärztliche Dienst gegenüber dem Pflegedienst eine fachvorgesetzte Funktion, aber keine Leitungsbefugnis [Eichhorn & Schmidt-Rettig 2000, S. 301]. Die Strukturierung fungiert als Trennung zwischen der Ausführung der Arbeit und den administrativen Tätigkeiten (siehe [Mintzberg 1992, S. 48 ff.] zu Aufgaben-

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

spezialisierung). Dies verfolgt den Grundgedanken, dass aus der Spezialisierung und Abgrenzung Effizienzvorteile resultieren [Oelsnitz 2000, S. 57].

Darüber hinaus liegt eine divisionale Aufbauorganisation vor, mit einer Gliederung nach Objekten. Dies ist durch die Bildung von Fachabteilungen (im Weiteren auch Fachbereich oder Abteilung genannt) z.B. Neurologie oder Kliniken¹² mit einem speziellen Fokus gegeben. Auch aus dieser Strukturierung heraus können sich Effizienzvorteile ableiten lassen. Fachabteilungen können nach dem statistischen Bundesamt definiert werden als:

„... abgegrenzte, von Ärzten und Ärztinnen mit Gebiets- oder Schwerpunktbezeichnung ständig verantwortlich geleitete Abteilungen mit besonderen Behandlungseinrichtungen.“ [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016b].

Wo aufgrund fehlender Veränderungsnotwendigkeit, durch Anwendung von Routinen, Effizienzvorteile erzielbar sind, kommt das praktizierte Prinzip der Spezialisierung und Abgrenzung voll zum Tragen. Den angesprochenen Effizienzpotentialen stehen jedoch nachfolgende Vor- und Nachteile gegenüber [Oelsnitz 2000, S. 59–60]:

Vorteile:

- Aufbau und Nutzen von Expertenwissen
- erleichterte funktionale Koordination
- klare Zuständigkeiten
- begrenzter Bedarf an Führungskräften

Nachteile:

- Tendenz zur Herausbildung abteilungsspezifischer Orientierungen – Vernachlässigung des betrieblichen Gesamtzusammenhanges
- zeitraubende Gesamtabstimmung
- Schnittstellenprobleme bei übergreifenden Geschäftsprozessen
- kaum Förderung von Marktorientierung und unternehmerischem Denken durch alleinigen Verrichtungsbezug
- erschwerte Zuordnung von Ergebnisverantwortung
- Dominanz von Verfahrensinnovationen, kaum Produktinnovationen
- geringe Motivationskraft und fehlender Sinnbezug für Einzelverrichtungen

¹² im Sinne einer strukturellen Einheit, z.B. Klinik für Innere Medizin, Unfallklinik innerhalb der Organisation.

Erfolgt die funktionale Gliederung in die Ressorts Verwaltung, Medizin und Pflege auf derselben Unternehmensebene wie die divisionale Gliederung in die Fachabteilungen, stellt dies zwei Strukturdimensionen dar, welche eine Matrixorganisation bilden (siehe Abb. 10) (siehe [Oelsnitz 2000, S. 74–79; Mintzberg 1992, S. 122 ff.] zu Matrixorganisation).

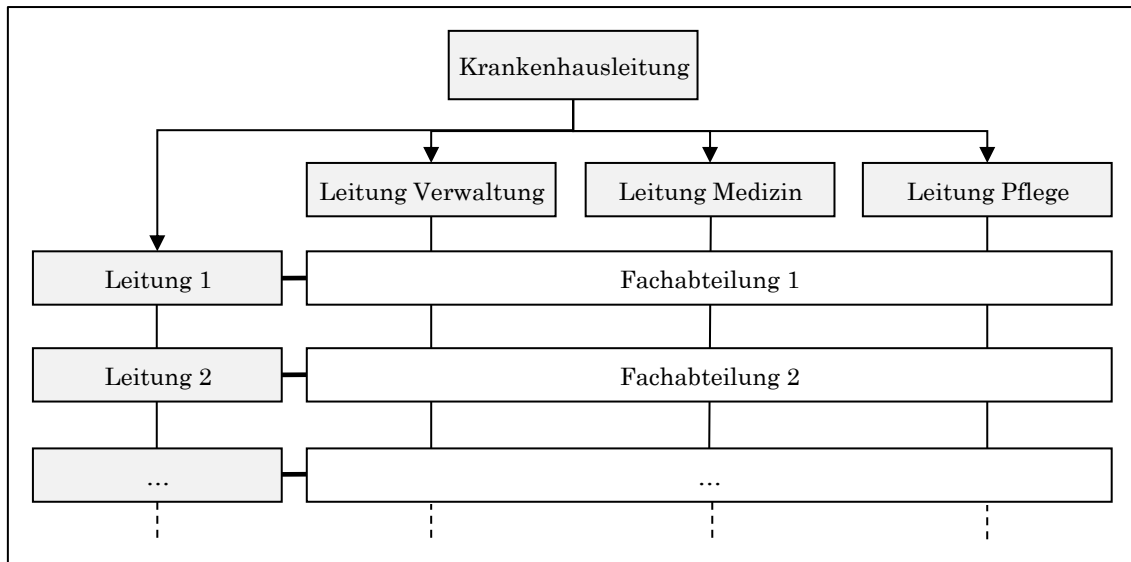


Abb. 10: Matrixorganisation (in Anlehnung an Fleßa & Nickel [2008, S. 25])

Die Ausprägung hin zu einer Matrixorganisation ist jedoch nach Fleßa & Nickel [2008] in den Einrichtungen unterschiedlich stark. Überwiegend ist diese Organisationform bei Klinik-Konzernen anzutreffen [Fleßa & Nickel 2008, S. 23].

2.2 Gegenstand der Krankenhauslogistik

Krankenhauslogistik bezeichnet die logistischen Aufgaben mit dem Krankenhaus als Bezugsobjekt. Für Logistik gibt es verschiedene Definitionen, je nach Ausrichtung des Begriffs (siehe [Pfohl 2009, S. 12–14] zu den Definitionen). Allgemein lässt sich die Logistik definieren als:

„... wissenschaftliche Lehre der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüsse in Systemen.“¹³ [Jünemann & Daum 1989, S. 11].

Gegenstand der Logistik können Güter, Personen, Informationen, Energie, Materialflussmittel, Produktionsmittel, Informationsflussmittel (Arbeitsmittel des Informationsflusses z.B. Datenträger, EDV-Technik) oder die Infrastruktur sein [Jünemann & Daum 1989, S. 12]. Ursprünglich als Truppenversorgung verstanden,

¹³ Überwachung wird Synonym für Kontrolle gesehen.

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

wird Logistik heute vor allem als betriebliche Querschnittsfunktion entlang der Wertschöpfungskette sowie der Lieferkette betrachtet (siehe [Pfohl 2009, S. 42 f.] zur Querschnittsfunktion). Aus strategischer Sicht bietet eine gute Logistik Potentiale zur Kostensenkung und zur Steigerung des Kundennutzens [Schulte 2005, S. 29]. Im Rahmen dessen kommt der Logistik heute die Aufgabe zu, der Bereitstellung [Pfohl 2009, S. 12; Jünemann & Daum 1989, S. 18]:

- des richtigen Objektes (Produkt, Person, Material, Dienstleistung, Information),
- in der richtigen Menge (und Sorte),
- im richtigen Zustand (Qualität),
- zur richtigen Zeit,
- am richtigen Ort,
- für den richtigen Empfänger (Kunde/Empfangspunkt),
- zum richtigen Preis.

Wie an Hand der aufgeführten Aufgaben zu ersehen, ist die Logistik von ihrem ursprünglichen Wesen her nicht wertschöpfend¹⁴. Vielmehr dienen logistische Prozesse der Ressourcenschonung und Effizienzsteigerung der wertschöpfenden Prozesse (z.B. Supply Chain Management, Asset Management). Der Bezugspunkt ist somit in der Ablauforganisation zu sehen. Institutionell sind Logistiksysteme nach Pfohl wie folgt abzugrenzen [Pfohl 2009, S. 14–16; Pfohl 1974, S. 73 ff.] (siehe Abb. 11):

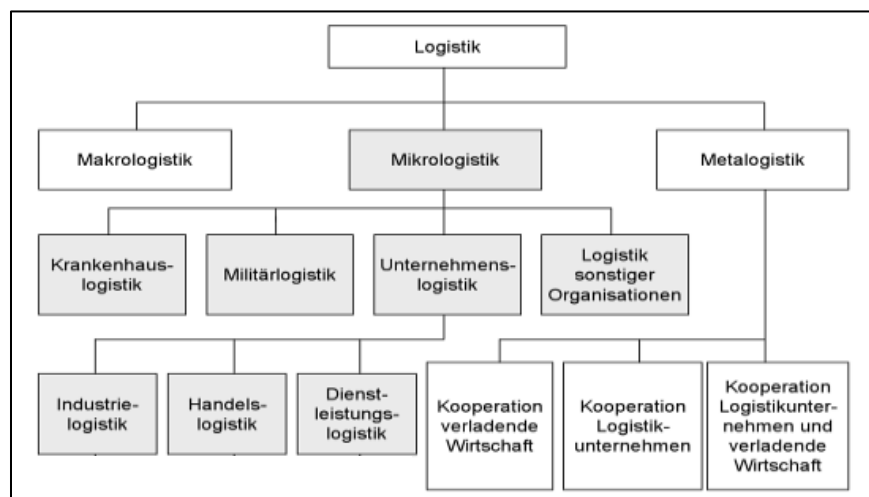


Abb. 11: Institutionelle Abgrenzung der Logistik (verkürzte Darstellung nach Pfohl [2009, S. 15])

¹⁴ Es gibt inzwischen durchaus Unternehmen, welche die Logistikleistung als Dienstleistung anbieten (Logistikunternehmen). In diesem Sinne ist hierbei die Logistik als wertschöpfend einzustufen.

Zunächst wird in Makro-, Mikro- und Metalogistik unterschieden, Makrologistik betrifft die Logistik von Volkswirtschaften und ist gesamtwirtschaftlicher Natur (z.B. die Güterverkehrswirtschaft in Deutschland). Mikrologistik befasst sich mit der Logistik von Einzelwirtschaften, wie die Unternehmenslogistik oder die Krankenhauslogistik. Dazwischen gelagert ist die Metalogistik, welche unternehmensübergreifende Kooperationen und deren Logistik zum Gegenstand hat.

Die Entwicklung der Logistik hat auch vor der in Abb. 11 aufgezeigten Strukturierung nicht Halt gemacht. So stellt sich das Problem der Abgrenzung zwischen Krankenhauslogistik und Unternehmenslogistik [Senger 2000, S. 12]. Dass auch öffentliche Krankenhäuser als Unternehmen eingruppiert werden könnten, ist nicht zuletzt der Tatsache geschuldet, dass Krankenhäuser durch Gesetzes- und Verordnungsiniciativen zu einem wirtschaftlicheren (unternehmerischen) Denken übergegangen sind [Greiling 2000, S. 78]. Im Speziellen bei Trägerschaften im privatwirtschaftlichen sogar ein wirtschaftliches Unternehmen unterstellt werden muss, z.B. die Sana Kliniken AG. Dass die Einordnung der öffentlichen Einrichtungen nicht abschließend geklärt ist, führen auch Wöhe & Döring [2008, S. 2 f.] aus.

Im Weiteren wird der Tatsache gefolgt, dass in Kliniken eine Dienstleistung am Patienten erbracht wird (Primärleistung), unabhängig von der wirtschaftlichen Ausrichtung¹⁵. Die mit der Leistungserstellung verbundene Logistik bezieht sich auf die Dienstleistung und ist damit Sekundärleistung.

Logistik wird in Bezug auf eine zu erbringende Dienstleistung nach Arthur D. Little definiert als:

„... logistics is the process of coordinating nonmaterial activities necessary to the fulfillment of the service in a cost- and customer service-effective way.“ [Little 1991, S. 11]

Eigene Übersetzung:

„... der Prozess zur Koordination immaterieller Aktivitäten, die zur Erfüllung der Dienstleistung in einer kosten- und kundeneffektiven Weise erforderlich sind.“

Im Sinne der Dienstleistung liegen die folgenden drei Gebiete im Fokus [Little 1991, S. 34–42]:

- Minimierung der Wartezeiten bis zur Leistungserbringung,

¹⁵ Die Kundenorientierung, Qualitätsorientierung und Kostenorientierung beziehen sich heute sowohl auf private, wie auch öffentliche Einrichtungen [Schwartz et al. 2003, S. 697].

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

- Management der Dienstleistungskapazität und
- Bereitstellung der Dienstleistung durch Verteilungs-/Vertriebskanäle.

In der jüngeren Zeit hat sich die Logistik weiterentwickelt hin zu einer unternehmensübergreifenden Flussorientierung [Schulte 2005, S. 19; Weber et al. 2003, S. 9]. Dies äußert sich in Formen wie dem Supply Chain Management (SCM), welches eine Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette zum Gegenstand hat, teils inkl. vor- und nachgelagerter Organisationen, wie Zulieferer und externer Logistikpartner [Weber et al. 2003, S. 9 f.].

Analog zur Weiterentwicklung der Logistik an sich, von einer reinen Transport-, Umschlags- und Lagerungslogistik (TUL), hat sich auch die Krankenhauslogistik weiterentwickelt.

Aus heutiger Sicht kann nach Kriegel unter Krankenhauslogistik

„...neben dem reinen Bestellwesen im Krankenhaus, alle planerischen, ausführenden, steuernden und regelnden Maßnahmen und Instrumente, die einen zieloptimalen Raum- zeitüberbrückenden Material-, Wert- und Informationsfluss im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung ermöglichen, verstanden werden.“ [Kriegel 2012, S. 9]

In Bezug auf die Primärleistung schreiben Fleßa & Nickel: „Eine erfolgreiche Krankenhauslogistik ermöglicht eine gute medizinische Versorgung unter minimaler Ressourcenbelastung...“ [Fleßa & Nickel 2008, S. 173]. Schätzungen von Kriegel [2007] zufolge können durch eine effiziente Krankenhauslogistik zwischen 10 bis 20 Prozent des Logistikaufwandes eingespart werden. Dies entspräche umgerechnet 1.000 bis 1.500 Euro pro Krankenhausbett pro Jahr [Kriegel 2007, S. 598 ff.].

Im Folgenden werden die Einsatzfaktoren und die damit verbundenen Aufgaben der Krankenhauslogistik aufgeführt.

Zur Erstellung der Grundleistung im Krankenhaus werden - neben dem externen Faktor, an dem die Leistungserbringung erfolgt - drei wesentliche Einsatzfaktoren benötigt [Brettel 1999, S. 767]:

- Personal (Ärzte, Pflege-, Verwaltungs-, Hilfskräfte),
- Material (z.B. Verbandsmaterial, Medikamente) und eine
- Infrastruktur (z.B. Gebäude, Geräte, EDV-Systeme).

Die sich aus den Einsatzfaktoren ergebenden Aufgabenfelder der Krankenhauslogistik sind u.a. die Planung und Optimierung der [Brettel 1999, S. 767]:

- Bereitschaftszeiten und Auslastung von personellen Ressourcen (insbesondere der Ärzte und Pflegekräfte),
- Materialverfügbarkeit durch effiziente Transport- und Lagerhaltungsprozesse,
- Bindung und Auslastung der Infrastruktur,
- Verfügbarkeit und Möglichkeit zur zeitlichen Disposition des externen Faktors.

Brettel [1999, S. 771] sieht in der Güte des Planungssystems und der zusätzlich dazu zu ergreifenden Maßnahmen den größten Hebel zur Reduktion der Kosten. Bisher fokussiert die Krankenhauslogistik eher die Einsatzfaktoren Material, Personal und Infrastruktur als die Planung des externen Faktors [Stoll et al. 2008, S. 10]. Unter der Disposition des externen Faktors kann die Termin- und Reihenfolgeplanung (zeitliche Disposition) als auch der Patiententransport (physische Disposition) verstanden werden. In Anlehnung an die klassischen Aufgaben der Logistik bedeutet dies: „den richtigen Patienten, zur richtigen Zeit, im richtigen medizinisch und pflegerischen Zustand, am richtigen Ort innerhalb des Krankenhauses zu bringen“ [Körner 2009, S. 4]. Termine können bei der stationären, ambulanten Aufnahme wie auch bei der OP-Planung oder Terminierung von Untersuchungen in den Funktionsbereichen vergeben werden. Die Anzahl und zeitliche Lage der Patienten(-termine) und deren Reihenfolge der Abarbeitung haben wesentlichen Einfluss auf die Auslastung der betreffenden Bereiche (Kapazitätsauslastung). Der OP-Planung kommt eine besondere Bedeutung zu, da Operationssäle oder auch Herzkatheterlabore (minimalinvasiv) sowohl kostenintensive Infrastruktur als auch ertragsintensive Bereiche darstellen. Das Ertragspotential liegt u.a. darin, dass ca. 70 % der vollstationären Patienten während ihres Aufenthaltes einen operativen Eingriff haben [Fleßa & Nickel 2008, S. 180]. Umgekehrt sind die Kosten des Betriebes, bedingt durch eine Vielzahl technischer Geräte und dem Einsatz hochqualifizierten Personals, entsprechend hoch, insbesondere bei Leerzeiten. Demzufolge ist hier besonderes Augenmerk gefordert. Die Durchlaufzeit und damit verbundene Wartezeiten resp. Terminabweichungen der Patienten bei der Abarbeitung stellen zur möglichst hohen Kapazitätsauslastung konkurrierende Ziele dar (vgl. Dilemma der Ablaufplanung). Eine gute Termin- und Reihenfolgeplanung kann neben einem optimalen Verhältnis von Kapazitätsauslastung zu Durchlaufzeit auch zu einer Minimierung der Überstunden und zu einer Entzerrung von Stoßzeiten (Reduzierung von Überlasten) bei den personellen Ressourcen in den versorgenden Bereichen beitragen. Zu Recht wird damit von Fleßa und Nickel [2008, S. 181 f.] großes Optimierungspotential in der Terminplanung gesehen. Die Disposition des

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

externen Faktors kann somit durch eine effiziente Termin- und Reihenfolgeplanung in Verbindung mit einem optimalen Patiententransport die optimale Auslastung der Infrastruktur sowie der personellen Ressourcen bewirken.

Über dies hinaus gewinnt der Faktor Information immer mehr an Bedeutung [Gmilkowsky 1995, S. 1. ff.; Fleßa & Nickel 2008, S. 193 ff.; Schneider et al. 2005, S. 125 ff.]. Damit kann die Auflistung der Aufgabenfelder der Krankenhauslogistik um einen Punkt erweitert werden:

- Bereitstellung der Information am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der erforderlichen Qualität und Quantität.

Der Faktor Information ist von besonderer Bedeutung, da dieser inzwischen in der Lage ist andere Einsatzfaktoren zu substituieren. So kann durch eine effiziente Informationsversorgung der Ressourceneinsatz an Personal effizienter gestaltet werden. Ein im Moment der Entscheidungsfindung, z.B. bei der Visite, vorhandener Befund kann einen weiteren Behandlungsablauf maßgeblich beeinflussen, in dem dieser Erkenntnisse liefert, welche ohne diesen evtl. zu einem anderen Behandlungsablauf geführt hätte und so ggf. unnötige Untersuchungen erfolgt wären oder gar das Leben des Patienten gefährdet hätten. Somit kann als Aufgabe der Krankenhauslogistik auch eine optimale Informationsversorgung gesehen werden.

Ferner befasst sich die Krankenhauslogistik mit der Entlassungs- und Nachsorgelogistik sowie der Entsorgungslogistik. Bei Ersteren beiden wird dem Ziel der optimalen Unterbringung nach einem stationären Aufenthalt sowie der Transport des Patienten, z.B. nach Hause oder in eine andere Klinik, nachgegangen (siehe [Brettel 1999, S. 771]). Die Entsorgungslogistik hat die Beseitigung von Abfällen und damit verbunden auch die Minimierung von Abfällen zum Gegenstand [Pfohl 2009, S. 219 ff.].

Entsprechend der vielfältigen Aufgaben, Ziele und Einflussfaktoren sind auch die aktuellen Entwicklungstendenzen der Krankenhauslogistik vielfältig. Daher wird hier nur auf eine Auswahl an aktuellen Entwicklungen eingegangen. Dazu zählen der Managed Care Ansatz zur Entwicklung in der Patientensteuerung, z.B. mit dem Gate-Keeping/Hausarztprinzip (siehe hierzu [Amelung et al. 2004, S. 151 ff.]), die RFID-Technologie zur Materiallogistik (siehe [Klaas 2009; Brendel & Stein 2009]) sowie die elektronische Patientenakte zur Entwicklung in der Informationslogistik (siehe [Fleßa & Nickel 2008, S. 202 ff.]). Ebenso gibt es Weiterentwicklungen im Bereich der Termin- und Reihenfolgeplanung. Da dies Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist, wird hierauf im Späteren detailliert eingegangen.

2.3 Gegenstand der Termin- und Reihenfolgeplanung

Nachdem nun einige Male die Notwendigkeit und die Potentiale einer Termin- und Reihenfolgeplanung angesprochen wurden, wird in diesem Abschnitt der Frage nachgegangen, was konkret unter Termin- und Reihenfolgeplanung zu verstehen ist.

Aus der ablauforganisatorischen Sicht kann eine Klinik als Netz aus Serviceeinheiten gesehen werden (vgl. [Cohen et al. 1980, S. 146]). Die Serviceeinheiten weisen grundsätzlich begrenzte Kapazitäten auf. Im Zuge der Leistungserbringung durchströmen Patienten diese. Hierbei stellt sich die Frage in welcher Reihenfolge, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Menge die Patienten den Serviceeinheiten zugeführt werden, um diese im Zusammenspiel zeit- und kosteneffizient zu durchlaufen sowie die Ressourcen optimal zu nutzen. Hierin besteht das Problem der Termin- und Reihenfolgeplanung. Eine zusätzliche Herausforderung besteht darin, dass der Weg, auf dem die Patienten die Klinik durchlaufen, für jeden Patienten grundsätzlich als individuell angesehen werden muss¹⁶. Einen solchen individuellen Ablauf nennt man „Job-Shop“. Job-Shop bezeichnet einen Begriff, der eher mit der Werkstattfertigung in Produktionsbetrieben in Verbindung gebracht wird. Nun ist eine Klinik ohne Frage kein Produktionsbetrieb. Da aber die grundlegenden Gegebenheiten der Termin- und Reihenfolgeplanung auch in einer Klinik auf ein Job-Shop Problem zurückgeführt werden können, wird im Folgenden ein kurzer Exkurs dahingehend unternommen und die Grundlagen der Job-Shop-Fertigung aufgezeigt. Darüber hinaus werden erste Lösungsansätze diesbezüglich betrachtet.

In Industriebetrieben werden Ausgangsmaterialien (Input) durch verschiedenste Bearbeitungsgänge in ein Endprodukt (Output) überführt, unter Einbringung von z.B. Zeit, Energie, Rohstoffen [Domschke et al. 1993, S. 4–5]. Ein Betrieb hat u.U. mehrere Produkte, welche unterschiedliche, teilweise auch gleiche Arbeitsgänge durchlaufen müssen. Die Reihenfolge, in der die Aufträge bearbeitet werden, ist frei wählbar [Gutenberg 1965, S. 215]. Aus technischen Gründen können aber einzelne Bearbeitungsschritte einer festgelegten Reihenfolge bedürfen (Arbeitsgangfolge) [Mensch 1968, S. 31]. Zudem gibt es diverse Maschinen, auf denen die Aufträge gefertigt werden, welche teils gleiche teilweise unterschiedliche Einsatzbereiche haben können. Die Abarbeitung der Aufträge unterliegt in der Betrachtung den Restriktionen von gegebenen Strukturen und Ressourcen.

¹⁶ Brettel führt diesbezüglich aus, dass eine Fließproduktion bei Gesundheitsleistungen, auf Basis der relativ unsicheren Prognostizierbarkeit der Krankheitsverläufe, nur in Ausnahmefällen zum Tragen kommt [Brettel 1999, S. 771].

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

Wird von auftragsorientierten Unternehmen ausgegangen, tritt für gewöhnlich die Kundschaft mit Aufträgen an den Betrieb heran [Mensch 1968, S. 13]. In der Regel haben Unternehmen keinen direkten Einfluss darauf, ob oder wann die Aufträge eintreffen [Mensch 1968, S. 29]. Es steht dem Unternehmen aber frei die Aufträge anzunehmen oder abzulehnen [Mensch 1968, S. 13].

Ausgehend von dem sich bei Annahme von Aufträgen aufbauendem Auftragsbestand, ergibt sich ein Reihenfolgeproblem, welcher Auftrag auf welcher Maschine in welcher Reihenfolge bearbeitet wird, um einen optimalen Ablauf (z.B. in Bezug auf die Durchlaufzeit) zu erhalten. Bei der Ablaufplanung und Steuerung des Fertigungsablaufes kommt es u.a. darauf an, die anfallenden Teilarbeiten optimal auf die Betriebsmittel (z.B. Maschinen) zu verteilen und den Durchlauf der Werkstücke von Stockungen freizuhalten. Hierin findet sich das von Gutenberg als Dilemma der Ablaufplanung beschriebene gegensätzliche Ziel, der Reduzierung der Durchlaufzeit bei möglichst hoher Kapazitätsauslastung der Maschinen [Gutenberg 1965, S. 214].

Die Optimalitätskriterien spielen eine wichtige Rolle bei der Aufstellung der Abarbeitungsreihenfolge. Mensch [1968, S. 22, 42-63] differenziert diese in Zeit- und Wertkriterien. Zeitkriterien sind nach Mensch [1968, S. 42 ff.]:

- Minimierung der Wartezeiten,
- Minimierung der Durchlaufzeiten,
- Minimierung der Leerzeiten,
- Minimierung der Belegungszeit,
- Minimierung der Warte- und Leerzeiten (insgesamt minimal).

Wertkriterien sind dem gegenüber nach Mensch [1968, S. 47 f.]:

- Erlöse der Planperiode,
- Kosten der Planperiode (u.a. Bearbeitungskosten und Opportunitätskosten).

Die Reihenfolgeplanung (engl. sequencing) bezeichnet die Erstellung einer Abarbeitungsreihenfolge von Aufträgen. Unter Einbeziehung von Terminen (der zeitlichen Einteilung) stellt dies einen Ablaufplan dar [Gutenberg 1965, S. 214; Domschke et al. 1993, S. 30, 251; Mensch 1968, S. 33]. Terminierung oder Terminplanung (engl. scheduling) bezeichnet hierbei die Aktivitäten hinsichtlich der zeitlichen Einteilung resp. der Terminvergabe.

In der Literatur wird in Bezug auf die Reihenfolgeplanung häufig die Maschinenbelegungsplanung angeführt. Diese bezeichnet die Planung über die Verteilung von N Aufträgen (oder Jobs) auf M Maschinen und damit verbunden die Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge. Hierbei können unterschiedlichste

Verfahren Verwendung finden. Neben den exakten Methoden, wie grafische oder analytische Verfahren, gibt es aufgrund der hierbei auftretenden Grenzen heuristische Methoden, wie die Prioritätsregeln (first-in, first-out „FIFO“¹⁷ oder kürzeste Operationszeit „KOZ“) und im Speziellen die Simulationsmethodik.

Job-Shop Probleme sind eine der schwersten zu lösenden kombinatorischen Optimierungsprobleme und überwiegend nicht optimal lösbar, da sie häufig in die Klasse der NP-vollständigen Probleme fallen (nichtdeterministisch, polynomielle Zeit) [Lenstra & Rinnoy Kan 1979; Sotskov & Shakhlevich 1995]. Um diese lösen zu können, werden in der Literatur je nach Ansatz unterschiedlich starke Einschränkungen vorgenommen. Seelenbach & Fehr [1975, S. 16–18] haben diese zusammengestellt:

- Das gesamte Produktionsvolumen mit festgelegten Produktionsarten und –mengen (Produktionsprogramm) ist in Aufträge (Lose) aufgespalten.
- Jeder Auftrag bildet eine unteilbare Einheit, auch wenn dieser aus mehreren Produkteinheiten besteht.
- Die Maschinenfolge ist für jeden Auftrag fest vorgegeben und bekannt.
- Für jeden Auftrag sind auf jeder Produktionsstufe die Bearbeitungszeiten fest vorgegeben und bekannt. Zufällige Schwankungen, wie sie in der Realität auftreten können, werden ausgeblendet.
- Bearbeitungszeiten sind unabhängig von der Auftragsfolge.
- Bearbeitungszeiten schließen Sortenwechsel-, Rüst- und Transportzeiten ein.
- Jeder Auftrag wird durch jede Maschine höchstens einmal bearbeitet.
- Jede begonnene Bearbeitung wird ohne Unterbrechung zu Ende geführt.
- Jede Produktionsstufe besteht nur aus einer Maschineneinheit.
- Auf jeder Maschine kann jeweils nur ein Auftrag zur gleichen Zeit bearbeitet werden.
- Die Maschinen unterliegen keinen störungsbedingten Unterbrechungen oder Stillstandzeiten wegen Wartungen.
- Es bestehen unbegrenzte Zwischenlagerkapazitäten.
- Es wird von einem statischen Reihenfolgeproblem ausgegangen. Alle Aufträge treffen gleichzeitig zu Beginn der Planungsperiode ein. Die Ankunftszeitpunkte werden somit auf 0 gesetzt.

Giffler & Thomson [1960], Carlier & Pinson [1989], Applegate & Cook [1991] und Brucker et al. [1994] haben erfolgreich zur Lösung kleinerer Job-Shop Probleme, inklusive der 10 x10 Instanzen von Fischer & Thomson [1963], beigetragen. Exakte Verfahren stoßen bei Problemklassen, welche über diese hinausgehen, an ihre

¹⁷ Gleichbedeutend mit first-come, first-served („FCFS“).

Grenzen. Im Anhang werden zwei ausgewählte Verfahren zur exakten Reihenfolgeplanung von Job-Shop Problemen vorgestellt. Diese sind die grafische Ablaufplanung nach Akers (siehe Anhang A1) und das Branch & Bound (siehe Anhang A2).

(a) Beispiel des Handlungsreisenden

Das Problem der Grenzen analytischer Lösungsansätze verdeutlicht auch das folgende Beispiel eines Handlungsreisenden (Travelling Salesman) (siehe [Weicker 2007, S. 21 ff.; Hoffmann & Wolfe 1992] zum Travelling Salesman Problem). Hierbei handelt es sich um einen Kaufmann und seiner angestrebten Reise durch die Städte, um seine Waren zu verkaufen. Der Reisende möchte möglichst die kürzeste Route gehen und am Ende wieder zu dem Ausgangspunkt seiner Reise zurückkehren (Reihenfolgeproblem). Hierbei darf keine Stadt doppelt besucht werden. Für den Raum der möglichen Lösungen S (Lösungsraum oder Suchraum) gilt, im Falle eines symmetrischen Problems (Weglängen für Hin- und Rückweg identisch):

$$S = \frac{(n-1)!}{2}.$$

Um das Problem exakt zu lösen, kann dies zunächst in einem mathematischen Modell beschrieben werden. Praxisbezogene kombinatorische Optimierungsprobleme, wie die des Handlungsreisenden oder das einer Maschinenbelegungsplanung im Job-Shop-Betrieb, lassen sich mit Hilfe gemischt-ganzzahlige Optimierungsmodelle (Mixed-Integer-Modelle) abbilden [Suhl et al. 2009, S. 9]. Hierbei wird eine gegebene Zielfunktion minimiert oder maximiert. Der Unterschied zur kontinuierlichen linearen Optimierung liegt in der zusätzlichen Bedingung, dass einige oder alle Variablen ganzzahlig sind [Suhl et al. 2009, S. 9]. Diese Anforderung ist erforderlich, wenn Optimierungsprobleme nur in Bezug auf ganzzahlige Variablen sinnvoll lösbar sind, z.B. Ressourcen nur als ganze Einheiten vorliegen. Bei dem Handlungsreisenden ist es der Reisende selber und auch die Städte. Bedingt durch die Explosion der Kombinationsmöglichkeiten, sind gemischt-ganzzahlige Modelle i.d.R. schwer zu lösen [Suhl et al. 2009, S. 10]. Bezogen auf das Beispiel des Handlungsreisenden sind dies bei 10 Städten ($n=10$) 181.440 mögliche Wegführungen. Bei 20 Städten sind dies bereits ca. $6 \cdot 10^{16}$ verschiedene Möglichkeiten. Die einzelnen Lösungen können selbst für einfache Modelle, wie dieses Beispiel zeigt, nicht in einer vertretbaren Zeit aufgezählt (enumeriert) werden [Suhl et al. 2009, S. 10]. Da die linearen Lösungstechniken hier aufgrund der Bedingung zu ganzzahligen Werten nicht mehr ausreichen, wurden spezielle Such- und Optimierungsstrategien entwickelt, was jedoch u.U. einen exponentiellen Rechenaufwand in Bezug auf die Problemgröße erfordert [Suhl et al. 2009, S. 10]. Im extremen Fall müsste jede Lösungsvariante einzeln berechnet werden. Im Vergleich

aller Lösungen ließe sich dann eine absolute Aussage hinsichtlich der optimalen Weggestaltung treffen. Mit zunehmender Anzahl der Städte vergrößert sich der Lösungsraum und damit verbunden der notwendige Rechenaufwand enorm. Um nicht den gesamten Suchraum durchrechnen zu müssen (vollständige Enumeration), bedient man sich heuristischer Verfahren zur Bestimmung einer Näherungslösung.

(b) Heuristische Verfahren zur Lösung des Job-Shop Problems

Wie aufgeführt wurde weisen die exakten Verfahren zur Reihenfolgeplanung, trotz ihres praktischen Nutzens, teils erhebliche Schwächen auf oder unterliegen starken Einschränkungen. Bei komplexen Problemstellungen werden die gebräuchlichen Verfahren unübersichtlich, zu ungenau oder der Rechenaufwand stößt an seine Grenzen. Größte Einschränkung im Job-Shop Problem stellt die fehlende Berücksichtigung beschränkter Kapazitäten der Betriebsmittel und eine fehlende Abbildung von bestehenden Einlastungen dar. Inzwischen werden neben den soeben beschriebenen „einfachen“ Problemlösungsmethoden, wie die grafische Ablaufplanung oder Branch & Bound, im Bereich der Reihenfolgeplanung Heuristiken eingesetzt. Heuristik wird hier verstanden als:

„... eine nichtwillkürliche und häufig iterative Methode [...], die darauf abzielt, für eine gegebene Problemstellung in begrenzter Zeit eine oder mehrere möglichst gute Lösungen zu finden, ohne daß garantiert werden kann, eine global optimale Lösung zu finden. Dies stellt die beste Lösung innerhalb eines gegebenen Suchzeitraums oder in Bezug auf ein angestrebtes Gütemaß dar.“ [Nissen 1997a, S. 18].

Wie Nissen ausführt, gibt es im Gegensatz zu den analytischen Optimierungsverfahren bei den heuristischen Verfahren keine Garantie, zu einer optimalen Lösung zu gelangen. Es wird versucht in einer adäquaten Zeitspanne zulässige Näherungslösung finden [Domschke et al. 1993, S. 42–43]. Ist die Heuristik nicht problemspezifisch und muss zunächst adaptiert werden, wird von einer Metaheuristik gesprochen. Siehe hierzu Hackl [2000] zur Optimierung von Reihenfolgeproblemen mit Hilfe genetischer Algorithmen, Rixen [1997] zur Maschinenbelegungsplanung mit evolutionären Algorithmen oder Gonçalves et al. [2002] mit der Maschinenbelegungsplanung für das Job-Shop Problem mittels eines hybriden Genetischen Algorithmus. Gonçalves et al. vergleichen im Rahmen dessen die Performance und Lösungsqualität des eingesetzten hybriden Genetischen Algorithmus mit einer Vielzahl von Algorithmen zur Lösung des Job-Shop Problems aus dem Zeitraum 1992 – 2001 unter verschiedenen Szenarien, z.B. 10x10, 20x5, 30x0 oder 15x15 Instanzen. Der heuristische Algorithmus von Gonçalves et al. brachte die beste Lösung in 72 % der getesteten 31 Szenarien [Gonçalves et al. 2002, S. 14] und zeigten, dass Genetische Algorithmen auch bei komplexen Problemstellungen sehr schnell sehr

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

gute Lösungen hervorbringen können. Die Anwendung der Systemsimulation ermöglicht hierbei inzwischen das Aufweichen oder Aufheben einiger der oben von Seelenbach & Fehr angeführten Prämissen.

(c) Wertung für die weitere Arbeit

Grundsätzlich betrachten die bisherigen Ausführungen als Ausgangssituation die Maschinenbelegungsplanung in Industriebetrieben. Eine unreflektierte Übernahme sowie ein direkter Vergleich in Bezug auf die hier vorliegende Problemstellung, in die Domäne der Krankenhäuser, ist nicht ohne weiteres möglich¹⁸ [Kriegel 2012, S. 86]. Auch bleiben viele Aspekte, wie z.B. stochastisches Auftreten von akuten Notfällen, sich ändernde und im Voraus nicht bekannte Patientenverläufe sowie die dynamische Komponente, in diesen Ansätzen bisher unberücksichtigt.

2.4 Strukturierung der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

In diesem Abschnitt wird mit Bezug auf die Literatur aufgezeigt, wie sich die Planungsproblematik strukturieren lässt, um daran die im hierauf folgenden Literaturüberblick vorgestellten Ansätze zu differenzieren und gegenüberzustellen.

2.4.1 Ausrichtung der Planung

Die Termin- und Reihenfolgeplanung lässt sich in der Klinikdomäne zunächst bezogen auf den Planungsgegenstand differenzieren. Dahingehend finden sich in der Literatur drei Grundausrichtungen:

- Aufnahmeplanung für ambulante Patienten (outpatient admission),
- Aufnahmeplanung für stationäre Patienten & Bettenplanung (inpatient admission),
- Planung einer internen Engpassressource, im Speziellen die OP-Planung (scheduling operating theater).

Die Aufnahmeplanung (Einbestellungsplanung) bezeichnet allgemein die Planung von Patienten und die damit verbundene Vergabe eines Termins zur Aufnahme. Innerhalb derer wird dahingehend unterschieden, ob es sich um einen ambulanten oder stationären Besuch handelt. Entgegen der ambulanten Besuche, wird bei einem stationären Patienten im Weiteren von mindestens einer Übernachtung in der Klinik ausgegangen. Bei der Einbestellungsplanung können verschiedene Parameter Berücksichtigung finden, wie z.B. Gruppierung/Klassifizierung von Patienten, die Planungsabstände oder die Anzahl der Patienten je Planungseinheit.

¹⁸ U.a. befassen sich Maleri & Frietsche mit der Abgrenzung zwischen industriellen Produkten und Dienstleistungsprodukten (siehe [Maleri & Frietsche 2008, S. 1–36]).

Bei der Planung einer internen Ressource handelt es sich um die punktuelle Betrachtung einer kostenintensivsten und/oder ertragsstarken (internen) Ressource¹⁹. Hierbei wird im Wesentlichen der Durchfluss von ambulanten und/oder stationären Patienten geplant. Operationssäle sind hierfür der typische Betrachtungsgegenstand, deren Planung im Weiteren als stellvertretend betrachtet wird. Neben der OP-Planung als solches lassen sich auch Arbeiten in Bezug auf andere interne Engpassressourcen finden, wie z.B. Sickinger [2008] in Bezug auf die Computertomografie²⁰.

2.4.2 Art der eingesetzten Modelle

Je nach Zielstellung kann sich die Art der eingesetzten Modelle unterscheiden. Bezogen auf die Termin- und Reihenfolgeplanung können Modelle zugrunde liegen, um das zu beobachtende Systemverhalten zu erklären (Erklärungsmodelle), künftige Systemzustände abzuschätzen (Prognosemodelle), zum Entwurf von Systemen (Gestaltungsmodelle) und zur Ermittlung optimaler Systemzustände (Optimierungsmodelle) [Page 1991, S. 7] (siehe Abschnitt 4.5 im Detail). Erkenntnisse können durch analytische Modelle oder Simulationsmodelle gewonnen werden (siehe Abb. 12) [Page 1991, S. 4].

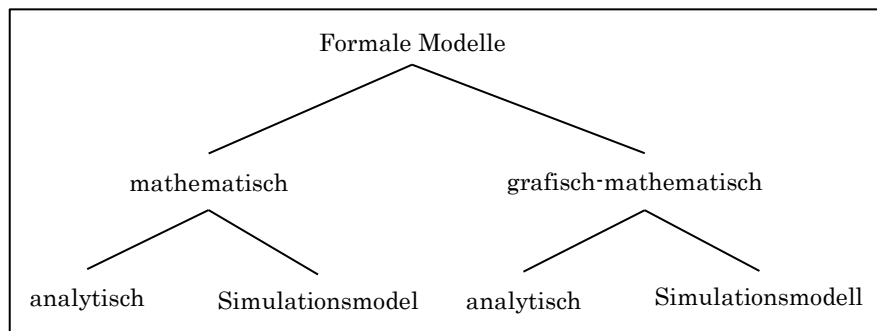


Abb. 12: Klassifikation der Modelle (verkürzte Darstellung nach Page [1991, S. 5])

Analytische Modelle und Simulationsmodelle gehören der Klasse der formalen Modelle an und finden sich im mathematischen (z.B. Gleichungssysteme) als auch im graphisch-mathematischen Bereich (z.B. Petri-Netze) wieder (siehe Abb. 12) [Page 1991, S. 5]. Analytische Modelle sind Gleichungssysteme (z.B. gemischt ganzzahlige Optimierungsmodelle), welche die vorhandenen Systembeziehungen widerspiegeln. Sie erlauben es bestimmte Werte einzusetzen und den zu ermittelnden Systemzustand direkt zu ermitteln, indem ein geschlossener Lösungsdurchlauf erfolgt [Page 1991, S. 4]. Wegen der mathematischen Restriktionen sind analytische Modelle

¹⁹ Die Ressourcenkapazität kann im vorliegenden Verständnis auch mehr als 1 betragen.

²⁰ Da im Weiteren stellvertretend für die Planung einer internen Ressource die OP-Planung betrachtet wird und die Arbeit von Sickinger bei der Terminplanung auf die Planung ambulanter Patienten fokussiert, wird die Arbeit im Späteren im Bereich der ambulanten Aufnahmeplanung näher betrachtet.

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

in der Anwendbarkeit auf Systeme mit relativ geringer Komplexität beschränkt [Page 1991, S. 4]. Ein Simulationsmodell ist ein Modell zum Zweck der Ausführung in einer Simulation. Es ermöglicht den Zustand des Modells schrittweise fortzuschreiben und einzeln zu betrachten [Page 1991, S. 4]. Im Speziellen werden Simulationsmodelle genutzt, wenn keine mathematisch exakten Lösungen berechnet werden können. Durch die Simulation können statistische Aussagen zum mathematischen Modell getroffen werden. Simulationsmodelle können damit auch für komplexere Systeme eingesetzt werden (siehe Kapitel 4 im Detail hierzu).

2.4.3 Statische vs. dynamische Planung

Bei der Planungsmethodik kann dahingehend unterschieden werden, ob die Planung statisch oder dynamisch erfolgt [Cayirli & Veral 2003, S. 520]. Statisch bezeichnet hierbei eine Planung, bei der alle die Planung betreffenden Objekte (hier Patientenfragen, Kapazitäten etc.) zu Beginn der Planung vorliegen. Dynamische Planung geht von einem im Verlauf auftretenden Patientenaufkommen aus. Die Dynamik ist z.B. darin zu sehen, dass zu unterschiedlichen Zeitpunkten eine zufällige, unbestimmte Menge an Patienten(-anfragen) aufläuft. Diese treffen auf eine sich stetig ändernde Ausgangssituation (Systemzustand), was das Planungsergebnis variiert und eine verlässliche Planung erschwert. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht den geschilderten Sachverhalt schematisch am Beispiel einer Bettenstation (siehe Abb. 13).

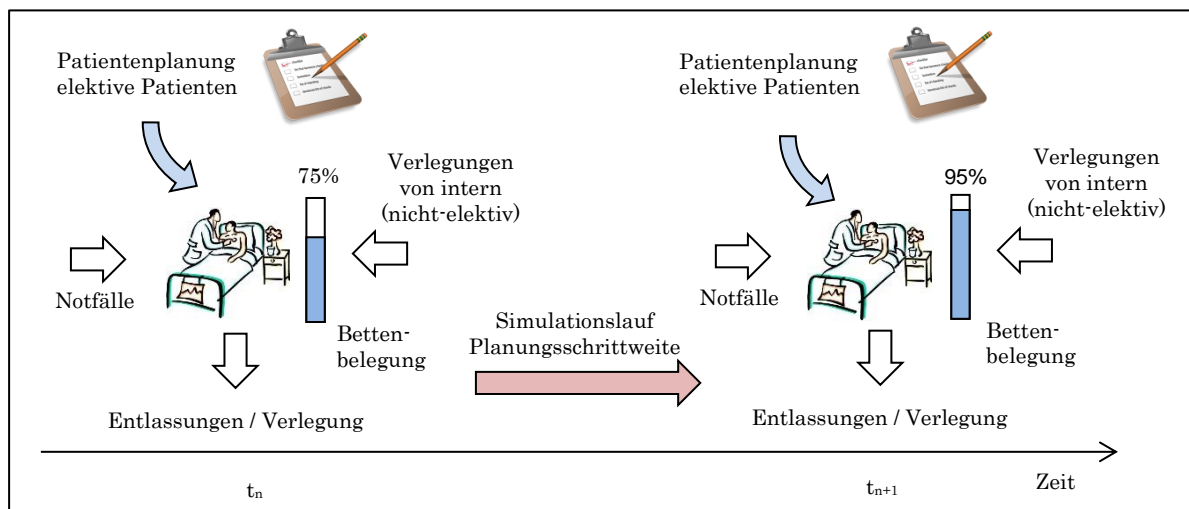


Abb. 13: Schematische Darstellung der Dynamik im Modell und in der Planung

Zu einem Zeitpunkt t_n treffen Anfragen von Patienten ein, welche eingeplant werden müssen. Als Planungsschrittweite ist hier die Differenz zwischen t_n und t_{n+1} zu verstehen. Sprich, der Zeitraum zwischen zwei Planungsschritten, z.B. ein Tag oder eine Woche. Geplante Patienten treffen entsprechend der vorliegenden Planung in der Klinik ein und werden abgearbeitet. Die Umsetzung der Planung wird beeinflusst

durch zufällig auftretende Notfälle, Entlassungen und einfließenden Verlegungen. Im Zuge der Abarbeitung durchlaufen die Patienten die Klinik (das System) und verändern damit den Systemzustand, z.B. die Anzahl belegter Betten auf Station. Zum Zeitpunkt t_{n+1} treten erneut zu planende Patienten(-anfragen) auf. Die zuvor angewendete Planung (z.B. 5 Patienten) kann bei dem inzwischen veränderten Systemzustand zu anderen Ergebnissen führen als zum vorhergehenden Zeitpunkt. In der Literatur wird dieser Sachverhalt als sequentielles Entscheidungsproblem bezeichnet [Puterman 2005, S. 1 ff.]. Um mit dem dynamischen Auftreten der Patienten planungsseitig umzugehen, gibt es grundsätzlich zwei Lösungsansätze: Einplanung und Neuplanung (vgl. [Cayirli & Veral 2003, S. 520]).

2.4.4 Einplanung und Neuplanung

Läuft die Planung weiter und verfolgt die Strategie, die hinzugekommenen Patienten(-anfragen) einzuplanen, wird von einer Einplanung (rollierende Planung) gesprochen. Der Planungslauf wird in diesem Fall nicht neu gestartet und kann somit Informationen nutzen, welche bis dahin planungsseitig erarbeitet wurden. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass sich ergebende Planungen im weiteren Verlauf optimal darstellen, da die jeweiligen folgenden Lösungen immer auf der bestehenden Planung aufsetzen und dahingehend Beschränkungen im Planungsumfang unterliegen. Bei der Einplanung können zwei Arten praktiziert werden. Die neu hinzukommenden Patienten können an die bestehende zeitliche Planung angehängt werden oder Lücken in der bisherigen Planung ausfüllen [Rixen 1997, S. 128–132]. Bereits bestehende Termine in der Planung bleiben in beiden Varianten bestehen.

Neuplanung bedeutet die Planung von vorn zu beginnen. Damit gehen u.U. bisherige Planungsergebnisse verloren. Bereits vergebene Termine bleiben nicht bestehen. Eine Neuplanung lässt durch den radikaleren Ansatz Planungsvorteile in der Qualität der (neuen) Planung erwarten [Rixen 1997, S. 154]. Es können sich neue, bessere Lösungen ergeben, welche mittels Einplanung nicht erreicht worden wären. Im Realsystem wird sowohl für die Aufnahmeplanung wie auch für die Terminvergabe in den Funktionsbereichen die Einplanung praktiziert. Die Planung füllt sich sukzessive entsprechend den eintreffenden Termin-/Aufnahmeanfragen und den dahinterliegenden Planungsvorgaben. Planungsvorgaben sind jene Richtwerte, welche die einplanende Stelle im Realsystem hat, z.B. 5 Patienten pro Tag, in der Zeit von 10:00 – 11:00 Uhr.

2.4.5 Planungsebenen

In Bezug auf die zeitliche Ausrichtung, die Wirkungsweise und die Stärke der Auswirkungen kann die Strukturierung der Planung in die drei Ebenen erfolgen: strategisch, taktisch/administrativ und operativ (vgl. [Anthony 1965, S. 15 ff.; Vissers et al. 2007, S. 1793 f.; Cardoen et al. 2010, S. 922; Blake & Carter 1997, S. 18]).

Smith-Daniels et al. [1988, S. 890 f.] führen eine Differenzierung in ihrer Betrachtung der Kapazitätsplanung an. Sie unterscheiden in lang und mittelfristige „acquisition decisions“ (Akquisitionsentscheidungen, z.B. Größenauslegung der Einrichtung, ambulante/stationäre Ausrichtung) und kurzfristige „allocation decisions“ (Allokationsentscheidungen, z.B. Zuweisung eines Patienten zu Ressourcen an einem Tag).

Die vorliegende Arbeit geht bei der Termin- und Reihenfolgeplanung von gegebenen Ressourcen, Ausrichtungen und Infrastrukturen aus. Im Zuge dessen wird das bisherige Verständnis der strategischen, taktischen/administrativen und operativen Ebene auf das operative Planungsproblem der Termin- und Reihenfolgeplanung projiziert.

Konkret kann sich dies in Bezug auf die Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten wie folgt darstellen (siehe [Sickinger 2008, S. 7, 9, 50, 85]):

1. Zugangskontrolle (strategisch),
2. Terminvergabe (taktisch),
3. Patientenauswahl (operativ).

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die aufeinander aufbauenden Planungsebenen (siehe Abb. 14).

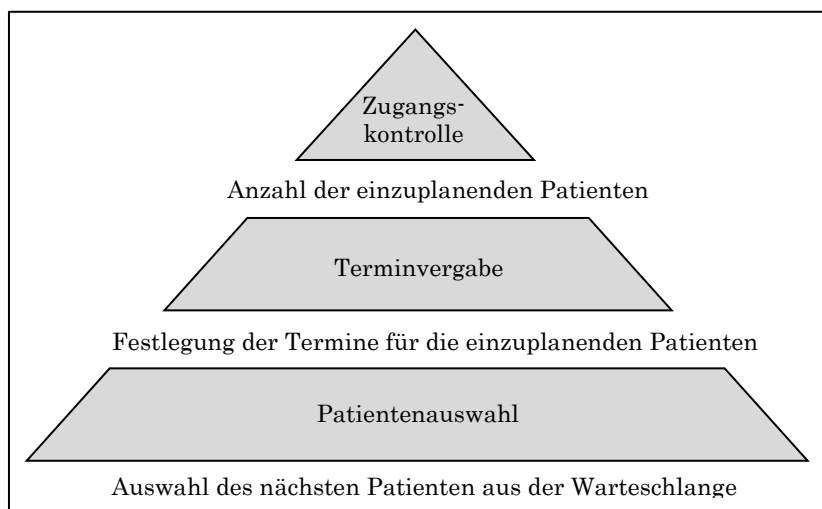


Abb. 14: Übersicht der Planungsebenen – allgemein (in Anlehnung an Sickinger [2008, S. 7])

Als Zugangskontrolle wird die Planung darüber verstanden, welchem Umfang an elektiven Patienten von extern²¹ Zugang zum System gewährt wird. Die Schnittstelle zur Umwelt, der Punkt, wo der Patient in das System eintritt, wird im Weiteren als Zugangspunkt bezeichnet. Dies kann die Klinik an sich sein oder der Funktions- /OP-Bereich, als Subsystem der Klinik.

Bei der Terminvergabe (Terminplanung) werden den Patienten Termine zugeordnet. Ein Termin bezeichnet eine konkrete Uhrzeit an einem bestimmten Tag und assoziiert damit einen Patienten zu einer bestimmten Ressource oder Ressourcenpool.

Als Patientenauswahl wird die Auswahl der Patienten aus einer Warteschlange verstanden, z.B. die Auswahl zwischen elektiven Patienten und Notfallpatienten. Die Auswahlproblematik tritt überall da auf, wo eine Engpassressource vorliegt und Warteschlangen Teil der Betrachtung sind. Es handelt sich hierbei um eine ad-hoc Auswahl auf Basis einer Auswahlmethodik, z.B. nach den Prioritäten oder FCFS.

Die Struktur der Terminplanung in Kliniken lässt sich auf drei Planungsbestandteile herunterbrechen [Cayirli & Veral 2003, S. 526]:

- Terminvergaberegeln,
- Patientenklassifikation & Reihenfolgeplanung,
- Einbeziehung von Unsicherheiten und störenden Ereignissen, wie z.B. Patienten, die ohne Termin auftreten, Patienten, die trotz Termin nicht auftreten, und Notfallpatienten.

Im Folgenden Unterabschnitt werden diese in Bezug auf die drei Ausrichtungen der Planung näher erläutert.

2.4.6 Planungsgrößen und Kriterien der Planung

Im Folgenden werden die drei Ausrichtungen der Planung (ambulante/stationäre Aufnahmeplanung und OP-Planung) in ihrem Wesen näher erläutert. Verbunden damit werden die zugehörigen Planungsgrößen und Kriterien der Planung aufgeführt.

(a) Ambulante Aufnahmeplanung

Mit der Arbeit von Bailey [1952] findet sich bereits in den frühen 50er Jahren eine erste Arbeit zu der Ausprägung von Warteschlangen und Wartezeiten in Bezug auf die Einbestellungsfolge der Patienten in ambulanten Kliniken. Bailey untersuchte die Warteschlangen der Patienten in Bezug auf die Abhängigkeit zu dem Eintreffen dieser und des Arztes sowie die Abhängigkeiten in Bezug auf die Ausgestaltung des

²¹ Aus Sicht der definierten Systemgrenzen.

Einbestellungsintervalls der Patienten. Hierbei geht Bailey von festen Intervallen mit je einem Patienten je Zeitintervall aus und stellt fest, dass das Zeitintervall der Einbestellung in der Planung der mittleren Konsultationszeit entsprechen sollte. Eine derartige Festlegung wird im Weiteren als Einbestellungsregel bezeichnet. In Bezug auf den Untersucher wird festgehalten, dass dieser mit dem zweiten Patienten erst auftreten soll, um auch dessen Leerzeiten so gering wie möglich zu halten [Bailey 1952, S. 198–199].

Im Laufe der Zeit haben viele Arbeiten das Thema weiter vertieft und je nach Problemausgestaltung und zugrunde gelegter Annahmen eine Vielzahl von Terminvergaberegeln entwickelt.

Eine Terminvergaberegeln setzt sich aus drei Variablen (Planungsgrößen) zusammen (n_1, n_i, a_i) [Cayirli & Veral 2003, S. 526]:

- Größe des Anfangsblocks (n_1): Anzahl der Patienten, die einen Termin für den ersten Untersuchungszeitraum erhalten,
- Blockgröße (n_i): Anzahl der Patienten, die für den i -ten Untersuchungszeitraum einen Termin erhalten und
- Terminvergabe-Intervall (a_i): Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Terminen.

Auf Basis dessen lassen sich nachfolgende Einbestellungsregeln ausmachen, welche sich in Bezug auf das outpatient admission wie folgt darstellen (siehe Abb. 15) [Cayirli & Veral 2003, S. 527–529; Sickinger 2008, S. 56–58]:

1. Single-block:

Nach dieser Regel werden alle Termine auf den Beginn des Planungszeitraumes gelegt. Es gibt somit für alle Patienten nur einen Termin. Die Bearbeitungsfolge würde einer first-come, first-served Regel entsprechen.

2. Individual-block/Fixed-interval:

Bei dieser Regel wird jedem Termin genau ein Patient zugeordnet. Die Abstände zwischen den Terminen sind konstant.

3. Individual-block/Fixed-interval with initial block:

Bei dieser Regel wird jedem Termin genau ein Patient zugeordnet. Die Abstände zwischen den Terminen sind konstant, wie bei der vorherigen Regel. Der erste Termin kann aber abweichend zu Regel 2 mit mehr als nur einem Patienten belegt werden.

4. Multiple-block/Fixed-interval with M at a time:
Hierbei handelt es sich um eine Erweiterung der Regel 3. Es können zu jedem Termin eine gleichbleibende Menge (M) an Patienten einbestellt werden. Die Zeitspanne zwischen den Terminen ist konstant.
5. Multiple-block/Fixed-interval with initial block:
Diese Regel erweitert die Regel 4 dahingehend, dass für den ersten Termin eine beliebige Anzahl Patienten einbestellt werden kann. Die Zeitspanne zwischen den Terminen bleibt konstant.
6. Variable-block/Fixed-interval:
Nach dieser Regel können zu den einzelnen Terminen eine beliebige Anzahl an Patienten einbestellt werden. Die Anzahl der Patienten variiert bei den einzelnen Terminen. Zwischen den Terminen bleibt die Zeitspanne konstant.
7. Individual-block/Variable-interval:
Hierbei ist die Terminvergabe zu beliebigen Zeitpunkten an jeweils einen Patienten erlaubt. Die Zeitabstände zwischen den Terminen sind variabel.
8. Offset:
Ho und Lau stellten erstmals die Offset-Regel vor [Ho & Lau 1992, S. 1754], welche eine Ausprägung der Individual-block/Variable-interval ist. Bei der Offset-Regel wird zu jedem Termin genau ein Patient eingeplant, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Terminen im zeitlichen Verlauf zunimmt. Bezogen auf die erwartete Behandlungszeit (Planungsdauer) ist der zeitliche Abstand zwischen Patienten mit frühen Terminen kleiner und bei späteren Patienten größer. Es wird ausgeführt, dass dies auf der Beobachtung beruht, dass die Wartezeit der Patienten im Tagesverlauf zunimmt.
9. Threshold:
Green et al. [2006] beschreiben in ihrer Arbeit eine Einbestellungslogik, welche nach ihren Ausführungen in der Praxis häufig anzutreffen sei. Hierbei wird von zwei Zeitblöcken ausgegangen. Ambulante Patienten werden bis zum Ende des ersten Zeitblocks einbestellt und innerhalb dessen bevorzugt abgearbeitet. Der zweite Zeitblock wird den internen (stationären) Patienten vorbehalten, welche hier bevorzugt abgearbeitet werden [Green et al. 2006, S. 13 ff.]. Der Bereich, in dem der Wechsel erfolgt ist abhängig von den „switching indices“, z.B. in Abhängigkeit der Anzahl wartender Patienten eines Typs. Mit den drei Planungsgrößen lässt sich diese Regel nicht mehr abschließend beschreiben, wird aber hier zur Vollständigkeit dennoch aufgeführt.

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

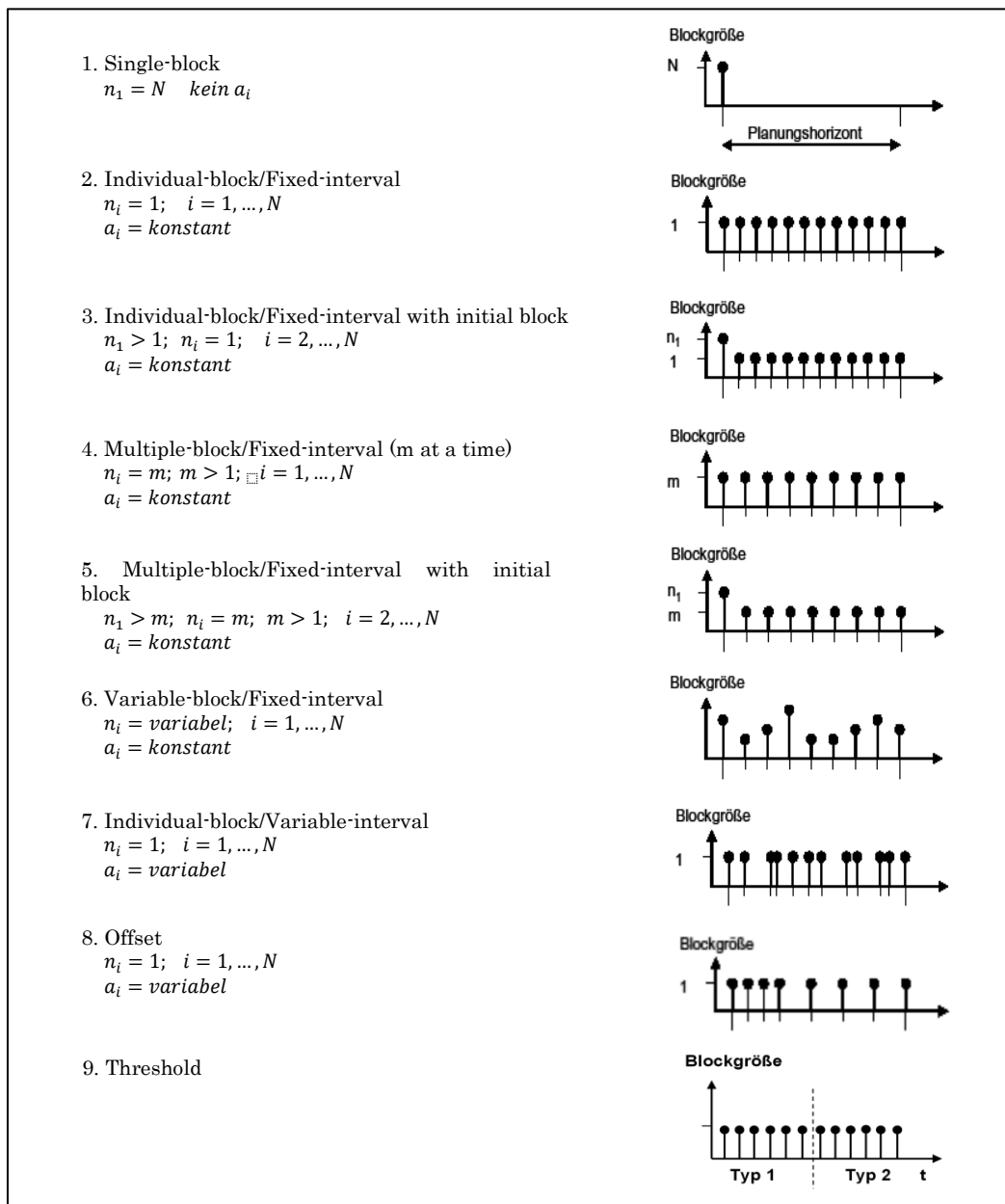


Abb. 15: Terminvergabe-Regeln [Cayirli & Veral 2003, S. 527; Sickinger 2008, S. 57]

Diese Planungsvarianten der ambulanten Aufnahmeplanung ließen sich auch auf die stationäre Aufnahmeplanung oder die OP-Planung beziehen. Typisch in der OP-Planung ist z.B. ein Patient je Termin mit unterschiedlichen Zeitabständen der Termine in Bezug auf die voraussichtliche Dauer der Maßnahme (Individual block/Variable-interval).

(b) Stationärer Aufnahmeplanung

Milsum et al. [1973] geben eine Einführung in das Thema der stationären Aufnahmeplanung, erläutern die Prämissen und die zugehörigen Input- und Output-Variablen der Planung, wie z.B. Liegezeit, krankenhausinterne Verlegungen, Notfallzugänge und der Patienten-Mix.

In Abhängigkeit der zur stationären Aufnahme einbestellten Patienten sowie der Zuflüsse auf eine Bettenstation ist einer der Hauptgegenstände der Betrachtung eine optimale Bettenauslastung („bed occupancy level“). Aus der Managementsicht gibt es zwei Prämissen [Milsum et al. 1973, S. 646]: Eliminierung von unnötigen Aufnahmen, z.B. durch eine ambulante Behandlung, sowie die Prämisse einer möglichst gleichmäßigen Auslastung, z.B. durch Verteilung auf mehrere Kliniken zur Vermeidung von Spitzen und zur Reduktion der Wartezeit.

Als Kontroll- und Zielgrößen werden nach Milsum et al. [1973, S. 646]:

- die Bettenauslastung,
- stabiler (gleichmäßiger) Patientenzufluss und
- der Patienten-Mix

aufgeführt.

Die Bettenressourcen, als zentrales Erfordernis der stationären Patienten, sollten im Sinne der Effizienz möglichst hoch ausgelastet sein. Eine hohe Bettenauslastung führt jedoch zu einer längeren Wartezeit bei den Patienten (vgl. Dilemma der Ablaufplanung).

Ein stabiler Patientenzufluss ermöglicht eine verlässliche Planung, welche aber bedingt durch störende Ereignisse oder saisonale Schwankungen beeinträchtigt wird. Störende Ereignisse sind, in Bezug auf die Bettenplanung, im Speziellen die unregelmäßigen Zuflüsse von der Notaufnahme und interne Verlegungen zwischen den Stationen. Speziell erstere müssen kurzfristig ein Bett erhalten, um das „Verstopfen“ („overcrowding“) der Notaufnahme zu vermeiden. Hierbei gibt es zwei grundsätzliche Strategien [Smith-Daniels et al. 1988, S. 897]: eine definierte Anzahl an Betten für Notfallzugänge reserviert zu halten oder die Notfallpatienten bereits in der Einbestellungsplanung zu berücksichtigen.

Eine weitere Schwierigkeit stellen in der Praxis bewusst veränderte Aufnahmezahlen dar. So werden an Wochenenden keine regulären Aufnahmen durchgeführt und zum Ende der Woche die Aufnahmezahlen bewusst reduziert, da an den Wochenenden die Kapazität auch unter dem Aspekt der erhöhten Kosten (z.B. Wochenendzuschläge) heruntergefahren werden. So werden Funktionsbereiche nur im Bereitschaftsdienst betrieben und die Anzahl von Pflegekräften und Ärzten auf den Stationen werden reduziert.

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

Auch der Patienten-Mix (Schweregrad, Reihenfolge) ist ein Einflusskriterium auf die Planung. Sofern der Patienten-Mix und die damit verbundenen individuellen Ressourcenanforderungen optimal die verfügbaren Ressourcen decken, stellt dies eine effiziente Auslastung dar. Der Patienten-Mix kann aber nur bedingt beeinflusst werden. Das Patientenaufkommen ist unter realitätsnaher Betrachtung als gegeben anzusehen, sofern nicht Patienten abgelehnt werden können. Bei einer Klinik der Maximalversorgung besteht z.B. die Verpflichtung zur Annahme aller Patienten. Somit beschränken sich die Freiheitsgrade auf die Reihenfolge und die Dispositionsfähigkeit der Patienten. Nur planbare Patienten können in gewissen Rahmen zeitlich verschoben oder in der Reihenfolge variiert werden. Wird der zeitliche Rahmen überzogen, kann der Patient zu einem Notfall werden und die Dispositionsfähigkeit geht verloren [Mazier et al. 2010, S. 793].

Weitere Parameter, welche den Aufnahmeprozess beeinflussen, sind:

- bereits vorliegende Belegung (Einlastung) der Klinik und
- die Liegezeit der Patienten (im Voraus unbekannt).

Für eine verlässliche Planung muss die vorliegende Belegung der Kapazitäten berücksichtigt werden. Darüber hinaus bedarf es für die Planung der Berücksichtigung der Liegezeiten von den Patienten und der darin liegenden Varianz. Wohin gehend die bestehende Bettenbelegung leicht zu ermitteln ist, ist die Liegezeit i.d.R. im Voraus nicht bekannt. Die Berücksichtigung kann dennoch auf zwei Arten erfolgen: auf Grundlage empirischer Daten oder durch Methoden auf Basis der subjektiven Entscheidung der Ärzte [Milsom et al. 1973, S. 653]. Zwar ist die subjektive Einschätzung des Arztes verlässlicher, jedoch erfolgt diese unter vielen Einflussfaktoren und ist damit nur sehr schwer bis kaum nachzubilden. Darüber hinaus gibt es Störgrößen auf die Liegezeit, wie durch Komplikationen verlängerte oder durch Todesfälle verkürzte Liegezeiten. Dies hat Einfluss auf die Planung und bedarf der Berücksichtigung.

Die Arbeiten auf diesem Gebiet unterscheiden sich dahingehend, welche dieser aufgeführten Einfluss-, Kontrollkriterien und Störgrößen berücksichtigt werden und wie deren Abbildung erfolgt (stochastisch/deterministisch, in einem analytischen/ablauffähigen Modell). Darüber hinaus kann bei der Aufnahmeplanung nach dem Detaillierungsgrad unterschieden werden, ob und in wie fern die Bettenstationen nach der Ausrichtung (Normal-, Überwachung-, Intensivstationen) differenziert werden, resp. wie weit der gesamte Patientenverlauf berücksichtigt wird (z.B. Aufnahme, Anamnese, Untersuchungen, Entlassung etc. oder nur die reine Betrachtung der Bettenressourcen).

(c) OP-Planung

Unter der OP-Planung werden die Ressourcen-, Termin- und Reihenfolgeplanung bezogen auf durchzuführende OP-Maßnahmen verstanden. Hierbei sind je nach dem Detaillierungsgrad Patienten, OP-Räume, OP-Ärzte und Pflegekräfte, Instrumente/Equipment und ggf. zugehörige Bettenkapazitäten (Aufwachraum) Gegenstand der Planung. Es wird u.a. das Ziel verfolgt, die Auslastung der OP-Ressourcen möglichst effizient zu gestalten und z.B. Leerlaufzeiten sowie Mehrarbeitszeiten so gering wie möglich zu halten (vgl. [Stepaniak et al. 2012, S. 156 f.]). Auch die OP-Planung erfolgt unter dem Einfluss von Unsicherheiten, wie Unpünktlichkeit oder Notfällen.

Margerlein & Martin [1978, S. 419 ff., 426 ff.] unterscheiden in Bezug auf die OP-Planung in “advance scheduling” (Vorausplanung) und “allocation scheduling” (Allokationsplanung). Blake & Carter [1997, S. 18 f., 24 f.] gliedern dies weiter nach dem Einflussbereich und der zeitlichen Ausrichtung in strategisch, taktisch und operativ. Darüber hinaus nehmen sie eine Erweiterung um das „external resource scheduling“ vor (siehe Abb. 16).

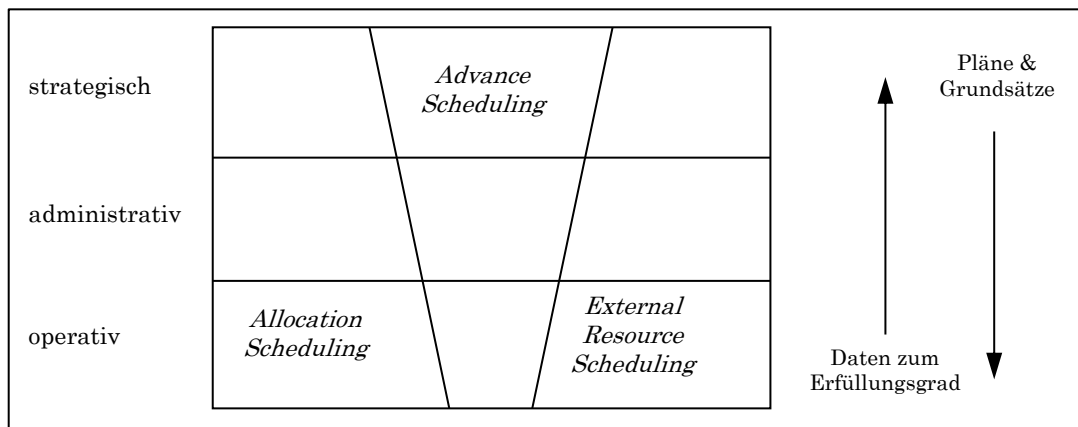


Abb. 16: Strukturierung der OP-Planung nach Blake & Carter [1997, S. 19]

Die Planungsgrößen spannen in der horizontalen und vertikalen Planungsebene eine Matrix auf. Während bei dem „advance scheduling“ sich auf der strategischen Ebene Planungsgrößen, wie die grundsätzlichen Anzahl der OP-Räume innerhalb der Klinik, die medizinische Ausrichtung oder die Art von angebotenen OP-Maßnahmen finden, sind die Planungsgrößen auf administrativen Ebene in den OP-Ressourcen zu sehen, welche auf OP-Teams oder Abteilungen aufgeteilt werden. In Bezug hierauf führen Chaabane et al. die nachfolgenden drei Ausprägungen auf, welche entscheiden, ob ein Operationsraum durchgängig durch einen Fachbereich allein oder mit festen Zeiten durch mehrere Fachdisziplinen oder Operateure genutzt wird [Chaabane et al. 2008, S. 172 f.] (vgl. [Gupta 2007, S. 690; Ghazalbash et al. 2012, S. 2]):

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

1. block scheduling:

Einem OP Team (z.B. nach medizinischer Spezialisierung) wird ein gewisser Zeitblock (in wöchentlich/monatlich wiederholendem Zyklus) in Bezug auf einen OP-Raum zur Verfügung gestellt. Dieser administrative Plan wird als „master surgery schedule“ (MSS) bezeichnet. Innerhalb dessen erfolgt die spezifische Detailplanung.

2. open scheduling:

Die Klinik verfolgt keine Teilung der betrachteten OP-Kapazität.

3. modified block scheduling:

Diese Ausprägung ist eine Mischung aus 1 und 2, ausgehend von der block scheduling Strategie werden definierte Zeiteinheiten freigehalten, um eine höhere Flexibilität zu erreichen.

Diese Planungsgegenstände werden in größeren zeitlichen Abständen geplant, resp. festgelegt. Entsprechend dieser Ausprägungen erfolgt die weitere Einplanung der Patienten. Auf operativer Ebene des advance scheduling erfolgt die Planung von Patienten auf einen möglichen Tag in der Zukunft, an dem die OP-Maßnahme erfolgen kann [Blake & Carter 1997, S. 19 f.]. Damit sind die Planungsgrößen beispielsweise die Tage, an denen eine Einplanung erfolgen kann, auf Basis der zuvor definierten Zeiten, verfügbarer Kapazitäten und Personalverfügbarkeiten. Ferner stellen die zur Einplanung eintreffenden Patientenanfragen und ggf. deren medizinische Ausrichtung eine weitere Planungsgröße auf der operativen Ebene des advance scheduling dar.

Das allocation scheduling (Allokationsplanung) bezeichnet die (kurzfristige) meist wenige Tage im Voraus oder am geplanten Tag durchzuführende, unmittelbare Planung der Reihenfolge, des Startzeitpunktes der Maßnahme (am jeweiligen Tag) und der Ressourcenbelegung [Blake & Carter 1997, S. 22 f.]. Dies erfolgt für gewöhnlich für den Fall, dass der Umfang an einzuplanenden Patienten vollständig bekannt ist [Magerlein & Martin 1978, S. 426 f.; Blake & Carter 1997, S. 22 f.]. Im Bereich der Allokationsplanung werden nachfolgende Kriterien nach Esogbue betrachtet [Magerlein & Martin 1978, S. 427]:

- Reihenfolge in der die angefragten OP-Maßnahmen bearbeitet werden,
- Raumallokationen in Abhängigkeit der Art der Maßnahme,
- OP-Maßnahmen, welche in der Durchführung an gewisse Tage der Woche gebunden sind,
- prioritätsgebundene Ressourcenallokation (dynamisch), Patienten, welche zum Zeitpunkt der Allokation unterschiedliche Prioritäten haben.

Unter dem external (resource) scheduling verstehen Blake & Carter [1997, S. 24 ff.] schließlich die Identifizierung und Planung der OP-Maßnahme vor- und nachgelagerter Ressourcen (z.B. ein Stationsbett), um einen effizienten Verlauf im OP und eine optimale Versorgung der Patienten vor und nach einer OP-Maßnahme sicherzustellen.

Vergleichbar hierzu differenzieren Margerlein & Martin [1978, S. 419] in ihrem Review das advance scheduling in zwei Kategorien, in Bezug darauf, welche Prämissen bei der Planung berücksichtigt werden. Bei der nach Magerlein & Martin am weitesten verbreiteten Methode wird alleinig auf die verfügbare Zeit des OP-Raums als Rahmenbedingung abgestellt (single constraint). Komplexere Methoden berücksichtigen weitere Einflussfaktoren (multiple constraints), wie erforderliche Betten, OP-Personal und OP-Geräte/Ausstattungen.

2.4.7 Patientenklassifikation

Patientenklassifikationen können zur Strukturierung der Patientenströme, der gesammelten Daten und Informationen hilfreich sein sowie eine Grundlage zur Steuerung und Optimierung darstellen [Schmitz 1993, S. 33]. Leidl [1987, S. 37 ff.] führt vier ressourcenorientierte Patientenklassifikationsverfahren auf:

- Diagnose-bezogene Gruppen (DRGs),
- Staging Ansatz,
- Schweregrad-Konzept und
- Patient-Management-Path.

Als bekanntestes Fallgruppenschema in Deutschland gelten die Diagnosis Related Groups (DRGs). Hintergrund der Überlegung ist, dass Patienten mit gleicher Diagnose durchaus auch gleicher Ressourcen bedürfen. Hierbei handelt es sich um ein Grundprinzip der Fallgruppen [Leidl 1987, S. 38]. Patienten mit ähnlich oder gleich gelagerten Leistungsanforderungen werden zu einer Fallgruppe zusammengefasst. Die Zuordnung basiert auf der gestellten Diagnose, des Alters des Patienten, festgestellter Begleiterkrankungen sowie etwaiger aufgetretener Komplikationen (siehe [Leidl 1987, S. 38–40] im Ursprung und [Fleßa 2013, S. 144 ff.] aus heutiger Sicht, zum Wesen und Aufbau des DRG-Klassifikation). Der Staging-Ansatz ist ein medizinisch orientiertes Verfahren, um Patientengruppen zu bilden, welche ähnliche Behandlungserfordernisse und (vermutete) -ergebnisse haben und hierbei den Schweregrad der Erkrankung einschließt [Leidl 1987, S. 40 f.]. Das Schweregrad-Konzept ist diagnoseunabhängig. Die Schwere der Erkrankung des Patienten steht hierbei im Mittelpunkt und wird in 4 Stufen und 7 Dimensionen gegliedert [Leidl 1987, S. 41 f.]. Darüber hinaus gibt es den Ansatz der Gruppierung nach dem

2. Grundlagen der Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken

Behandlungsweg (Patient Management Path) (siehe [Leidl 1987, S. 42 f.]). Hierbei wird der eingeschlagene Weg in den Vordergrund gestellt.

Problematisch wird die Gruppierung in den Fällen, wo Patienten z.B. an mehreren Krankheiten leiden (Multimorbidität), der Krankheitsverlauf untypisch ist oder die Erkrankung nicht eindeutig diagnostiziert werden kann. Deshalb sind diese Arten der Gruppierungen nicht befähigt zur alleinigen Steuerung der Prozesse im Krankenhaus und müssen entsprechend erweitert oder kombiniert werden [Brettel 1999, S. 769].

Cayirli & Veral [2003, S. 529] differenzieren die Planungsverfahren danach, ob und wenn ja, zu welchem Zweck die Klassifikation eingesetzt wird. Im Detail wird unterschieden in:

- keine Patientenklassifikation
- Patientenklassifikation zur:
 - Reihenfolgebildung zum Zeitpunkt der Einbestellung,
 - Ausrichtung der Einbestellungsintervalle an die sich unterscheidenden Servicezeiten der einzelnen Patientenklassen,
 - Kombinationen aus den beiden obigen.

Die Mehrzahl der Arbeiten in der Literatur geht von homogenen Patienten aus, mit der Terminvergabemethode first-call, first-appointment (FCFA) – sprich, wer zuerst anfragt, erhält den zeitlich nächst möglichen Termin [Cayirli & Veral 2003, S. 529].

Eine der häufigsten anzutreffenden Klassifikationen erfolgt nach der Dringlichkeit in akute (Notfall) und nicht akute (elektive, planbare) Patienten. Auch bei der Unterscheidung in ambulante und stationäre Patienten handelt es sich um eine verbreitete Art der Klassifikation von Patienten (siehe [Cardoen et al. 2010, S. 922] zur Patientenklassifikationen). Darüber hinaus werden in der Literatur Klassifikationen u.a. nach der Anzahl der zurückliegenden Termine vorgenommen (neue Patienten, Patienten mit Folgetermin), nach der Varianz der Bearbeitungszeiten (geringe/hohe Bearbeitungszeit) und Art der Behandlung [Cayirli & Veral 2003, S. 529].

Hinsichtlich der sich hieraus ergebenden Einschränkungen weisen Cayirli & Veral [2003, S. 529] darauf hin, dass Einbestellungsregeln auf der Basis von Patientenklassifikationen die Flexibilität und den Umfang alternativer Zeitpunkte der Vergaberegeln einschränken.

2.4.8 Einbeziehung von Ressourcen im Ablauf

Cayirli & Veral [2003, S. 520] differenzieren in den Arbeiten die Art und den Umfang der Ressourcenabbildung. Ausgehend von der Art der Einbeziehung, lässt sich der Patientenverlauf in ein oder mehrere Behandlungen/Kontakte während des Patientenbesuchs differenzieren (z.B. in der Folge: Aufnahme, Aufnahmegespräch mit Arzt, Untersuchung, Abschlussgespräch mit Arzt). Ein einstufiger Ablauf wird als „single-stage“, ein mehrstufiger Ablauf als „multi-stage“ bezeichnet. Abhängig von der Kapazität der eingebundenen Ressource(n) wird in Einzel- „single-server“ und Mehrfachabbildung „multi-server“ unterschieden.

2.4.9 Einbeziehung von Unsicherheiten und störenden Ereignissen

Unsicherheiten und störende Ereignisse beeinflussen maßgeblich die Planung. Daher stellen ein weiteres Kriterium die Art und der Umfang dar, in welchem Unsicherheiten und störende Ereignisse in der Planung berücksichtigt werden. Grundsätzlich lassen sich Unsicherheiten in drei Gruppen einteilen [Cardoen et al. 2010, S. 928]:

- Unsicherheiten in der Ankunft der Patienten,
- Unsicherheiten in der Dauer und
- sonstige Unsicherheiten, z.B. in den Ressourcen.

Unter der Gruppe der Unsicherheiten in der Ankunft der Patienten ist zunächst der Notfallpatient zu fassen, welcher unbestimmt auftritt. Darüber hinaus können Patienten in ihrem geplanten Auftreten von dem Termin abweichen, zu früh/zu spät in Erscheinung treten oder ganz ausfallen (no-show).

Die Unsicherheiten in der Dauer bezeichnen Varianzen bei Liegezeiten und Bearbeitungszeiten einer Maßnahme. In diesem Zusammenhang ist auch der Patientenverlauf mit den individuellen Erfordernissen zu sehen (z.B. Notfallpatient vs. Patient zur Kontrolluntersuchung), welche den Aufenthalt eines Patienten maßgeblich beeinflussen. Mit zunehmender Anzahl an Maßnahmen im Ablauf des Patienten nimmt die Unsicherheit zu.

Ein weiterer Punkt bezeichnet sonstige Unsicherheiten, welche z.B. in den Ressourcen selber gelegen sind. So kann eine Gerätesressource, welche zur Durchführung einer geplanten Behandlung erforderlich ist, wegen einem Defekt ausfallen und die Umsetzung der Planung resp. die weitere Planung damit maßgeblich beeinflussen. Ebenso können ärztliche Ressourcen zum vereinbarten Termin verspätet sein.

Je nachdem, ob Unsicherheiten berücksichtigt werden, wird in deterministische (ohne Berücksichtigung) und stochastische (unter Berücksichtigung) Ansätze unterschieden [Cardoen et al. 2010, S. 928].

2.4.10 Allgemeine Kriterien zur Bewertung

Vereinzelt wurde bereits auf Bewertungskriterien eingegangen, da sie sich auch als Planungsgrößen verstehen lassen. So wurden in den bisherigen Ausführungen u.a. die Wartezeiten, die Durchlaufzeit der Patienten, Terminabweichungen, Behandlungskosten oder die Leerstandzeit der Ressourcen angeführt. Darüber hinaus lassen sich weitere Kennzahlen finden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Wahl der Bewertungskriterien zielbezogen erfolgen muss und maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis der Untersuchung oder Optimierung haben kann.

Cayirli & Veral differenzieren die Bewertungskriterien wie folgt [Cayirli & Veral 2003, S. 524–526]:

- **Kostenbasierte Kriterien**
Hierunter werden in der Literatur monetäre Bewertungsansätze von Kennzahlen wie Wartezeiten, Leerstandzeiten oder Leistungsmengen wie Anzahl behandelter Patienten verstanden. Meist erfolgt dies in Kombination als Kosten- und/oder Ertragsfunktion.
- **Zeitbasierte Kriterien**
Unter zeitbasierten Kriterien werden Kennzahlen, wie die mittlere Wartezeit der Patienten, die mittlere Gesamtdurchlaufzeit oder die mittlere Leerstandzeit einer Ressource, gesehen. Darüber hinaus können hierunter Varianzen im zeitlichen Verhalten, maximale oder minimale Ausprägungen innerhalb eines Zeitrahmens verstanden werden.
- **Auslastungsbasierte Kriterien**
Auslastungsbasierte Kriterien können sich u.a. auf Ressourcen oder das Gesamtsystem beziehen, z.B. die mittlere Anzahl an Patienten, welche abgearbeitet wurden oder das System durchlaufen haben. Bezogen auf vorhandene Warteschlangen kann hierunter die mittlere Anzahl von Patienten in einer Warteschlange verstanden werden.
- **Fairnessbasierte Kriterien**
Kriterien, welche auf die Fairness abzielen, untersuchen die Varianz, z.B. der Warteschlangenlänge oder der Wartezeiten.
- **Weitere Kriterien**
Über die bisherige Aufstellung hinaus kann es weitere Kriterien geben, wie z.B. die Wahrscheinlichkeitsausprägung, dass ein Patient zu dem Termin, zu dem dieser einbestellt, auch behandelt wurde.

Neben der hier aufgeführten Differenzierung, sind in der Literatur weitere Arten der Abgrenzung zu finden, auf die hier aber nicht näher eingegangen wird. An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass mit zunehmender Komplexität der Modelle auch der Rechenaufwand steigt. Daher wird auf die Performanz als Planungskriterium hingewiesen (schnell zu implementieren und ein geringer Rechenaufwand).

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

In diesem Kapitel wird ein Überblick der existierenden Arbeiten auf dem Gebiet der Termin- und Reihenfolgeplanung gegeben. Hierbei wird der Differenzierung in die drei Ausrichtungen: ambulante/stationäre Aufnahmeplanung sowie die OP-Planung weiterhin gefolgt. Es werden die historische Entwicklung in den Bereichen aufgezeigt und ausgewählte Arbeiten näher vorgestellt. Abschließend werden die bis dahin vorgestellten und weiteren Ansätze tabellarisch anhand ausgewählter Kriterien aus dem Abschnitt 2.4 gegenübergestellt.

3.1 Ambulante Aufnahmeplanung

Gupta & Wang [2012] führen in ihrer Arbeit detailliert in den Gegenstand der ambulanten Aufnahmeplanung (outpatient admission) ein und stellen verschiedene mathematische Modelle vor, um die einzelnen Problemstellungen und Nebenbedingungen abzubilden. Cayirli & Veral [2003] geben einen Überblick der Arbeiten zu der ambulanten Planung im Zeitraum von 1952 bis 2001. Die Aufstellung differenziert die Arbeiten u.a. nach den eingesetzten Reihenfolgeregeln, die Einbeziehung von Unpünktlichkeit und no-show Ereignissen. Zudem wird dahingehend unterschieden, ob es sich bei den Arbeiten um analytische Studien, Simulationsstudien oder Fallstudien handelt (siehe [Cayirli & Veral 2003, S. 531] zu den Typen). Bei den von Cayirli & Veral aufgeführten Arbeiten zeigt sich, dass diese geprägt sind von vereinfachenden Annahmen und Abstraktionen. In Bezug auf die optimale Einbestellungsfolge von ambulanten Patienten konnten bis dato kaum allgemeingültige Erkenntnisse abgeleitet werden. Ho & Lau [1992] führten beispielsweise eine Simulationsstudie über 9 Regeln mit 27 Testszenarien (environments), in Bezug auf die no-show Wahrscheinlichkeit p , den Varianzkoeffizienten der Bearbeitungszeit cv sowie die Anzahl der Patienten je Termineinheit N , durch. Hierbei konnten die drei Parameter nach deren Einfluss und Wichtigkeit geordnet werden:

1. Wahrscheinlichkeit für no-show,
2. Varianzkoeffizient der Bearbeitungszeit,
3. Anzahl der Patienten je Einbestellungsintervall.

Die Einbestellungsregeln führten jedoch in den getesteten Szenarien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Keine der angewendeten Regeln stellt eine allgemeine beste Regel für alle Testszenarien dar [Ho & Lau 1992, S. 1763]. Ferner gehen die von Cayirli & Veral aufgeführten Arbeiten überwiegend von einem einstufigen Ablauf (single-stage) mit einer Service-Einheit (single-server) aus [Cayirli & Veral 2003, S. 520]. Auf einen Patientenverlauf mit mehreren Behandlungen/Kontakten während des Termins und/oder mehreren Ressourcen (multi-stage/multi-server) sind die

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Arbeiten erst im Laufe der Zeit nur vereinzelt eingegangen, wie bei Wijewickrama & Takakuwa [2008], Cox et al. [1985] und Rising et al. [1973]. Überwiegend ist bei den von Cayirli & Veral [2003] aufgeführten Arbeiten nur die Terminplanung gegenständlich, die Zugangsplanung und Reihenfolgeplanung erfolgen, wenn, dann nur indirekt. Die Auswahlproblematik bei der Abarbeitung der Patienten wird mehrheitlich mit der first-come, first-served Regel angenommen. Störende Einflussfaktoren, wie Notfälle, no-show und Patienten ohne Termin, beeinflussen die Planung und werden in den von Cayirli & Veral [2003] aufgeführten Arbeiten nur in eingeschränktem Umfang berücksichtigt. Teils wird gezielt versucht diesen störenden Effekten entgegenzuwirken. Visser [1979] betrachtet in diesem Zusammenhang das „Überbuchen“, was die Einbestellung von zusätzlichen Patienten beinhaltet, sowie die Möglichkeit der Reduktion der Abstände zwischen den Terminen²². Dies mit dem Ziel die negativen Effekte, wie Leerzeiten die aus einem no-show Ereignis resultieren können, auszugleichen. Während das Überbuchen zu keinen signifikanten Verbesserungen in Bezug auf die Wartezeit der Patienten und die Leerzeiten der Ressourcen führte, zeigte die Verkürzung der Einbestellungsintervalle eine leichte Verbesserung [Vissers 1979, S. 1218]. Bezogen auf nicht geplante Patienten und Notfälle wurden in Einzelbetrachtungen die Varianten von freien Terminen und die Ausweitung der Abstände zwischen den Terminen in der Planung getestet. Klassen & Rohleder [1996] untersuchten die Effekte auf die Wartezeit der Patienten und die Leerlaufzeit der Ressourcen in Bezug auf Termine, welche für dringende Fälle (binnen 24 Stunden zu behandeln) frei gehalten wurden. Hinsichtlich der Position oder der Anzahl freizuhaltender Termine konnten keine eindeutigen und belastbaren Erkenntnisse gewonnen werden. Sofern mehr Slots früher freigehalten wurden, reduzierte sich die Wartezeit der Patienten, während sich der Prozentsatz der behandelten dringenden Fälle reduzierte. Wurden mehr Termine später freigehalten, verringerte sich die Leerzeit der Ressourcen und die Anzahl der behandelten dringenden Fälle stieg [Klassen & Rohleder 1996, S. 100]. Fetter & Thompson [1966] testeten den Ansatz die Abstände zwischen den Terminen zu erhöhen, was ebenfalls die Schaffung von Freiräumen zur Folge hat und damit tendenziell die Termintreue verbessert und die Wartezeiten der Patienten reduziert. Es wurde gezeigt, dass eine Vergrößerung der Einbestellungsintervalle eine Reduktion der Patientenzahlen zur Folge hat sowie die Wartezeiten der Patienten ohne Termin reduziert. Dem entgegen steigt hiermit die Leerzeit der Ärzte [Fetter & Thompson 1966, S. 85–86].

Westeneng [2007, S. 31 ff.] führt weitere Veröffentlichungen zur Einbestellung ambulanter Patienten im Zeitraum bis 2007 auf. Auch diese Aufstellung orientiert

²² In Anlehnung an den Erwartungswert der no-show Ereignisse im Verhältnis zu den zusätzlichen Patienten ohne Termin.

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

sich an den Kriterien aus Unterabschnitt 2.4.6 (a) und differenziert danach, ob es sich um analytische Arbeiten oder Simulationsstudien handelt. Auffällig ist, dass zwischenzeitlich der überwiegende Teil der Arbeiten die Simulationsmethodik zugrunde legt. Darüber hinaus verfolgen die jüngeren Arbeiten komplexere Terminvergaberegeln, z.B. unter Freihaltung von Termineinheiten für Patienten ohne Termin oder unter Einbeziehung von weiteren Patientenklassen²³. Alle aufgeführten Arbeiten, sind als single-stage Betrachtungen angegeben [Westeneng 2007, S. 38].

Westeneng [2007, S. 15–18] selber betrachte eine ambulante Klinik mit dem Ziel der Minimierung der Wartezeit der Patienten und die Leerzeiten/Mehrarbeitszeiten der Ärzte bei Maximierung der Auslastung der Klinik. Zur Verbesserung der Planung wurden folgende experimentelle Faktoren eruiert [Westeneng 2007, S. 41 f.]: Methode der Entscheidungsfindung (statische/dynamische Planung), Länge des Planungshorizontes, Nutzung von Terminslots (2 Varianten), Regeln zur Reihenfolge der Patienten, Einbestellungsregel und die Anpassung der Terminlänge in Bezug auf die Beteiligung von medizinischen Studenten. Anhand dessen wurden 45 Kombinationen dieser Faktoren ausgewählt und mittels einem Simulationsmodell evaluiert [Westeneng 2007, S. 58]. Im Modell werden die Patienten in 7 Gruppen nach dem zu erwartenden Ablaufpfad klassifiziert (multi-stage) [Westeneng 2007, S. 42]. Zudem werden die Patienten danach differenziert, ob diese zum ersten Mal in der Klinik sind (neue Patienten) oder ob es sich um Wiederkehrer handelt. Entsprechend wird unterstellt, dass die Servicezeit sich dahingehend unterscheidet und für letztere kürzer ist. Westeneng berücksichtigt in seinem Modell die Unpünktlichkeit von Patienten und Ärzten. Ebenso werden no-show Ereignisse und erstmalig Terminabsagen einbezogen. Darüber hinaus werden im Modell auch Notfälle als störender Einfluss der Planung abgebildet („overflow patients“). Das Modell berücksichtigt im Speziellen die Anwesenheit von Medizinstudenten, indem für diese die Termine eine zeitliche Anpassung um 30 Minuten erfahren. Im Zuge der Planung erhalten die Patienten eine konkrete Uhrzeit an einem bestimmten Tag. Im Ergebnis der Szenariotests wurde festgestellt, dass ein Einbestellungssystem mit dedizierten Terminslots, einer individual-block Einbestellungsregel in Verbindung mit einer Reihenfolgeregelung, welche Patienten mit geringer Varianz in der Konsultationszeit beim Arzt (Wiederkehrer) die interne Wartezeit um 55 % zu reduzieren vermag [Westeneng 2007, S. 93]. Darüber hinaus wurde die Mehrarbeitszeit von 19 % auf 11 % reduziert. Die Gesamtauslastung der Klinik reduzierte sich auf Basis dessen von 93,3 % auf 89,5 %. Um das Auslastungsniveau wieder anzuheben, müssten zusätzliche Terminkapazitäten bereitgestellt werden.

²³ Über die Gruppierung in nicht-planbare (Notfälle, walk-ins) und planbare Patienten hinaus.

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Ein Großteil der Arbeiten führt eine mengenmäßige Planung der Patienten durch. Warteschlangen und die Auswahlproblematik an diesen, werden in den zugrundeliegenden Modellen nicht abgebildet. Sickinger [2008] stellt einen Ansatz vor, bei dem neben der mengenmäßigen Planung auch die Terminvergabe und die Patientenauswahl aus einer Warteschlange (allocation decision/Allokationsplanung) im Fokus liegen. Betrachtungsgegenstand ist eine Computertomografie (CT) mit zwei Geräten (multi-server). Ziel der Arbeit ist eine Optimierung der Einbestellungs-methodik zur besseren Auslastung der CT-Geräte. Es werden in der Arbeit drei Patientengruppen (Klassen) betrachtet: elektive Patienten, Notfälle und nicht-geplante Patienten (walk-in). Wobei sich elektive Patienten auf ambulante Patienten beziehen und walk-in die stationären Patienten darstellen. Notfallpatienten wurden in der Abarbeitung priorisiert behandelt. Zur Optimierung wird ein auf Erträgen und Kosten aufgebaute Funktion eingesetzt. Sickinger untersucht auf diesem Wege verschiedene Planungsmethoden zur Patientenauswahl hinsichtlich ihrer Ertragskraft. Die Zugangsplanung (hinsichtlich der Anzahl der Patienten) erfolgt mittels einer vollständigen Enumeration. Für die Ermittlung der optimalen Termine der Einbestellung werden die Tabu-Suche (Metaheuristik) und eine veränderte Bailey-Welch-Regel eingesetzt. Bei den zugrunde gelegten Einbestellungsregeln handelt es sich um:

- Individual-block/Fixed-interval, mit initialem Block von 2 Patienten (2BEG),
- zwei Zeitfenster, mit jeweils mehreren Terminen, wobei die Patientenzahlen abnehmend sind (Block),
- Threshold: Terminvergabe bis zu einem vorher festgelegten Zeitpunkt.

In Bezug auf die Abarbeitung der Warteschlange wurden drei Auswahlverfahren betrachtet: Linear Capacity Allocation (1), welches beinhaltet, dass ein Patient, wenn dieser zum Zeitpunkt t_i nicht zur Bedienung gewählt wird, im weiteren Verlauf bis zum Ende des Untersuchungszeitraums nicht mehr einbezogen wird. Weiterhin die Prioritätsregel first-come, first-served (2), welche eine Abarbeitung in der Folge des Eintreffens beinhaltet und Random Selektion (3), eine rein zufällige Auswahl. In Bezug auf die Zugangsplanung wurde ein hoher Einfluss der Ankunfts-wahrscheinlichkeit auf die Güte der Lösung erkannt. Daran abgeleitet wird festgestellt, dass umso höher diese ausfällt, umso mehr Patienten einbestellt werden sollten [Sickinger 2008, S. 105]. Im Ergebnis der Terminplanung wurde festgestellt, dass in Systemen mit geringer oder mittlerer Auslastung der Einsatz der verallgemeinerten Bailey-Welch-Regel empfohlen werden kann. Bei Systemen mit hoher Auslastung hingegen liefert Tabu-Search deutlich bessere Ergebnisse. Darüber hinaus wird von Sickinger empfohlen Patienten mit hohen Wartekosten und Patienten mit hohen Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich dem Erscheinen früher einzubestellen [Sickinger 2008, S. 83]. In Bezug auf das Patientenauswahlproblem

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

wurde festgestellt, dass sich die Entscheidungsregeln bezogen auf das Untersuchungsobjekt nur geringfügig im Ergebnis unterscheiden. Wobei eine Tendenz in Richtung First-Come, First-Served abgegeben wird, wonach diese als faires Auswahlverfahren gegenüber den Patienten dargelegt wird und eine einfachere Umsetzung zugrunde liegt, als bei den anderen Heuristiken [Sickinger 2008, S. 48]. Mit der Computertomografie wird sowohl aus Sicht der ambulanten als auch aus Sicht der stationären Patienten u.U. nur ein Teilbereich des gesamten Aufenthaltes in der Betrachtung berücksichtigt (single stage). Stationären Patienten gegenüber wird in dem Ansatz von Sickinger kein Termin vergeben.

Eine 2007 von Kühn et al. durchgeführte Simulationsstudie zeigt im abgegrenzten Rahmen einer onkologischen Tagesklinik die Optimierung der Einbestellungsplanung mittels eines Genetischen Algorithmus [Kühn et al. 2012]. Betrachtungsgegenstand sind ausschließlich planbare Patienten, welche anhand des Behandlungsverlaufs in Gruppen differenziert sind (mit/ohne Gabe von Zytostatika oder Antikörpern). Durch die Zugrundelegung eines ablauffähigen (dynamischen) Prozessmodells wird bei der Einbestellungsplanung der Behandlungsverlauf des Patienten berücksichtigt (multi-stage). Der Verlauf ist für die Patienten im Voraus bekannt. Die Bearbeitungszeiten der einzelnen Prozessschritte (Aufnahme, Blutentnahme, Arztbesuch etc.) sind variabel und werden je Patient mittels hinterlegter Verteilungsfunktionen zur Laufzeit ermittelt. Eine Einbeziehung übergreifender Fach- und Funktionsbereiche erfolgte nur indirekt. So gab es die Einflussnahme z.B. der Apotheke für die Medikationsversorgung oder des hämatologischen Labors. Diese unterliegen aber im Modell selber keiner direkten terminlichen Planung und wurden unter dem Einsatz einfacher Warteschlangen (FCFS) abgebildet. Es konnten am Simulationsmodell Erkenntnisse zur Einplanung der Patientengruppen gewonnen und auf der Basis eine Reihenfolgeregelung zur Einbestellung abgeleitet werden. Ferner wurde eine deutliche Reduzierung der Wartezeiten um ca. 40 % als auch eine gleichmäßigere und bessere Ressourcenauslastung erreicht. Es konnte weiterhin gezeigt werden, wie heuristische (Meta-)Algorithmen, hier im Falle eines evolutionären Algorithmus, zur Optimierung der Patientenreihenfolge in klinischen Einrichtungen eingesetzt werden können. Dies war den Autoren bis dato nur aus dem industriellen Bereich der Reihenfolgeplanung bekannt. Offen bleibt die Frage, ob sich die Verbesserungen auch im Zusammenspiel mit weiteren klinischen Fach- und Funktionsbereichen sowie unter dem Einfluss von Notfällen und zufällig auftretenden nicht akuten Patienten erreichen lassen.

Die nachfolgende Übersicht stellt die aufgeführten Arbeiten in Bezug auf ausgewählte Kriterien aus Abschnitt 2.4 gegenüber. Im Zuge dessen werden weitere Ansätze zur ambulanten Aufnahmeplanung aufgeführt (siehe Tab. 1 - Tab. 4).

Literaturreferenz	Modellklasse / Art der Studie	Patienten	Spezifika der Planung und Planungsparameter	Einbestellungs-/Reihenfolgeregel der Terminvergabe	stage/server
[Liu 2016]	mathematisches Modell, numerische Experimente, analytischer Lösungsansatz	ambulante Patienten	Determinierung des optimalen Einbestellfensters (wie weit im Voraus ein Termin vergeben wird), unter Berücksichtigung der no-show Wahrscheinlichkeit	nächster freie Termin wird vergeben (FCFS); Terminslots/Terminlänge je Patient gleich lang(fixed-interval), je Terminslot 1 Patient (individual-block); initial block = 1)	single-stage, single-server
[Lin 2015]	mathematisches Modell (integer network flow model), mit heuristischem Lösungsansatz	ambulante Patienten	Optimierung der Einbestellungsmethodik zur Reduktion der der Patientenwartezeiten, Mehrarbeit und Anzahl Patienten (headcount) im Wartebereich	Block-Einbestellungssystem; Terminslots über den Tag verteilt, welche unterschiedlich lang sein können; je Terminslot werden zu Beginn weniger Patienten geplant, im Verlauf wird die Quote der Patienten an die Verfügbarkeit der Ärzte angepasst, Patientenklassen werden bei der Planung zunächst nicht berücksichtigt, Heuristik zur Iterative Verbesserung des Terminplans mit einem Speicher	multi-stage, multi-server
[Yan et al. 2014]	mathematisches Modell, numerische Experimente/ Szenarios	ambulante Patienten	Optimale Einbestellungszeit und Anzahl an Patienten, unter Berücksichtigung von no-show und walk-in Patienten, mit dem Ziel Wartezeiten, Mehrarbeit zu minimieren und Ertrag zu maximieren (Kosten-/Ertragsfunktion)	Patienten werden Termine bis zu einem Stopp-Kriterium vergeben, Überbuchungen werden vorgenommen und no-show Ereignisse zu kompensieren, eigens entwickelter Vergabealgorithmus	single-stage, single-server
[Kühn et al. 2012]	mathematisches Simulationsmodell mit Metaheuristik	ambulante Patienten	metaheuristische Planung (GA); Ziel: minimale Wartezeit, minimale Durchlaufzeit bei gegebener Anzahl an Patienten	durch Metaheuristik, in Bezug auf Patientenklassen und erforderliche Ressourcen	multi-stage, multi-server
[Chen & Robinson 2011]	mathematisches Modell zur numerischen Lösung mit heuristischen Lösungsansätzen	ambulante Patienten	Planung erfolgt mittels drei verschiedenen Heuristiken, welche gegeneinander, teils in Kombination miteinander ausgetestet werden. Ziel: minimale Wartezeit der Patienten, minimale Leerlaufzeit der Ärzte, minimale Mehrarbeit.	„Routine-Block“ Heuristik: elektive werden zusammenhängend geplant nach FCFS; „Routine-First“ Heuristik: elektive Patienten werden zuerst nach FCFS und nicht-elektive vor oder nach dem elektiven Block FCFS geplant; „Best-Found“ Heuristik: paarweiser Austausch der Patienten im Terminplan	single-stage, single server
[Sickinge 2008]	mathematische Modelle mit heuristischen und analytischen Lösungsansätzen, Szenarientests (teils mit Simulation)	ambulante & stationäre Patienten	Planung erfolgt auf drei Ebenen durch heuristischen oder analytischen Ansatz mit 3 einbestellungsverfahren und 3 Testszenarien (Zugangsplanung; Terminplanung und Auswahlentscheidung bezogen auf die Warteschlange); Ziel: Ertragsmaximierung (max. Anzahl Patienten, min. Wartezeit und Leerlaufzeit)	Patienten werden Termine vergeben, individual-block/fixed-interval, with initial block of 2 variable-block/fixed-interval (2 Zeitfenster mit Terminen) Threshold	single-stage, multi-server

Tab. 1: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 1/4)

Literaturreferenz	Modellklasse / Art der Studie	Patienten	Spezifika der Planung und Planungsparameter	Einbestellungs-/Reihenfolgeregel der Terminvergabe	stage/server
[Wijewickrama & Takakuwa 2008]	grafisch-mathematisches Simulationsmodell mit Szenariantests	ambulante Patienten	die Arbeit umfasst 5 Einbestellungsregeln und 5 Reihenfolgeregeln, welche hinsichtlich Optimalität getestet werden; Ziel: minimale Wartezeit der Patienten, minimale Leerlaufzeiten	Einbestellung: individual-block/fixed-interval, with initial block of 2; individual-block/fixed-interval, with initial block of 3; individual-block/fixed-interval; multiple-block (2)/fixed-interval (2xmittlere Servicezeit); offset, k Patienten mit reduzierten Abständen, danach Rest mit verlängerten Abständen (Abstände in Bezug auf mittlere Servicezeit) Reihenfolge: appointed at beginning, then new patients; new patients at beginning, then appointed; alternating order; new patient after 5 appointed patients	multi-stage, multi-server
[Westeneng 2007]	mathematisches Simulationsmodell mit (heuristisch/nicht heuristischen) Szenariantests	ambulante Patienten	2 Einbestellungsregeln und 6 Reihenfolgeregeln werden ausgetestet mit dem Ziel: Reduktion der Wartezeit der Patienten, Steigerung der Auslastung der Klinik; Minimierung der Leerlaufzeit und Mehrarbeit der Ärzte; Es erfolgt der testweise Einsatz dedizierter Terminslots.	Einbestellung: individual block; individual-block/fixed-interval, with initial block of 2 Reihenfolge: first call, first appointment; long expected service time first; short expected service time first; alternate long/short service time; high variance of service time first; low variance of service time first	multi-stage, multi-server

Tab. 2: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 2/4)

Literaturreferenz	no-show Wahrscheinlichkeit	Patienten ohne Termin "walk-in" (inkl. Notfälle)	Pünktlichkeit der Patienten	Pünktlichkeit der Ärzte	Prinzip der Abarbeitung der Warteschlange	Bearbeitungszeiten (konstant/variabel)	weitere Patientenklassifikation
[Liu 2016]	ja, in Abhängigkeit der Dauer bis zum Termin (3 Varianten)	keine	pünktlich	keine Angaben	eine Warteschlange wurden modelliert, Patienten werden entsprechend dem Eintreffen abgearbeitet (FCFS)	konstant / deterministisch (im M/D/1/K Fall) und exponentialverteilt (im M/M/1/K Fall)	keine
[Lin 2015]	keine	ja, als „enquiry“	pünktlich, Start nicht vor dem Termin	keine Angaben	Patienten werden entsprechend dem Eintreffen bei adapt_FCFS abgearbeitet; flexible Auswahl ist im Fall adapt_mem; 3 weitere Selektionsregeln aus der Job-Shop Planung (SPT, LNS, SQNO)	konstant für den jeweiligen Bearbeitungsschritt	4 Gruppen von Patienten (alt, neu, walk-in, ambulante OP)
[Yan et al. 2014]	ja, p=0,5/0,4/0,3/0,2	ja, walk-in mit p=0/0,1/0,2/0,3/0,4/0,5, keine Notfälle	pünktlich	keine Angaben	eine Warteschlange wurden modelliert zur Umsetzung des Einbestellungssystems, Anfragen und Patienten werden entsprechend dem Eintreffen abgearbeitet (FCFS)	exponentialverteilt	4 Gruppen von Patienten nach der no-show Wahrscheinlichkeit

Tab. 3: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 3/4)

Literatur-referenz	no-show	Patienten ohne Termin "walk-in" (inkl. Notfälle)	Pünktlichkeit der Patienten	Pünktlichkeit der Ärzte	Prinzip der Abarbeitung der Warteschlange	Bearbeitungszeiten (konstant/variabel)	weitere Patienten-klassifikation
[Kühn et al. 2012]	keine	keine	pünktlich	pünktlich	Warteschlangen für jeden Engpassbereich modelliert; Patienten treten zu den Terminen auf, werden entsprechend dessen FCFS abgearbeitet	variabel	Mitbehandler, Therapiepatienten (auf Basis des Pfades und der Durchlaufzeit)
[Chen & Robinson 2011]	ja, p = 0,25 für elektive; 0,05 für same-day zzgl. Weitere in Tests	ja, dringende Fälle (same day booking) und Patienten ohne Termin (walk-in)	keine Angaben	Durchführen von Nebentätigkeiten 0,00 %-8,33 % in verschiedenen Tests	keine Warteschlange modelliert; Wartezeit wird berechnet als Delta zwischen Ankunftszeitpunkt und Zeitpunkt des Termins	variable; log-normalverteilt mit auf 1 genormten Mittelwert und weiterer Testwerten	keine
[Sickinger 2008]	ja, p = 0,01; 0,16	ja, Patienten ohne Termin (stationäre) p=0,8/0,4 und Notfälle mit p = 0,09/ 0,1	pünktlich	pünktlich	3 Varianten: FCFS; Linear Capacity Allocation; Random Selection; Notfälle werden bevorzugt behandelt	konstant	keine Angaben
[Wijewickrama & Takakuwa 2008]	ja, p = 0,00; 0,05	keine walk-in, keine Notfälle	pünktlich; 10 Min. zu früh	pünktlich	Warteschlangen wurden modelliert, Patienten werden entsprechend dem Eintreffen abgearbeitet (FCFS)	variabel	neue Patienten (same day) / (wieder) einstellte Patienten (Basis der Klassifikation ist voraussichtliche Servicedauer)
[Westeneng 2007]	ja, p = 0,05	ja, Notfälle - negative Exponentialverteilung mit mittlere Ankunftszeit von 171,9 Minuten	Normalverteilung, Patienten sind im Mittel 12,9 Min. zu früh	Normalverteilung, Patienten sind im Mittel 3,7 Min. zu spät am Morgen und 5,9 Min. am Nachmittag	In Bezug auf die dynamische Planung werden die Patientenfragen nach dem FCFS-Prinzip abgearbeitet; Patienten werden entsprechend ihrem Termin aus der Warteliste bearbeitet (first appointment/first-served); Patienten mit Verspätung werden übersprungen und nächst möglich nach deren Ankunft abgearbeitet.	variabel je Klasse der Untersucher und Art der Maßnahme, Gammaverteilung	7 Patienten-klassen auf Basis des Ablaufpfades; neu und Wiederkehrer (Servicedauer)

Tab. 4: Literaturübersicht zur ambulanten Aufnahmeplanung (Teil 4/4)

3.2 Stationäre Aufnahmeplanung

Helm et al. [2010, S. 2388] stellen fest, dass es deutlich weniger Arbeiten im Bereich der stationären Aufnahmeplanung (inpatient admission) gibt. Häufig erfolgt dies als reine Kapazitätsplanung bezogen auf die Bettenressourcen.

Milsum et al. [1973, S. 655 ff.] geben einen Überblick der Arbeiten zur Planung von stationären Patientenaufnahmen und der Bettenressourcen für den Zeitraum 1962 – 1970. Hierbei differenzieren sie nach der verwendeten Einbestellungsregel, der eingesetzten Methodik (Simulation, Queuing, Markov-Ketten, Linear Programming), den Zielkriterien, den gewählten Ankunfts- und Entlassungsverteilungen (mit/ohne Notfälle) sowie der Abbildung der Servicezeiten. Die aufgeführten Arbeiten gehen von einer Vielzahl von Annahmen aus [Milsum et al. 1973, S. 659]:

- Betrachtung einer losgelösten Station (single station),
- zwei Arten von Patienten (geplante und Notfälle),
- Liegezeit wird als eine zusammenhängende Variable gesehen (unabhängig von Maßnahmen zur Liegezeit),
- gleiche, homogene Bettentypen,
- Zugangsraten für geplante und Notfallpatienten sind unabhängig voneinander und unabhängig von dem Systemzustand,
- Ankunftsraten sind unabhängig von saisonalen Schwankungen oder dem Wochentag,
- Entlassungen, Verlegungen und Todesfälle werden als Abgänge nicht differenziert (oder Verlegungen und Todesfälle bleiben unberücksichtigt),
- Unannehmlichkeiten der Patienten werden nicht berücksichtigt
- einziges einschränkendes Kriterium für die Aufnahmeplanung ist die Anzahl verfügbarer Betten (Verfügbarkeit anderer Ressourcen wird unterstellt),
- keine Priorisierung bei der Patientenauswahl (Allokationsentscheidung),
- ein Patient wird mit einer Art durchzuführender Maßnahme aufgenommen,
- keine Berücksichtigung von no-show-Ereignissen (alle Patienten kommen an),
- jede stationäre Aufnahme bei Tage wird erst im Anschluss an die erfolgten stationären Entlassungen durchgeführt,
- statische Modelle (keine Veränderungen von Aufnahmezeiten oder Einbestellungsregeln).

Smith-Daniels et al. [1988] geben einen Überblick der Arbeiten mit Blick auf das Kapazitätsmanagement im Zeitraum von 1965 - 1986. In ihrer Aufstellung wird in mittel und langfristige Akquisitions- (z.B. Größenauslegung der Bettenstation/Ambulanz) und kurzfristige Allokationsentscheidungen (z.B. Allokation von Ressourcen in Bezug auf einen Patienten an einem definierten Tag) differenziert

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

[Smith-Daniels et al. 1988, S. 890 f.]. Eine Vielzahl der aufgeführten Ansätze nutzen analytische Methoden [Smith-Daniels et al. 1988, S. 894] und sind durch die getätigten Annahmen stark limitiert. Smith-Daniels et al. stellen fest, dass nur wenige der aufgeführten Arbeiten implementiert wurden [Smith-Daniels et al. 1988, S. 914] und die stationäre Aufnahmeplanung effizienter sein könnte, wenn darüber hinausgehende Ressourcen, wie Pflegekräfte oder OP-Räume, berücksichtigt würden [Smith-Daniels et al. 1988, S. 897, 899].

Gemmel & van Dierdonck [1999] führen die Entwicklung in der Literatur weiter aus, bis zum Jahr 1999. Es werden Arbeiten aufgeführt, welche eine verteilte Einbestellung (durch die Ärzte) und eine zentralisierte Einbestellung untersuchen [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 865]. Ferner werden Wartelisten in die Betrachtung einbezogen. Mit Hilfe dessen werden Patienten geführt, welche einen Termin angefragt haben, denen aber noch kein Termin zugewiesen wurde [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 866]. Dies vergrößert den Planungsfreiraum (Freiheitsgrad). Es werden in den betrachteten Arbeiten Einbestellungsregeln entworfen, welche eine Priorisierung resp. ein regelbasiertes Umgehen mit unterschiedlichen Patienten in Bezug auf Notfälle, dringende Patienten und geplante Patienten vollziehen [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 866]. In späteren Arbeiten werden Patientenklassifizierungen und das Abschätzen des voraussichtlichen Auftretens von Notfällen weiterverfolgt, um dies bei der Einbestellungsplanung zu berücksichtigen [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 867 f., 870]. Auch Gemmel & van Dierdonck führen aus, dass die Einbeziehung der Arbeitslast von Pflegekräften sowie der OP-Kapazität in der Einbestellungsplanung zu einer besseren Performance führen könne [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 866]. Sie stellen die Einbestellungspraxis von Krankenhäusern den bestehenden Arbeiten gegenüber und unterstreichen, dass maßgeblich die Lücke zwischen Theorie und Praxis ursächlich dafür ist, dass nur wenige Arbeiten in der Praxis umgesetzt wurden [Gemmel & van Dierdonck 1999, S. 868, 876 f.] (Mangel an Detailkomplexität).

Weitere Arbeiten nutzten die Simulationsmethodik, um die Komplexität des Netzwerks an Ressourcen abzubilden und den über den Zeitverlauf dynamischen Patientenanforderungen gerecht zu werden. Der Ansatz von Vissers et al. [2007] kann hierzu gezählt werden. Diese entwickelten einen Rahmen zum vergleichenden Testen von verschiedenen Einbestellungsverfahren. Im Zuge dessen schlugen sie eine Problemstrukturierung vor, welche als Prototyp in ein Simulationsmodell eingeht. Das so entworfene Modell berücksichtigt die unterschiedlichen Kapazitäten von Normalbetten, Intensivbetten, OP-Räumen, Pflegekräften und Spezialisten. Das implementierte Konzept sieht eine Differenzierung in planbare, dringende und Notfallpatienten vor, im Modell werden aber zunächst dringende und

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Notfallpatienten, als nicht-geplante Patienten, zusammengefasst. Mit Hilfe des Modells werden Tests von folgenden, als „service-concepts“ bezeichneten, Aufnahme- und Zielstellungen durchgeführt: maximale Ressourcenauslastung, Null-Wartezeiten (alle Patienten wie Notfallpatienten), koordinierte Terminvergabe, unkoordinierte Terminvergabe [Vissers et al. 2007, S. 1296]. Diese beinhalten eine unterschiedlich starke Einbeziehung der Ressourcenbelastung durch einzubestellende Patienten (keine/teilweise/vollständige). Ebenso werden Notfälle unterschiedlich stark in die Planung einbezogen (mit/ohne Reservierungen). Die verbleibenden Kapazitäten werden an elektive Patienten vergeben. Je nach Strategie wird mit und ohne Warteliste gearbeitet. Die Planung bezieht sich auf Wochentage. Es erfolgte somit eine Differenzierung in Wochentage und Wochenende. Eine Variation der Ressourcen am Wochenende erfolgte nicht [Vissers et al. 2007, S. 1298]. In Bezug auf das Eintreffen werden die Ankunftszeiten zwischen Tag- und Nachtzeiten variiert. Die Anzahl von geplanten Patienten und Notfallpatienten wird jeweils mit 50 % des Gesamtaufkommens angegeben. Die Abläufe für geplante und Notfallpatienten werden als gleich angenommen. Zum Zeitpunkt der Planung ist bekannt, ob ein Notfallpatient ein Intensivbett benötigt oder nicht. Liegezeiten sind stochastisch. OP-Zeiten werden als statisch eingestellt und ebenfalls für beide Patientengruppen gleich angenommen. Hinsichtlich der Notfälle erfolgt aber eine priorisierte Abarbeitung innerhalb des Modells. Geplanten Patienten wird bei Vollausslastung abgesagt und ein neuer Aufnahmetermin vergeben (siehe [Vissers et al. 2007, S. 1296–1298] zu den Annahmen). Unpünktlichkeit, no-show Ereignisse oder anderweitige Störungen wurden nicht erwähnt. Im Ergebnis wird u.a. festgestellt, dass Reservierungen von Notfällen die Wartezeit der geplanten Patienten verlängern, im Gegenzug aber die Varianz der Bettenauslastung reduzieren [Vissers et al. 2007, S. 1300]. Es wird festgestellt, dass die erzielten Ergebnisse mit dem einfachen Ziel der maximalen Ressourcenauslastung ähnlich gut sind, wie bei der koordinierten Terminvergabe. Der Mehrwert der koordinierten Terminvergabe liegt in der Transparenz des im Voraus bekannten Termins [Vissers et al. 2007, S. 1300]. Die Konzepte der maximalen Ressourcenbelegung und der koordinierten Terminvergabe zeigten im Vergleich die beste (Gesamt-)Performance bei einer hohen Ressourcenauslastung. Für zukünftige Arbeiten wird der richtige Umgang mit Notfällen als Schlüssel für ein erfolgreiches Planungskonzept genannt [Vissers et al. 2007, S. 1300].

Helm et al. [2010] stellen in ihrer Arbeit einen Rahmen (Framework) zur Optimierung der Aufnahmeplanung mittels eines Genetischen Algorithmus vor. Gegenstand der Betrachtung sind auch hier ausschließlich stationäre Patienten. Es wird in der Betrachtung differenziert in planbare Patienten und Notfallpatienten. Weitere Unterteilungen erfolgen nach dem Zeitpunkt des Auftretens im Tagesverlauf

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

(a.m./p.m.) und zu welcher Station die Patienten im Verlauf des Aufenthaltes als erstes Kontakt haben. Im Modell werden 23 Stationen abgebildet, welche in 3 Gruppen zusammengefasst werden: „surgical“ (chirurgisch), „medicinal“ (medizinisch) und „critical-care“ (intensiv). In der Optimierung werden 42 Entscheidungsvariablen definiert, welche die Planungsregeln der Patienten spezifizieren, mit dem Ziel, die Stornierungen von geplanten Patienten und die Rückweisung von Notfällen zu minimieren. Im Ergebnis werden pareto-effiziente Verläufe zwischen den Kennzahlen aufgezeigt. Zum einen können damit Punkte, die nicht auf den pareto-effizienten Verläufen liegen, in der Lösungsfindung ausgeblendet werden, zum anderen soll es den Kliniken damit möglich sein, an Hand der individuellen Gegebenheiten und Gewichtungen der eigenen Ziele, die Lösungen an den Pareto-Kurven abzuleiten.

Eine weitere Arbeit auf diesem Gebiet ist von Bekker & Koelemann [2011], welche das Ziel verfolgen, die Varianz in den Bettenerfordernissen auf Basis einer effizienten Einbestellungsregel mittels ganzzahliger (linearer) Optimierung zu reduzieren. Sie differenzieren in der Betrachtung zwischen den einzelnen Wochentagen, welche speziell in Bezug auf die Wochenenden eine reduzierte Kapazität aufweisen. Darüber hinaus werden verschiedene Patiententypen betrachtet und diese mit variablen Liegezeiten bedacht. Es gibt bereits ein rudimentäres Routing (Verlegungslogik) innerhalb von 2 Stationen (Warteschlangen).

Helm & van Oyen [2014] stellen einen analytischen Modellansatz zur Aufnahmeplanung auf den Stationen vor, unter Einflussnahme von Notfällen. Hierbei wird ein Modell aus dem Bereich der ganzzahligen linearen Optimierung (diskreten Optimierung) entworfen. Für die Abbildung des Patientenflusses wird ein stochastisches Prozessmodell eingesetzt. Im Rahmen ihrer Arbeit wurden die Patientenaufnahmen auf den Stationen im Zeitverlauf betrachtet und größere Ausschläge, innerhalb einer Woche wie auch über das Jahr gesehen, festgestellt. Dies wurde zu Teilen auf den Patientenzufluss aus dem Bereich der Notfallaufnahme als auch auf die Varianz im Zulauf elektiver Patienten festgestellt. Im Rahmen ihrer Arbeit wurde angestrebt, eine gleichmäßigere Auslastung zu erreichen und die Anzahl der Patienten auf den Stationen zu maximieren. Hierbei wurde nicht auf einen Einbestellungszeitpunkt, sondern auf den möglichen Umfang an Patienten je Tag abgestellt (rein mengenmäßige Betrachtung). Im methodischen Ansatz wird von „Cancelation“ und „Blockages“ gesprochen. Dies bezeichnet Stornierungen bei geplanten Patienten und Abweisungen von Notfällen (verbleiben auf der Notaufnahmestation), welche auftreten, wenn die Kapazitäten auf den Stationen ausgeschöpft sind. Basierend hierauf, ist der Algorithmus bestrebt, die Anzahl der blockierten/abgewiesenen, somit nicht mehr im Rahmen der verfügbaren Kapazitäten möglichen, Patienten, zu minimieren (siehe Abb. 17).

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

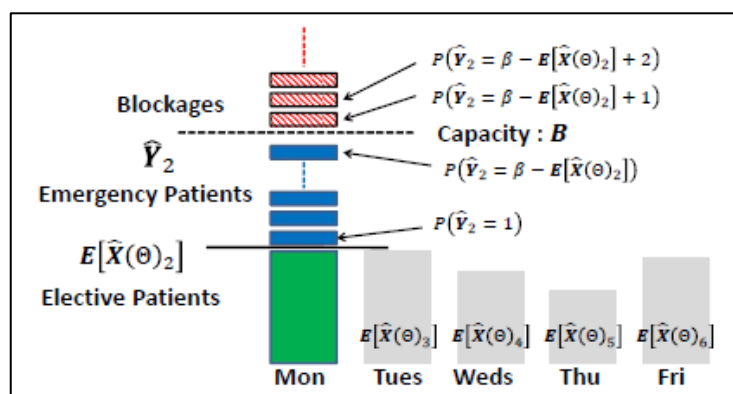


Abb. 17: Verteilung der Kapazitäten im Optimierungsansatz nach Helm & van Oyen [2014, S. 20]

Der entwickelte analytische Ansatz wurde mittels eines bereits bestehenden Simulationsmodells einer mittelgroßen klinischen Einrichtung (nicht lehrbeauftragt) getestet und validiert. Im Simulationslauf konnte eine Reduktion der abgelehnten Patienten um 32 % und damit verbunden ein zusätzliches Volumen von 6 Patienten pro Woche (ca. 2,1 %) eingeplant werden. Die Ressourcenauslastung auf den Stationen wurde auf ca. 90 % angehoben. Eine zeitliche Reihenfolgeplanung oder weiterführende Differenzierung der Patienten wird nicht durchgeführt. Die Umsetzung des Optimierungsziels in einem analytischen Modell hat den Vorteil einer exakten Lösung auf dem gewählten Abstraktionsniveau. Dies unter dem Vorbehalt einer beherrschbaren Komplexität. Mit dem vorgestellten Ansatz geht ein hohes Abstraktionsniveau, z.B. in Bezug auf die rein mengenmäßige Betrachtung, einher.

Weitere Arbeiten sind in der nachfolgenden Aufstellung aufgeführt (siehe Tab. 5 - Tab. 6). Die Strukturierung wurde in Anlehnung an die Übersicht bei der ambulanten Aufnahmeplanung gewählt (siehe Tab. 1 - Tab. 4). Es wird damit auch die Berücksichtigung von Störgrößen, wie no-show, Unpünktlichkeit und von Notfällen aufgeführt (Detailkomplexität), auch wenn diese in den Arbeiten zur stationären Aufnahmeplanung nur sehr eingeschränkt berücksichtigt werden und dies somit wiederkehrend zu „keine Angaben“ in der Aufstellung führt²⁴. Ein Vergleichskriterium wurde in der folgenden tabellarischen Übersicht ergänzt. Hierbei handelt es sich um den Sachverhalt, ob ein Transfer zwischen den Stationen abgebildet wurde, sofern mehr als eine Station betrachtet wird. In der Realität ist z.B. der Transfer zwischen der Normalstation zu einer Intensivstation und umgekehrt häufig zu beobachten. Entsprechend stellt dies ein Merkmal in Bezug auf die Realitätsnähe der Modelle dar (Detailkomplexität).

²⁴ Dies bezieht sich darauf, dass im jeweiligen Fall, zu dem betreffenden Punkt keine Angabe in der jeweiligen Literatur gefunden wurde. Dennoch bleibt die Möglichkeit bestehen, dass dies nur nicht (explizit) beschrieben wurde.

Literaturreferenz	Modellklasse / Art der Studie	Patienten	Spezifika der Planung und Planungsparameter	Einbestellungs-/Reihenfolgeregel der Termin-/Bettenvergabe	stage/server	Transfer
[Meng et al. 2015]	mathematisches Simulationsmodell numerische Experimente	stationäre Patienten	Anzahl (Kontingent) der elektiven Patientenzugänge in Abhängigkeit von der erwarteten Menge an Notfällen und der verfügbaren Bettenkapazität. Die Unterdeckung der Betten soll vermieden werden (shortfall). Die Planung erfolgt auf Tagesbasis.	rein mengenmäßige Betrachtung je Planungstag (Kapazitätsplanung)	single-stage; multi-server	nein
[Helm & van Oyen 2014]	analytisch mittels mathematischem Modell; Simulationsmodell für Test und Validierung	stationäre Patienten	Anzahl an Patienten in Abhängigkeit von der erwarteten Menge an Notfällen und der verfügbaren Bettenkapazität (maximum elective admission); Anzahl geplanter Aufnahmen je Wochentag, so, dass möglichst wenig Patienten (geplante/Notfälle) abgelehnt werden (minimum blockages)	rein mengenmäßige Betrachtung je Planungstag	multi-stage; multi-server	ja
[Bekker & Koeleman 2011]	mathematisches Modell, numerische Experimente	stationäre Patienten	Optimale Anzahl elektiver Aufnahmen, je Patientengruppe (nach Liegezeiten), je Wochentag ist gesucht; keine Terminplanung. Szenarien der Planung beinhalten mit/ohne Reduktion der Bettenkapazitäten zum Wochenende;	rein mengenmäßige Betrachtung je Planungstag	multi-stage; multi-server	ja
[Helm et al. 2010]	mathematisches Simulationsmodell mit Metaheuristik zur Optimierung	stationäre Patienten	metaheuristische Einbestellungsplanung (Genetischer Algorithmus) für elektive Patienten je Tag; Ziel: hohe Effizienz der Klinik (Kostenfunktion); Planung beinhaltet: Anzahl an Betten, welche für späte Notfälle freigehalten werden; Anzahl freier Betten, bis zu welcher zusätzliche Patienten aus der Warteschlange (call-in queue) bedient werden;	rein mengenmäßige Betrachtung je Planungstag	multi-stage; multi-server	ja
[Mazier et al. 2010]	mathematisches Simulationsmodell mit Szenarientests	stationäre Patienten,	Planung basiert auf der Ermittlung der Anzahl an Betten für elektive Patienten unter unbestimmt auftretenden Notfällen; Ziel: patientenbezogene Kosten (Wartezeit) und Kosten von Überkapazitäten sind zu minimieren; vier Planungsansätze werden gegeneinander ausgetestet. (1) approximated average number of unknown patients, (2) Service ratios-based strategy, (3) Monte Carlo optimization approach, (4) Basic method	rein mengenmäßige Betrachtung je Planungstag; Einplanung zu dem spätesten möglichen Tag - binnen 1 oder 3 Tag(en); bereits geplante Patienten können/können nicht neue geplant werden; weiterer Test: zufällige Einplanung neuer Patienten	single-stage; multi-server	nein
[Dellaert & Jeunet 2010]	mathematisches Simulationsmodell, numerische Experimente	stationäre Patienten	Planung mittels übergeordnetem Masterplan (master surgical schedule), welcher Slots für verschiedene Patientengruppen vorsieht. Ziel ist eine gleichmäßige Auslastung der Bereiche; Patienten werden in Bezug auf voraussichtliche Liegezeit und nachgelagerter Anforderungen geplant; Szenarien: 2 Arten von slack planning (Planung von Leerzeiten); 3 Arten von Flexibilität - Patienten können/können nicht entgegen der Planung im Masterplan eingeplant werden; 3 Arten der Anpassung der Planung im zeitlichen Abstand bezogen auf Anzahl einzuplanender Patienten je Patientengruppe	rein kapazitätsmäßige Betrachtung je Planungstag entsprechend der Vorgaben aus dem Masterplan, werden die Patienten operativ eingeplant. Die Einplanung erfolgt auf 3 Arten: entsprechend der im taktischen Plan vorgesehenen Patientengruppen (no flexibility); Patienten mit längster Wartezeit (full flexibility); erst geplante Gruppen, danach mit längster Wartezeit (large flexibility)	multi-stage; multi-server	ja
[Vissers et al. 2007]	mathematisches Simulationsmodell mit Szenarientests	stationäre Patienten	Entwicklung einer Plattform zum Vergleich von Servicekonzepten (strategischer Ebene): Austesten verschiedener Servicekonzepte mittels Simulation; Servicekonzepte: maximale Ressourcenauslastung; Null-Wartezeiten (alle Patienten wie Notfallpatienten); koordinierte Terminvergabe; unkoordinierte Terminvergabe	früherster möglicher Tag unter Berücksichtigung (je nach Szenario) von einzubeziehenden Ressourcenkapazitäten; je nach Szenario werden zunächst Kapazitäten für Notfälle reserviert	multi-stage; multi-server	ja

Tab. 5: Literaturübersicht zur stationären Aufnahmeplanung (Teil 1/2)

Literaturreferenz	no-show	Patienten ohne Termin "walk-in"(inkl. Notfälle)	Pünktlichkeit der Patienten/Ärzte	Berücksichtigung weiterer Ressourcen (außer Bettenkapazität)	Prinzip der Abarbeitung der Warteschlange	Liegezeiten (konstant/variabel)	weitere Patientenklassifikation
[Meng et al. 2015]	keine Angaben	ja, Notfälle mittels Ziehen aus den Realdaten	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	variabel	keine
[Helm & van Oyen 2014]	keine Angaben	ja, Notfälle mittels Poissonverteilung	keine Angaben	keine Angaben	FCFS, Notfällen wird eine reservierte Menge an Betten vorgehalten	variabel	nach Behandlungsfokus (z.B. Kardiologie, Neurologie)
[Bekker & Koeleman 2011]	keine Angaben	Ja, Notfälle mittels Poissonverteilung	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben	variabel (Exponentialverteilung)	ja, mit unterschiedlichen phase-type und Liegezeitverteilungen
[Helm et al. 2010]	keine Angaben	ja, Notfälle mittels Poissonverteilung / ungeplante Aufnahmen (z.B. Verlegungen)	keine Angaben	keine Angaben	Notfälle werden auf reservierte Betten zugewiesen (FCFS), nachdem geplante Aufnahmen erfolgt sind, werden zusätzliche Bettenanfragen (call-in) bedient (FCFS)	variabel	nach chirurgisch, medizinisch und kritisch; nach dem zeitlichen Auftreten (am/pm)
[Mazier et al. 2010]	keine Angaben	ja, Notfälle und dringende Patienten (Aufnahme binnen 3 Tagen) mittels Poissonverteilung	keine Angaben	keine Angaben	keine Warteschlange modelliert	variabel (Betaverteilung)	nach voraussichtlichen Liegezeiten (Liegezeit für Notfälle ist länger als für reguläre Patienten)
[Dellaert & Jeunet 2010]	keine Angaben	ja, Notfälle werden im Modell eingesteuert, in der Planung nicht direkt bedacht	keine Angaben	ja, Operationssaal; Pflegekräfte der Intensivstation (indirekt)	FCFS; Abarbeitung entsprechend der im Masterplan vorgesehenen Verfügbarkeiten resp. den Möglichkeiten der flexiblen Belegung mit Patienten aus anderen Gruppen.	variabel	nach beanspruchten Ressourcen (Operationssaal, Intensivstation) und Dauer (Liegezeit, OP-Maßnahme)
[Visser et al. 2007]	keine Angaben	ja, Notfälle und dringende Patienten (zusammen) mittels Poissonverteilung	keine Angaben	Normalbetten, Intensivbetten, OP-Kapazität, Pflegekräfte und Spezialisten	keine Angaben	variabel	Indirekt, nach der Beanspruchung der Ressourcen (z.B. mit/ohne Intensivbett)

Tab. 6: Literaturübersicht zur stationären Aufnahmeplanung (Teil 2/2)

3.3 OP-Planung

In Bezug auf die OP-Planung geben Magerlein & Martin [1978] einen Literaturüberblick bis zum Jahr 1976. Sie führen aus, dass bis dato die Mehrzahl der Kliniken von einer offenen Planungsstrategie ausgeht (open scheduling), bei der die Belegung im OP nach der first-come, first-served Regel erfolgt [Magerlein & Martin 1978, S. 420]. Hierbei geschieht die Planung auf einer festgelegten maximalen Anzahl an Maßnahmen je Tag, auf der maximal verfügbaren OP-Kapazität oder es gibt keine derartigen Beschränkungen [Magerlein & Martin 1978, S. 420]. Diese Art der Planung wird in der Praxis als teils stark variierend in Bezug auf die OP-Auslastungen beschrieben, da z.B. zusätzlich zu Notfällen auch Nachmeldungen unter dem Tag erlaubt sind [Magerlein & Martin 1978, 420 f.]. Auf der Basis dessen lag im Schnitt die OP-Auslastung in durchgeführten Messungen im Mittel bei ca. 53 % [Magerlein & Martin 1978, S. 421]. Die Entwicklung brachte Vorschläge zur Begrenzung der Menge von OP-Maßnahmen/geplanten Patienten je Tag hervor, mit dem Vorschlag, nur eine Teilmenge der verfügbaren Kapazität im Voraus zu verplanen und eine Restmenge offen zu lassen, für OP-Maßnahmen, die kurzfristig (am Tag) angemeldet werden. Auch wurde bereits die Hypothese geäußert, dass eine Planung unter Berücksichtigung der zu erwartenden Dauer einer OP-Maßnahme die Varianz der Kapazitätsauslastung zu reduzieren vermag [Magerlein & Martin 1978, S. 421]. Auch bei den Planungssystemen mit dedizierten Kapazitätszuteilungen (blocked scheduling) je Operateur/Fachbereich stellt sich die Situation grundlegend wie eben geschildert dar. Der Vorteil im blocked scheduling wird darin gesehen, dass es eine höhere Transparenz gibt. Die Zeiträume, wann die Maßnahmen von den einzelnen Bereichen durchgeführt werden können, sind definiert [Magerlein & Martin 1978, S. 422]. Sofern sich die Arbeiten mit der Planung der Blöcke befassen, wird von einem Masterplan (master surgical schedule – kurz MSS) gesprochen. Es wird ausgeführt, dass einige Arbeiten bereits von positiven Effekten des blocked scheduling auf die Auslastung der OP-Räume, die Wartezeiten und die Durchlaufzeiten berichten [Magerlein & Martin 1978, S. 422].

Wie zu erkennen ist, richtet sich die Betrachtung der aufgeführten Arbeiten rein auf die Kapazitäten der OP-Räume. Daneben gibt es Arbeiten, welche weitere Kriterien in die Planung einbeziehen und damit bessere und realitätsnähere Betrachtungen ermöglichen [Magerlein & Martin 1978, S. 423 ff.]. Diese Ansätze werden als „admission scheduling systems“ aufgeführt, wie das Admission Scheduling and Control System (ASCS) von Hancock et al. oder das stochastische „B model“ von Young [Magerlein & Martin 1978, S. 423]. Einige dieser schließen neben der OP-Auslastung z.B. die Bettenkapazitäten oder die Belegung der Pflegeeinheiten als weiteres Kriterium in die Betrachtung mit ein. Magerlein & Martin [Magerlein &

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Martin 1978, S. 425] führen aus, dass Finarelli (1971) in seiner Arbeit eine Heuristik einsetzt, um auf Basis der erwarteten Liegezeit, die voraussichtliche Verfügbarkeit der Betten zur Liegezeit, die zu erwartende OP-Dauer und die verfügbare OP-Zeit den optimalen Einbestellungstermin zu ermitteln.

In der Betrachtung durch Magerlein & Martin fokussiert die Literatur bis dahin nur rudimentär die Allokationsplanung. Esogbue geht mit seiner Arbeit weg von der rein kapazitätsorientierten Betrachtung hin zu einer Termin- und Reihenfolgebetrachtung und stellt verschiedene Verfahren in einen Vergleich [Magerlein & Martin 1978, S. 427]. Goldmann et al. planen in ihrer Arbeit die Reihenfolge der Patienten auf der Grundlage der erwarteten Laufzeit: die längsten Fälle zuerst resp. die kürzesten Fälle zuerst [Magerlein & Martin 1978, S. 428]. In diesem Zusammenhang führen Magerlein & Martin [1978, S. 427 f.] den Einsatz der Warteschlangentheorie und der Simulationsmethodik auf, welche mit den Arbeiten zur Allokationsplanung verstärkt genutzt werden.

Magerlein & Martin [1978, S. 423 f.] stellen fest, dass die Modelle der OP-Planung an der Komplexität, dem Problem die Einflussfaktoren der Realität abzubilden und die Modelle zu validieren, scheitern. Entsprechend sind die Ansätze zur OP-Planung weitestgehend nicht implementiert [1978, S. 424, 431]. Die Ergebnisse sind problemspezifisch und nicht allgemeingültig.

Blake & Carter [1997] führen einen Literaturreview zur OP-Planung mit Arbeiten bis zum Jahr 1995 durch. Hierbei halten sie fest, dass die Einbeziehung von weiteren Bereichen (wie Stationsbetten oder Intensivstationen) bis dato nur unzureichend erfolgt [Blake & Carter 1997, S. 28].

Cardoen et al. [2010] geben in einem sehr umfangreichen Literaturreview für den Zeitraum 1950 - 2009 einen Überblick über 247 veröffentlichte Arbeiten. Hierbei wird im Speziellen die OP-Planung betrachtet, in Bezug auf eine alleinige oder z.B. mit der stationären Aufnahme verbundene Planung. Es wird festgestellt, dass fast die Hälfte dieser nach dem Jahr 2000 datieren, was das zunehmende Interesse der Wissenschaftler in diesem Bereich widerspiegelt [Cardoen et al. 2010, S. 923]. Cardoen et al. beziehen sich in ihrem Review auf die Patientencharakteristik (Patientenklassifikation), Bewertungskriterien (Zielkriterien), die Ebene der Entscheidungsregeln (Datum, Zeit, Raum, Kapazität), die Untersuchungsmethodik, die Einbindung von Unsicherheiten und die Umsetzbarkeit der Lösungsansätze.

Ambulante und stationäre Patienten als mögliche Klassifikation besitzen unterschiedliche Unsicherheiten, Störanfälligkeiten und Ablaufverhalten. Ein

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Großteil der Arbeiten geht dennoch auf dieses Unterscheidungsmerkmal nicht ein [Cardoen et al. 2010, S. 923]. Andan & Vissers [2002] gehen in ihrer Arbeit auf dieses Unterscheidungsmerkmal ein und betrachten stationäre und ambulante Patienten, wobei ambulante Patienten hierbei als stationäre Patienten mit nur einem Tag Aufenthalt behandelt werden. Auf der Basis dessen wurden Unterschiede im Ablauf berücksichtigt, z.B. bedürfen ambulante Patienten in der Planung weniger wahrscheinlich eines intensivstationären Bettes in Folge einer OP-Maßnahme [Cardoen et al. 2010, S. 922]. Auch Marcon & Dexter (2006) gehen in ihrer Arbeit auf die Differenzierung von Patienten ein und testen auf dieser Basis sieben Reihenfolgeregeln, u.a. in Bezug auf die erwartete Liegezeit [Cardoen et al. 2010, S. 922 f.]. Ebenso wurde in der weiteren Entwicklung auf die Möglichkeit der Berücksichtigung von nicht-elektiven Patienten eingegangen, z.B. wurde durch Wulling et al. (2007) mittels Simulation (diskret-event) betrachtet, ob es sinnvoller ist eine dedizierte Ressource, wie einen OP-Raum, für Notfälle abzustellen oder das Aufkommen über alle OP-Räume zu verteilen. Letzteres wurde als effizienter erkannt [Cardoen et al. 2010, S. 922]. Obwohl nicht-elektive Patienten die Planung nachweislich maßgeblich beeinflussen, berücksichtigt die Mehrzahl der Arbeiten lediglich planbare Patienten [Cardoen et al. 2010, S. 923].

Bezogen auf die Zielkriterien führen Cardoen et al. acht Kennzahlen auf (u.a. Wartezeit der Patienten, Über-/Unterauslastung der Ressourcen, Varianz der Auslastung), welche in der Mehrheit der betrachteten Arbeiten gegenständlich sind [Cardoen et al. 2010, S. 923 f.].

Auf der Ebene der Entscheidungsregeln zeigen Cardoen et al. auf, dass nach wie vor die Kapazitätsplanung die Mehrheit der Arbeiten ausmacht [Cardoen et al. 2010, S. 925]. Ein geringerer Umfang zielt auf die Planung eines Termins (Wochentags und/oder die Uhrzeit) ab. Nur die Arbeit von Chaabane et. al. (2006) wird aufgeführt, welche vier Ebenen (Kapazität, Raum, Datum und Ort) in Bezug auf die Planung der Patienten berücksichtigt [Cardoen et al. 2010, S. 923, 925]. Der Arbeit ist jedoch zu eigen, dass sich diese ausschließlich (isoliert) mit der OP-Ressource befasst [Cardoen et al. 2010, S. 926]. Diese isolierte Betrachtung ist nach der Aufstellung von Cardoen et al. [2010, S. 926] in den Arbeiten zur OP-Planung vorherrschend. Nur ein geringer Anteil (12) der aufgeführten Arbeiten betrachten die Normalstation und die Intensivstation in Kombination mit der OP-Planung.

Hinsichtlich der Untersuchungsmethode ist die Mehrzahl der Arbeiten (50) auf die mathematische Programmierung ausgerichtet. Neben diesen, nutzen 38 Arbeiten die Simulationsmethodik [Cardoen et al. 2010, S. 927]. In Bezug auf die Optimierung

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

stellen 15 Arbeiten auf eine Metaheuristik (5 x Simulated Annealing, 2 x Tabu Search, 2 x Genetische Algorithmen) ab [Cardoen et al. 2010, S. 927].

Betreffend der Berücksichtigung von Unsicherheiten sind 47 Arbeiten deterministisch ausgerichtet und 49 Arbeiten stochastisch [Cardoen et al. 2010, S. 928]. Lediglich drei Arbeiten hiervon berücksichtigen sonstige Unsicherheiten (z.B. in den Ressourcen). Die restlichen verteilen sich auf die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Ankunft der Patienten und der Dauer der Maßnahmen [Cardoen et al. 2010, S. 928].

In der jüngeren Entwicklung stellt Knoeff [2010] ein Planungssystem zur Effizienzsteigerung im OP und zur Verbesserung der Bettenauslastung der chirurgischen Station unter Berücksichtigung von begrenzten Ressourcen, wie OP-Instrumenten und Stationsbetten, vor. Hierbei wird eine hierarchische Struktur verfolgt (siehe Abb. 18). Ausgehend von einem aufzustellenden Master Surgical Schedule, welcher ein allgemeingültiges Planungsmuster (Slots) auf der Basis wiederkehrender und vergleichbarer Maßnahmen unterstellt, erfolgt die Erstellung eines initialen OP-Plans durch die Anwendung verschiedener Heuristiken [Knoeff 2010, S. 48 ff.]. Im Weiteren wird der initiale OP-Plan mittels einfacher Tausch-Methoden versucht zu verbessern [Knoeff 2010, S. 53 ff.].

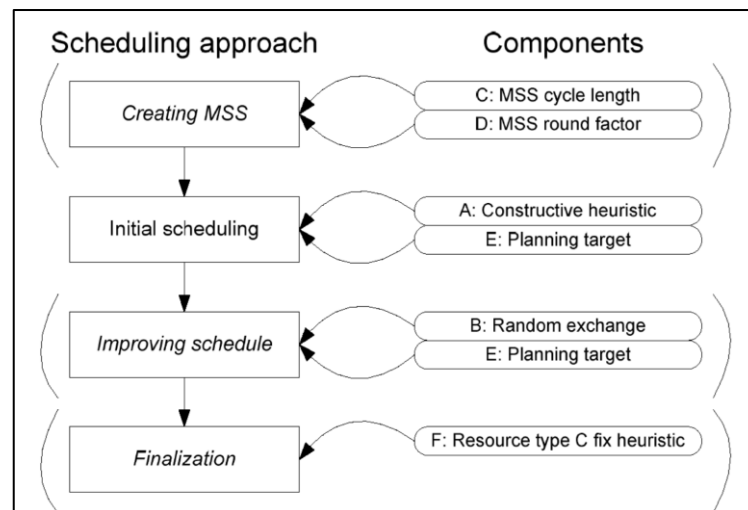


Abb. 18: Strukturierung der Planung nach Knoeff [2010, S. 63]

In verschiedenen Testszenarien wurden mittels ereignisgesteuerter Simulation die eingesetzten Heuristiken variiert, ausgetestet und gegenübergestellt. Bei der Planung wurden verschiedene Klassen von Patienten betrachtet, welche danach differenziert sind, wie deren Verlauf ist und ob diese am Tag der Aufnahme oder am Folgetag die OP-Maßnahme haben [Knoeff 2010, S. 18 ff.]. Die Planung berücksichtigt ambulante und stationäre Patienten, welche jeweils einen Vermerk haben, bis wann diese spätestens einzuplanen sind (Deadline). Notfälle werden nicht direkt eingeplant (z.B.

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

im Voraus durch Puffer oder Reservierungen), aber im Modell abgebildet und beeinflussen damit die Planung indirekt [Knoeff 2010, S. 35]. Der Zeitpunkt der Startpunkte der OP-Maßnahme ergibt sich in der Planung aus der Reihenfolge der Maßnahmen und deren hinterlegte Dauer. Mit dem geschilderten Vorgehen konnten 83 % der Maßnahmen direkt den geplanten Slots des Masterplans zugewiesen werden. Die Mehrarbeitszeit und Leerlaufzeit konnte auf Basis dessen im Modell deutlich reduziert werden.

Riise & Burke [2011] stellen einen metaheuristischen Ansatz zur Planung von OP-Maßnahmen vor, welcher auf beide Ebenen der Planung (advance scheduling & allocation scheduling) eingeht. Die Planung bezieht sich auf elektive Patienten [Riise & Burke 2011, S. 395]. Als kritische Ressourcen werden die OP-Räume und die OP-Ärzte in die Planung einbezogen [Riise & Burke 2011, S. 395]. Die Problemstellung wird als mathematisches Modell formuliert (diskretes Zeitmodell) [Riise & Burke 2011, S. 395]. Zielgrößen der Optimierung sind: eine minimale Wartezeit der Kinder vor der OP am Morgen, minimale Wartezeit der Patienten und minimale Mehrarbeit der OP-Ärzte [Riise & Burke 2011, S. 396]. Es wird als Kennzahl explizit auf die Wartezeit der Kinder abgestellt, um die Zeit, in der diese nüchtern sind, so gering wie möglich zu halten. Es wird ausgeführt, dass umso jünger die Kinder sind, die Nüchternheit mit zunehmender Wartezeit problematischer wird. Entsprechend werden die Kinder auf Termine am frühen Morgen hin bevorzugt und die Kennzahl der Wartezeit direkt der Optimierung zugeführt. Das Ziel, alle Patienten so früh wie möglich einzuplanen bleibt davon unberührt. Für jeden Patienten wird ein maximaler Zeitpunkt geführt, bis zu welchem ein Termin vergeben werden muss.

Die initiale Lösung wird mittels Greedy Strategie aufgestellt und durch eine Nachbarschaftssuche verfeinert [Riise & Burke 2011, S. 400]. In Bezug darauf werden verschiedene Testszenarien definiert, berechnet und einander gegenübergestellt. Für die Arbeit lagen keine Realdaten, z.B. in Bezug auf Bearbeitungszeiten, vor. Unsicherheiten in der Planung, z.B. auf Grund von Notfällen oder Unpünktlichkeit etc., wurden nicht berücksichtigt.

Ghazalbash et al. [2012] ersuchen mittels eines gemischt ganzzahligen Modells einen optimalen OP-Plan für elektive, chirurgische Fälle auf Tagesbasis zu erstellen. Der Ansatz verfolgt eine open scheduling Strategie [Ghazalbash et al. 2012, S. 2]. In ihrer Betrachtung gehen Ghazalbash et al. auf die spezifischen Anforderungen einer Lehrereinrichtung ein [Ghazalbash et al. 2012, S. 10]. Bei der Planung werden Ressourcen, wie der OP-Raum, die Operateure und Assistenzärzte (Differenzierung in der Qualifikation), berücksichtigt (multi-server). Es erfolgt eine Differenzierung in der Art der Maßnahmen und danach, in welchen OP-Räumen welche Maßnahmen durchgeführt werden können [Ghazalbash et al. 2012, S. 10]. Patienten werden im

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Modell nach infektiös/nicht-infektiös sowie in priorisierte/nicht-priorisierte Patienten unterteilt. Die Planung bezieht sich auf die Reihenfolge der Maßnahmen und die Startzeitpunkte in Bezug auf ambulante und stationäre Patienten. Im Zuge dessen wurden 30 Instanzen mit unterschiedlicher Anzahl von Ärzten und Patienten getestet, mit dem Ziel, eine minimale Leerstandzeit der OP-Räume und den möglichst frühesten Zeitpunkt der Beendigung der letzten Maßnahme an einem Tag zu erreichen. Die Verteilungen nach den Patientenklassen, Art der Maßnahmen und Dauer dieser basierte auf historischen Werten aus einem Realsystem. Das Optimierungsmodell stellt für die 30 Instanzen einen OP-Plan auf [Ghazalbash et al. 2012, S. 10], welcher mit dem im Realsystem aufgestellten OP-Plan abgeglichen wurde. Im Ergebnis war das gemischt ganzzahlige Optimierungsmodell in der Planung besser als die Planung des im Vergleich stehenden Realsystems [Ghazalbash et al. 2012, S. 11]. Wie sich die Reihenfolge z.B. in Bezug auf ambulante oder stationäre Patienten in den einzelnen Planungen ausgestaltete, wird nicht erläutert. Auch erfolgt keine Ausführung zur Einbestellung/Einplanung der ambulanten Patienten und deren Terminausprägungen. Auf Unsicherheiten im Ablauf wird in Form der dringenden Fälle und in Bezug auf infektiöse Patienten eingegangen. Beides erfolgt jedoch ohne Angabe der Auftretenswahrscheinlichkeit.

Literaturreferenz	Modellklasse / Art der Studie	Patienten	Spezifika der Planung und Planungsparameter	Einbestellungs-/Reihenfolgeregel der Terminvergabe	stage/server
[Aringhieri et al. 2015]	mathematisches Modell zur analytischen Lösung mit metaheuristischem Ansatz zur Optimierung und numerischen Experimenten	stationäre Patienten	Zyklischer „Master“-Plan (master surgical schedule) und Vorausplanung elektiver Patienten (advanced scheduling) mit OP-Zuweisung sind Gegenstand. Aufnahmeplanung und OP-Planung werden zusammen betrachtet. Ziel: Minimierung der Wartezeiten, Minimierung der Pateinten die über das Wochenende auf Station verbleiben, bei gegebener Menge an Patienten	nach der Wartezeit und der Dinglichkeit	multi-stage/ multi-server
[Jebali & Diabat 2015]	mathematisches Modell zur analytischen Lösung mit Experimenten und metaheuristischem Ansatz	keine Angabe	Geplant werden Patienten innerhalb eines Zeithorizontes für eine OP-Maßnahme. Ziel ist eine optimale OP-Auslastung (advanced scheduling) mit elektiven Patienten, unter Berücksichtigung stoch. auftretender Notfälle, bei minimaler Wartezeit der Patienten, unter Berücksichtigung der terminlichen Präferenzen der Patienten und des Operators sowie von Deadlines und Mehrarbeit.	keine näheren Angaben	single-stage/ multi-server
[Bernardetta et al. 2014]	mathematisches Modell zur analytischen Lösung mit Experimenten	keine Angabe	Planung bezieht sich auf einen definierten Zeitblock eines Fachbereichs innerhalb eines OPs (block scheduling strategy). Es wird das advanced scheduling (Tag/OP-Ressource) betrachtet, ohne das allocation scheduling (Auswahlentscheidung/Reihenfolge). Zielstellung ist die Minimierung der Wartezeiten sowohl bei der Durchführung, als auch bei der Terminvergabe (hinterlegte Kostenfunktion). Betrachtet wird auch die Überschreitung der verfügbaren Zeitblöcke des Fachbereichs.	keine näheren Angaben	single-stage/ single-server
[Ghazalbash et al. 2012]	mathematisches Modell zur analytischen Lösung mit Experimenten	ambulante & stationäre Patienten	Planung bezieht sich auf einen flexiblen Zugriff der Fachbereiche auf die OP-Ressource (open scheduling Strategie) in Bezug auf die Termin- und Reihenfolgeplanung am OP-Tag; berücksichtigt werden spezifische Belange einer Lehrereinrichtung mit unterschiedlichen Qualifikationen bei den Ärzten; Zielstellung: minimale Leerstandzeit der OP-Räume und den möglichst frühesten Zeitpunkt der Beendigung der letzten OP-Maßnahme	Reihenfolge entsprechend der Verfügbarkeiten an erforderlichen Ressourcen	multi-stage/ multi-server
[Riise & Burke 2011]	mathematisches Modell zur analytischen Lösung	keine Angabe	Planung bezieht sich auf zwei Stufen: advance scheduling und allocation scheduling. Metaheuristische Lösungsfindung: initialer Plan mittels Greedy, weiterführende Planung mittels Nachbarschaftssuche. Ziel der Planung: siehe Einbestellungsregeln, min. Wartezeit der Patienten, min. Mehrarbeit der OP-Ärzte	frühere Termin am Morgen für junge Kinder; Patienten so früh wie möglich, Termindeadline soll für jeden Patienten eingehalten werden	single-stage/ multi-server
[Knoeff 2010]	mathematisches Simulationsmodell mit heuristischem Lösungsansatz; gefundene Lösungen werden zur Auswertung simuliert	ambulante & stationäre Patienten	zentraler Gegenstand ist eine hierarchische Planung mit aufzubauendem Masterplan (MSS) als wesentlicher Bestandteil. Planung erfolgt auf zwei Ebenen 1. Aufbau eines Plans und 2. Verbesserung dessen. Ziel: max. OP-Auslastung, gleichmäßige Bettenauslastung; Planungsvariablen: OP-Tag, OP-Raum, Startzeitpunkt	sechs heuristische Ansätze auf Basis: random fit, first fit, best fit, kürzeste Bearbeitungszeit zuerst, längste Bearbeitungszeit zuerst; unter Berücksichtigung der Deadline für die Einplanung der jeweiligen Maßnahme	multi-stage/ multi-server

Tab. 7: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 1/3)

Literaturreferenz	Modellklasse / Art der Studie	Patienten	Spezifika der Planung und Planungsparameter	Einbestellungs-/Reihenfolgeregel der Terminvergabe	stage/server
[Cardoen et al. 2009]	mathematisches Modell mit analytischem u. heuristischem Lösungsansatz und Testszenarien	ambulante Patienten	6 gewichtete Optimierungskriterien (siehe Einbestellungsregeln und gleichmäßigere Auslastung der Ressourcen) werden gemeinsam betrachtet; Planung erfolgt unter gegebenem master surgical schedule; zur Planung werden drei Ansätze mit gemischt ganzzahliger Programmierung und ein Ansatz mit branch-and-bound Heuristik gegeneinander ausgetestet in Bezug auf Performance.	Termine am frühen Morgen für Kinder <5 Jahren und priorisierte Patienten; allg. Patienten so früh wie möglich; Patienten mit Anfahrt >150 km später einbestellen; OP Termin für Patienten mit Voruntersuchungen später als der Referenzwert	multi-stage/ multi-server
[Chaabane et al. 2008]	2 mathematische Modelle zur analytischen Lösung mit Experimenten	keine Angabe	Minimierung der patientenbezogenen OP-Kosten und damit verbundener Kosten für Mehrarbeit; Zur Lösungsfindung werden 2 Planungsmethoden, hinsichtlich block-scheduling (erzeugen eines Masterplans) und open scheduling (erzeugen einer OP-Planung) eingesetzt und miteinander verglichen.	Maßnahmen werden frühestmöglich eingeplant, entsprechend der angesetzten Dauer und unter Einhaltung der spätesten Einplanung (Deadline)	single-stage/ multi-server

Tab. 8: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 2/3)

Bezeichnung der Studie	no-show	Patienten ohne Termin "walk-in" (inkl. Notfälle)	Pünktlichkeit der Patienten/Ärzte	Berücksichtigung weiterer Ressourcen (außer OP)	Prinzip der Abarbeitung der Warteschlange	Bearbeitungszeiten (konstant/variabel)	weitere Patientenklassifikation
[Aringhieri et al. 2015]	keine	Notfälle werden Kapazitätsseitig eingeplant	keine Angaben	Wochenendbetten	keine Warteschlangen modelliert	konstant	nach Dringlichkeit (keine Notfälle)
[Jebali & Diabat 2015]	keine	Berücksichtigung von Notfällen	keine Angaben	Röntgenanlage im OP (C-ARM)	keine Warteschlangen modelliert	variabel, uniformverteilt (0,5 – 3,0 h), Koeffizient für die Erfahrung der behandelnden Ärzte	mit/ohne Equipment (Röntgenanlage)
[Bernardetta et al. 2014]	keine	Berücksichtigung von fünf Dringlichkeitsstufen der Patienten	Patienten können unpünktlich sein	nein	keine Warteschlangen modelliert	variabel, logarithmisch normalverteilt	keine
[Ghazalbash et al. 2012]	keine	Berücksichtigung von priorisierten Patienten	keine Angaben	spezifische Instrumente, OP-Ärzte, Assistenzärzte	keine Warteschlangen modelliert	variabel nach Art der Maßnahme	infektiöse/nicht-infektiöse priorisierte/nicht-priorisierte Patienten
[Riise & Burke 2011]	keine	keine Betrachtung	keine Angaben	OP-Ärzte	keine Warteschlangen modelliert; Wartezeit der Patienten bezieht sich auf die Anzahl der Tage zwischen Terminanfrage und geplanter Tag der OP-Maßnahme resp. auf die Abweichung der OP-Maßnahme von einer Referenzuhrzeit.	Integerwert von Zeiteinheiten (deterministisch) – nicht näher bezeichnet	nach dem Alter der Patienten
[Knoeff 2010]	keine	Berücksichtigung von dringenden Fällen und Notfällen	keine Angaben	erforderliche Ärzte, Instrumente, Equipment und Stationsbetten	keine Warteschlangen modelliert; es wird eine Warteliste für einzuplanende Patienten geführt.	variabel je nach Art der Maßnahme, log.-normalverteilt	nach Art des Verlaufes; nach Zeitraum zwischen Aufnahme und Maßnahme
[Cardoen et al. 2009]	keine	keine Angaben	keine Angaben	Pflegekräfte, Betten der Aufwachbereiche, Instrumente/Equipment im OP	keine Warteschlangen modelliert	statisch nach Art der Maßnahme	Kinder unter 5 Jahre, priorisierte Patienten auf Grund z.B. eines verschobenen Termins; Patienten mit Anfahrt >150 km; Patienten mit erforderlichen Voruntersuchungen; Patienten mit MRSA Infektion
[Chaabane et al. 2008]	keine	keine Angaben	keine Angaben	OP-Ärzte, spez. Equipment (nur in Methode 2)	keine Warteschlangen modelliert	variabel in Bezug auf den Patienten/die durchgeführte Maßnahme	nach der Maßnahme betreffendes medizinische Fachrichtung (Plastische Chirurgie, Pädiatrie etc.)

Tab. 9: Literaturübersicht zur OP-Planung (Teil 3/3)

3.4 **Ausgewählte weitere Ansätze**

Im Folgenden werden weitere Lösungsansätze aufgezeigt, welche sich ebenfalls auf die vorliegende Problemstellung beziehen, dies aber auf einem anderen Weg beschreiten. Vorwiegend handelt es sich hierbei um Multi-Agenten-Simulationen.

Kirn et al. [2001] verfolgen mit ihrer Arbeit das Ziel der Identifizierung und Bewertung von Optimierungspotentialen beim Scheduling vernetzter Logistikprozesse. Bezugsobjekt ist die akut-stationäre Versorgung im Krankenhaus. Ansatzpunkt der Untersuchung ist das Behandlungsscheduling, insbesondere bei stationsübergreifenden logistischen Prozessen. Zu diesem Zweck wurden mehrere Behandlungsabläufe für zuvor definierte Diagnosen modelliert und dazu Koordinationsalternativen mittels Agentensimulation untersucht. Im Multiagentenansatz stellen die Akteure (Patient, Abteilung, Arzt, Pfleger) Agenten dar, mit ihren Unwägbarkeiten und dem jeweiligen situativen Verhalten. Zum Stand der Veröffentlichung waren erste prototypische Modelle vorhanden, welche die prinzipielle Machbarkeit und die Potentiale bei der Reihenfolgeplanung der Patienten, aber auch die Grenzen des bisherigen Ansatzes der expliziten Verhaltensbeschreibung aufzeigen. Den agentenbasierten Ansatz zur Reihenfolgeplanung in klinischen Einrichtungen greift auch Paulussen et al. [2006] auf, wobei dieser die Agenten auf einer wirtschaftlichen Basis die Behandlungskosten verhandeln lässt. Ebenso nehmen diesen Ansatz Hutschenreuter et al. [2008] in einer abteilungsübergreifenden Sicht auf. In der Betrachtung wird aber indes auf Ressourcen, z.B. auf Ebene der einzelnen Betten stärker eingegangen. Darüber hinaus wird in unterschiedliche Patientengruppen mit stochastischen Ankunftszeiten und Behandlungswegen differenziert, welche nun separat betrachtet werden können.

Kanaga et al. [2010] zeigen in ihrer Arbeit einen weiteren Ansatz auf, bei dem mittels künstlicher Agenten eine möglichst optimale Termin- und Reihenfolgeplanung ermittelt wird. Im Speziellen gehen sie auf den Sachverhalt ein, dass mit zunehmender Erfahrung ein Lerneffekt (z.B. bei den Ärzten) eintritt, welcher die Dauer einer Maßnahme beeinflusst. Ziel der Optimierung ist die Wartezeit der Patienten zu reduzieren und die durchzuführenden Maßnahmen in möglichst kurzer Zeit zu vollziehen (minimale Durchlaufzeit) [Kanaga et al. 2010, S. 71]. Zu diesem Zweck werden Ressourcen und Patienten als Agenten (resource agents/patient agents) abgebildet, welche miteinander interagieren können [Kanaga et al. 2010, S. 69]. Hierzu besitzen Ressourcen-Agenten Termineinheiten, welche die Patienten-Agenten beanspruchen können. Welchen Maßnahmen sich der jeweilige Patient zu unterziehen hat, darüber entscheidet ein spezieller Arzt-Agent (common agent)

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

[Kanaga et al. 2010, S. 69]. Der Maßnahmenplan stellt mit der Aufstellung die individuellen Ziele der jeweiligen Patienten-Agenten dar. Diese versuchen nun die erforderlichen Ressourcen zu allokatieren, um ihren Plan abzuarbeiten (siehe Abb. 19). Da mehrere Patienten-Agenten zugleich die gleichen Ressourcen-Agenten anfragen können, bedarf es einer Planung darüber, welcher Patient welche Ressource zu welchem Zeitpunkt (Termineinheit) belegt. Die Servicezeit in Bezug auf eine Ressource basiert auf der jeweiligen Lernkurve, welche die Servicedauer beeinflusst. Hierzu wurde ein weiterer Agent (learning agent) eingesetzt, welcher dies determiniert (siehe Abb. 19). Mit jedem neu auftretenden Patienten wird ein neuer Maßnahmenplan aufgestellt und versucht diesen einzuplanen (dynamische Planung) [Kanaga et al. 2010, S. 70].

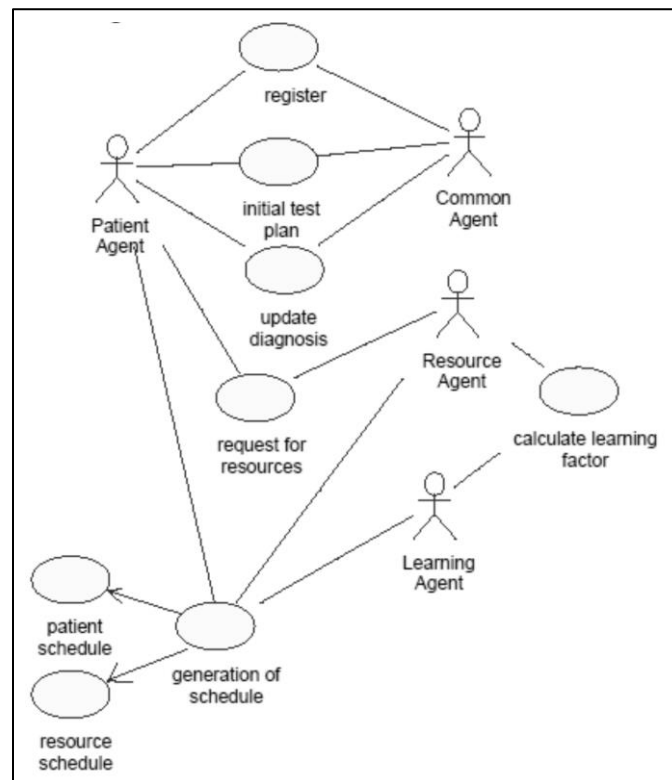


Abb. 19: Übersicht Zusammenspiel der Agenten [Kanaga et al. 2010, S. 71].

Da eine vollständige Enumeration nicht als zielführend angesehen wird, erfolgt die Suche nach einem optimalen Plan mittels einer vorgeschlagenen Heuristik [Kanaga et al. 2010, S. 72]. Diese wird weiteren Heuristiken gegenübergestellt: kürzeste Bearbeitungszeit zuerst (shortest processing time), früheste Fälligkeit (earliest due date), minimale Leerzeiten (minimum slack) und first-come first-served [Kanaga et al. 2010, S. 70]. Auf die Berücksichtigung von Unsicherheiten oder von Notfällen wurde nicht eingegangen. Im Ergebnis der Betrachtung wurde gezeigt, dass die eingesetzte Heuristik bessere Planungen hervorbrachte als die im Vergleich stehenden Heuristiken [Kanaga et al. 2010, S. 74].

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Kanaga & Valarmathi [2012] nutzen den eben beschriebenen Agentenansatz in einer weiteren, späteren Arbeit in Verbindung mit einer Partikelschwarm-Optimierung (Metaheuristik). Hierzu wurde aus dem Ansatz das Prinzip der Lernkurve mit dem entsprechenden Agenten entfernt (siehe Abb. 19) und das Agentenmodell um einen Koordinator-Agenten (coordinator agent) und einen Partikelschwarm-Agenten (PSO agent) erweitert, welcher die Partikelschwarmoptimierung vollzieht (siehe Abb. 20) [Kanaga & Valarmathi 2012, S. 388]. Ziel der Betrachtung ist eine minimale Wartezeit der Patienten und die durchzuführenden Maßnahmen in möglichst kurzer Zeit zu vollziehen (minimale Durchlaufzeit). Auf die Berücksichtigung von Unsicherheiten oder von Notfällen wurde nicht eingegangen.

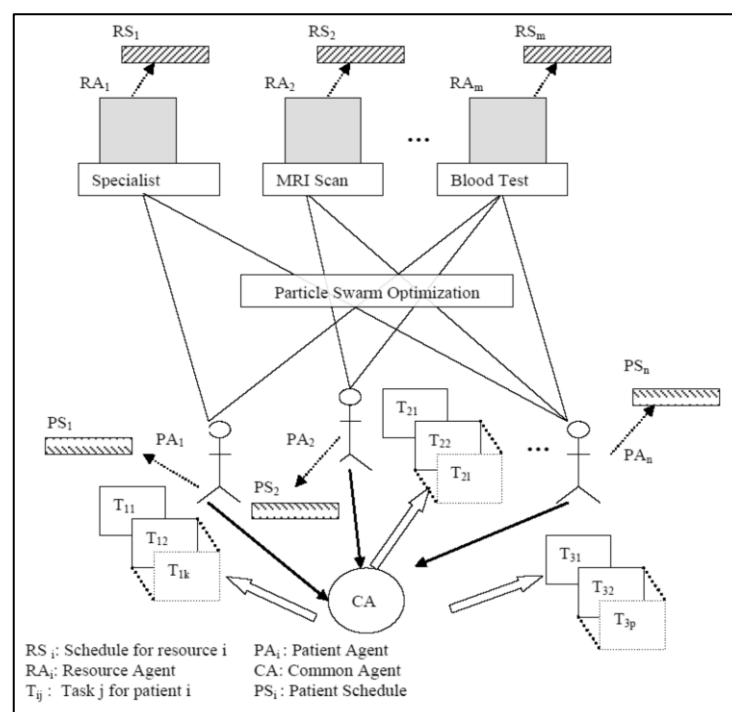


Abb. 20: Überblick Ansatz Zusammenspiel der Agenten im Ansatz der Partikelschwarmoptimierung [Kanaga & Valarmathi 2012, S. 389]

Auch in Bezug auf den heuristischen Ansatz der Partikelschwarmoptimierung konnten Kanaga & Valarmathi [2012, S. 393] signifikante Verbesserungen bezogen auf die im Vergleich stehenden Heuristiken aufzeigen.

Ein anderer Ansatz wird von Kriegel et al. [2009] verfolgt. Sie stellen ein Vorgehensmodell in Form eines Problemlösungszyklus vor und erläutern ein Szenario, wo der Patient u.a. lokal im Krankenhaus geortet werden kann. Unter diesem Gesichtspunkt wird untersucht, wie die klinikinterne Terminierung von Patienten erfolgen kann. Mit Hilfe eines Tools (Algorithmus) soll es möglich sein, die Informationen über den Standort der Patienten und deren Behandlungsfortschritt zu

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

verarbeiten und damit die medizinischen Entscheidungsträger mit konkreten und jeweils günstigen Vorschlägen zur weiteren (ad-hoc) Planung der Patienten zu unterstützen [Kriegel et al. 2009, S. 43]. Hierauf fokussiert das mit dem Ansatz verbundene Projekt „EMIKA“ (echtzeitgestützte mobile Informationssysteme in Krankenhaus-Anwendungen) [Müller et al. 2003; Niemann & Eymann 2006]. Der Lösungsansatz bezieht sich auf eine Ad-Hoc-Situationsbetrachtung, ein Ansatz zur fortlaufenden Reihenfolgeoptimierung auf der Basis des jeweiligen Istzustandes. Betrachtungsgegenstand sind hierbei Patienten einer Notaufnahme [Niemann 2013]. Eine Einbeziehung weiterer Abteilungen oder Funktionsbereiche wurde im Zuge der Auswahl des Betrachtungsgegenstandes nicht berücksichtigt. Der variable und teils stochastische Leistungsprozess soll durch die Technik unterstützt und optimiert werden. Für die Lokalisierung der Patienten sind kleine elektronische Ortungsgeräte angedacht, mit dem Ziel einer kontinuierlichen Erreichbarkeit und Lokalisierung der Patienten. Die Planung und Optimierung erfolgte mittels künstlicher Agenten, welche anhand eines hinterlegten Marktmechanismus über Angebot und Nachfrage einen Preis aushandeln. Das Budget des Nachfragers steigt mit zunehmender Wartezeit und Dringlichkeit [Niemann 2013, S. 107 f.; Niemann & Eymann 2006, S. 82 ff.]. Die Ergebnisse flossen in das weiterführende Projekt „OLogPat“ ein (Optimierte Patientenlogistik unter Einsatz von Smart Object-Technologien im Gesundheitswesen). Anwendungsbereich ist eine gastroenterologische und pneumologische Diagnostik des Zentrums für Innere Medizin (siehe [Seitz et al. 2009] zur der Zieldefinition und prototypischen Anwendungsbereich).

3.5 Zusammenfassung

Die Entwicklung der Termin- und Reihenfolgeplanung nahm ihren Anfang in der Literatur in den Jahren 1950-1960 und verfolgte in Einzelbetrachtung eine der drei Hauptausrichtungen ambulante, stationäre Aufnahmeplanung oder die OP-Planung. Hierbei sind zunächst Einzelkriterien Zielstellung der Planung, wie z.B. die optimale Bettenauslastung oder die maximale Anzahl an Patienten. Von da an wurde im Laufe der Zeit der Detailgrad erhöht und die Betrachtung (Modelle) sukzessive der Realität angenähert, u.a. durch die Erweiterung der Betrachtungskriterien und der Ausweitung des Betrachtungsgegenstandes. Dies gelang durch den Einsatz neuerer Methoden, wie die Simulation und der Einsatz von Heuristiken, um der damit einhergehenden gestiegenen Komplexität in den Modellen zu entsprechen. Nach und nach wurden Klassifizierungen der Patienten, z.B. nach der voraussichtlichen Länge der Maßnahme/des Aufenthaltes und Störgrößen, in die Betrachtung einbezogen. Prozesse wurden stückweise erweitert von single-stage/single-server zu multi-stage/multi-server Betrachtungen. Die Planung wurde von einer anfänglichen reinen Kapazitätsbetrachtung oder reinen Terminbetrachtung hin zu einer Termin- und Reihenfolgeproblematik unter Berücksichtigung mehrerer Ressourcen weiter-

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

entwickelt. Einige Arbeiten gehen auf gemeinsam genutzte Ressourcen und übergreifende Sachverhalte ein, wie z.B. [Sickinger 2008]. Bisherige Ansätze, welche eine übergreifende Betrachtung anstreben, beschränken sich jedoch, z.B. auf die stationäre Aufnahmeplanung in Verbindung mit der OP-Planung und den verfügbaren Pflege-/OP-Kräften oder beziehen stationäre Patienten als nicht-elektive Patienten in die ambulante Auswahlproblematik ein. Trotz dem damit einhergehenden Detaillierungsgrad, erreichen die bisherigen Ansätze mehrheitlich keine ausreichende Realitätsnähe (Lücke zwischen Theorie und Praxis), was die Autoren der Literaturreviews immer wieder bemängeln, und was dazu führt, dass die Lösungen nicht implementiert werden oder in Folge mangelnder Validierung in der Realität nicht die Wirkung zeigen wie im Modell (siehe [Gemmel & van Dierdonck 1999; Smith-Daniels et al. 1988, S. 914; Magerlein & Martin 1978, S. 424, 431; Blake & Carter 1997, S. 28; Cardoen et al. 2010]).

Auf Grund der hohen Komplexität in den über diverse Bereiche hinweg vernetzten und dynamischen Abläufe, den Unsicherheiten der Planung, aufgrund des individuellen Zustandes, saisonaler Schwankungen und den meist nicht vollständig deterministischen Gegebenheiten im Realsystemen stellt die Termin- und Reihenfolgeplanung der Patienten nach wie vor eine große Herausforderung dar. Aktuell steht die Entwicklung vor dem Punkt, dass die drei aufgeführten Schwerpunkte der ambulanten, stationären Aufnahmeplanung und der OP-Planung einer gemeinsamen, integrierten Betrachtung bedürfen (vgl. [Schwartz et al. 2003, S. 696; Wimmer 2010, S. 7] zu Integrationsanforderungen). Dies auch vor dem Hintergrund der neueren Rahmenbedingungen im Gesundheitswesen, welche die Substituierung von stationären hin zu ambulanten Maßnahmen ermöglichen und fordern²⁵ (vgl. [Greiling 2000, S. 78; Porter & Guth 2012, S. 142]). Bei dieser angestrebten integrierten Betrachtung sollte die Planung nicht nur auf die Kapazitäten abzielen, sondern der bisherige Entwicklungsstand in Form von einer dedizierten Termin- und Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung nachgelagerter Ressourcenerfordernisse ebenfalls aufgegriffen werden. Hier setzte die vorliegende Arbeit an und grenzt sich damit deutlich von bestehenden Arbeiten ab, indem zunächst alle drei Bereiche: die ambulante und stationäre Aufnahmeplanung, wie auch die OP-Planung im Zusammenspiel betrachtet und optimiert werden (siehe Tab. 10).

²⁵ Der Grundsatz lautet: Vorrang der ambulanten vor der stationären Versorgung [Greiling 2000, S. 72,78].

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Literaturreferenz	ambulante Aufnahmeplanung	stationäre Aufnahmeplanung	OP-Planung
[Liu 2016]	x	o	o
[Lin 2015]	x	o	o
[Yan et al. 2014]	x	o	o
[Kühn et al. 2012]	x	o	o
[Chen & Robinson 2011]	x	o	o
[Sickinger 2008]	x	x	o
[Wijewickrama & Takakuwa 2008]	x	o	o
[Westeneng 2007]	x	o	o
[[Meng et al. 2015]	o	x	o
[Helm & van Oyen 2014]	o	x	o
[Helm et al. 2010]	o	x	o
[Bekker & Koeleman 2011]	o	x	o
[Mazier et al. 2010]	o	x	o
[Dellaert & Jeunet 2010]	o	x	x
[Vissers et al. 2007]	o	x	x
[Aringhieri et al. 2015]	o	o	x
[Jebali & Diabat 2015]	o	o	x
[Bernardetta et al. 2014]	o	o	x
[Ghazalbash et al. 2012]	x	o	x
[Riise & Burke 2011]	o	o	x
[Knoeff 2010]	x	o	x
[Cardoen et al. 2009]	x	o	x
[Chaabane et al. 2008]	o	o	x
vorliegende Arbeit	x	x	x

x = ist Betrachtungsgegenstand; o = ist kein Betrachtungsgegenstand

Tab. 10: Abgrenzung bestehender Arbeiten zur vorliegenden Arbeit - Planungsgegenstände

Es sei betont, dass hier nicht dahingehend unterschieden wird, ob bei der OP-Planung ambulante und stationäre Patienten berücksichtigt werden, sondern, ob eine Aufnahmeplanung für Ambulanz- und stationären Patienten erfolgt.

Darüber hinaus grenzt sich die vorliegende Arbeit von den bestehenden Arbeiten bezogen auf die Detailkomplexität, die dynamische Komplexität und die Betrachtung der fachübergreifenden Komplexität ab (siehe Tab. 11).

In der Gegenüberstellung wird die Detailkomplexität daran bemessen (Minimalanforderung), ob die nachfolgenden Kriterien im Modellaufbau berücksichtigt worden sind (siehe Tab. 3 - Tab. 9).

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Literaturreferenz	Detailkomplexität	dynamische-Komplexität	fachübergreifende Komplexität
[Liu 2016]	o	o	o
[Lin 2015]	o	o	o
[Yan et al. 2014]	o	o	o
[Kühn et al. 2012]	o	x	o
[Chen & Robinson 2011]	o	o	o
[Sickinger 2008]	o	(x)	o
[Wijewickrama & Takakuwa 2008]	x	x	o
[Westeneng 2007]	x	x	o
[[Meng et al. 2015]	o	o	o
[Helm & van Oyen 2014]	o	o	o
[Bekker & Koeleman 2011]	o	o	o
[Helm et al. 2010]	o	x	o
[Mazier et al. 2010]	o	o	o
[Dellaert & Jeunet 2010]	o	o	o
[Vissers et al. 2007]	x	x	o
[Aringhieri et al. 2015]	o	o	o
[Jebali & Diabat 2015]	o	o	o
[Bernardetta et al. 2014]	o	o	o
[Ghazalbash et al. 2012]	o	o	o
[Riise & Burke 2011]	o	o	o
[Knoeff 2010]	o	x	o
[Cardoen et al. 2009]	o	o	o
[Chaabane et al. 2008]	o	o	o
vorliegende Arbeit	x	x	x
x = liegt vor; o = liegt nicht vor; (x) = liegt eingeschränkt vor			

Tab. 11: Abgrenzung bestehender Arbeiten zur vorliegenden Arbeit - Komplexitätsebenen

In Bezug auf die ambulante Aufnahmeplanung wird als Mindestmaß die Berücksichtigung von:

- no-show,
- variablen Maßnahmendauern (stochastisch),
- Unpünktlichkeit von Patienten,
- dem gesamten Prozessablauf (multi-stage) mit allen Engpassressourcen (nicht nur der Ambulanzärzte) und
- mehr als nur einem Bedienplatz (multi-server)

gesehen. Bedienplätze sind hier in der Regel Ärzte oder Pflegekräfte, welche in der Betrachtung begrenzte Ressourcen und damit Engpässe darstellen. Darüber hinaus sollte die Planung nicht nur rein mengenmäßig erfolgen (Kapazitätsplanung), sondern auch einen konkreten Termin (Kombination aus Tag und Uhrzeit) der Aufnahme beinhalten.

3. Existierende Ansätze zur Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken (Literaturüberblick)

Bezogen auf die stationäre Aufnahmeplanung wird als Minimalanforderung für die Detailkomplexität die modellseitige Berücksichtigung von:

- Notfallzugängen ohne Termin,
- variablen Liegezeiten (stochastisch),
- Interaktionen mit anderen Stationen (Verlegungen),
- dem gesamten Prozessablauf (multi-stage) mit allen Engpassressourcen (nicht nur den Stationsbetten) und
- mehr als nur einem Bedienplatz (multi-server)

in der Betrachtung gesehen. Auch hier sollte die Planung nicht nur rein mengenmäßig erfolgen (Kapazitätsplanung), sondern auch bezogen auf einen konkreten Termin.

Bezogen auf die OP-Planung wird als Minimalanforderung für die Detailkomplexität die modellseitige Berücksichtigung von:

- no-shows,
- variablen Bearbeitungszeiten (stochastisch),
- Unpünktlichkeit von Patienten,
- Notfallmaßnahmen ohne Termin und
- mehr als ein Bedienplatz (hier OP-Säle, sofern gegeben)

gesehen. Auch hier sollte die Planung nicht nur rein mengenmäßig erfolgen (Kapazitätsplanung), sondern auch bezogen auf einen konkreten Termin.

Um der dynamischen Komplexität zu entsprechen, wird das Kriterium gesehen, dass die zugrunde liegenden Modelle dynamisch sind. Es wird hier die Auffassung vertreten, dass dynamische Abläufe nur mit dynamischen Modellen abgebildet und validiert werden können, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen.

In Bezug auf die fachübergreifende Komplexität wird die Definition aus Abschnitt 1.1 aufgegriffen, dass die Planung innerhalb eines Fachbereichs als alles bestimmend verstanden und ebenfalls eine übergeordnete Bedeutung und Gültigkeit unterstellt wird. In der vorliegenden Arbeit wird dies dahingehend ausgelegt, dass die Planung mind. die Bereiche der Stationen, Ambulanzen sowie OP-Bereiche umfasst und andere Fachabteilungen und -bereichen direkt oder indirekt einbezogen werden, z.B. Patientenströme zw. der Notaufnahme und den betrachteten Stationen, Verlegungen von Normalstationen/ITS von/zu Stationen anderer Fachbereiche. Die zugrunde liegende Termin- und Reihenfolgeplanung, Priorisierungen und Abarbeitung der Patienten im Zusammenspiel derer abgestimmt ist.

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Systeme, die Abbildung derer in einem Systemmodell sowie die Simulationsmethodik und das Vorgehen zur Optimierung mittels Simulation beschrieben. Bei diesem Kapitel handelt es sich um eine überarbeitete Ausführung aus Kühn [2006], welche um die metaheuristischen Optimierungsverfahren erweitert wurde.

4.1 Begriff und Grundlagen der Systeme

Grundlage der Systemsimulation bilden Systeme. Die Systemtheorie als interdisziplinäre Metatheorie versucht diese zu beschreiben und zu verstehen [Rosemann 1996, S. 14]. In der Literatur werden eine Vielzahl von Definitionen aufgeführt, die auf unterschiedlichste Weise versuchen, Systeme in mehr oder weniger allgemeiner Form zu beschreiben (siehe [Bertalanffy et al. 1973; Krallmann et al. 1999, S. 21; Ropohl 2012, S. 21 ff., 37 ff., 51]). Im Weiteren wird dieser Arbeit folgende Systemdefinition zugrunde gelegt, die in Abb. 21 veranschaulicht ist:

„Ein System besteht aus einer Menge (im mathematischen Sinne) von Elementen, die durch eine Menge von Relationen miteinander verbunden sind. Von seiner Umwelt wird es durch die Systemgrenzen unterschieden. Der Einfluss eines Systems auf seine Umwelt stellt den Output, der Einfluss der Umwelt auf ein System stellt den Input dar.“
[Krallmann et al. 1999, S. 21].

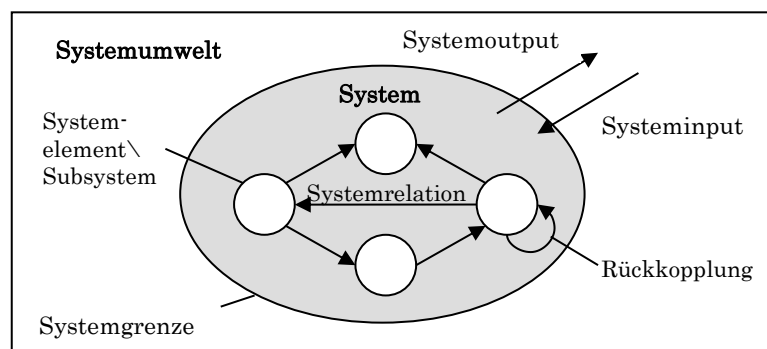


Abb. 21: System (leicht modifiziert nach Krallmann et al. [1999, S. 21] und Bossel [2004, S. 36])

Die Abgrenzung von Systemen gegeneinander resp. die Abgrenzung des Systems von seiner Umwelt ist vom Betrachter abhängig (subjektiv) und dem jeweiligen Gegenstand der Betrachtung angepasst, z.B. dem Zweck [Page 1991, S. 2] (vgl. [Ropohl 2012, S. 45, 52, 59 ff.]). So ist z.B. die Klinik ein System, welche den Zweck erfüllt Leiden oder Körperschäden festzustellen, zu heilen oder zu lindern. Die Grenzen des Systems sind in den Grenzen der Einrichtung zu sehen. Aber auch ein SAP IS-H*med (EDV-Lösung), welches innerhalb der Klinik eingesetzt wird, kann für sich genommen als ein System (EDV-System) verstanden werden. Mit dieser Sicht stellt ein SAP IS-H*med ein Element (Subsystem) des übergeordneten Systems Klinik

dar. Systeme können demnach hierarchisch (reine Rangordnung) angeordnet werden (vgl. [Ropohl 2012, S. 73 f.] zur Hierarchie der Systeme).

Die kleinsten Bausteine eines Systems werden Elemente genannt und können nicht weiter unterteilt werden [Niemeyer 1977, S. 2]. Da festgestellt wurde, dass auch Subsysteme teil eines Systems sein können, wird der Elementbegriff auch auf Subsysteme bezogen, wenn diese als nicht weiter unterteilt betrachtet werden [Niemeyer 1977, S. 2]. Systemelemente sind durch ein oder mehrere Eigenschaften (Attribute) gekennzeichnet. Eine Klinik als System kann beispielsweise das Attribut „Mitarbeiteranzahl“ besitzen. Die Mitarbeiteranzahl ist eine veränderliche Eigenschaft und wird daher als Zustandsvariable bezeichnet, die verschiedenen Ausprägungen (z.B.: den Wert 1035) haben kann. Werden die Werte aller Zustandsvariablen (Zustandsgrößen) zu einem bestimmten Zeitpunkt zusammengefasst, so beschreiben sie den Zustand des Systems in jenem Moment [Page 1991, S. 2; Bossel 2004, S. 39]. Beziehungen zwischen den Systemelementen werden, wie in Abb. 21 veranschaulicht, als Relationen verstanden, welche sowohl Ordnungsbeziehungen²⁶ als auch Wirkungszusammenhänge²⁷ repräsentieren. Als Menge aller Systemrelationen und Systemelemente wird die Systemstruktur bezeichnet [Niemeyer 1977, S. 4], welche einem zusammenhängendem ungerichteten Graphen entspricht, mit n_v Knoten und mindestens $n_v - 1$ Kanten [Krallmann et al. 1999, S. 23]. Spezifische Systemstrukturen werden von Ropohl²⁸ aufgeführt (siehe [Ropohl 2012, S. 97]).

Systeme sind von ihrer Umwelt umgeben und werden durch diese beeinflusst. Zu großen Teilen wird das Systemverhalten jedoch durch gegenseitige Beeinflussung der Zustandsgrößen in Rückkopplungsschleifen verursacht [Bossel 2004, S. 23, 41 ff.]. Darüber hinaus kann das Verhalten von Systemen durch Parameter beeinflusst werden. Systemparameter sind in gewissen Grenzen variierbar und bilden die Steuergrößen des Systems (z.B. Alterung der Systemkomponenten). Aus Sicht des Systembegriffs sind Parameter Inputdaten. Sie unterscheiden sich jedoch von normalen Eingabedaten darin, dass sie das System auf individuelle Werte oder mögliche Varianten einstellen können. Diese Einstellungen beeinflussen das Systemverhalten. Parameter sind also gesetzte Einflussfaktoren [Bossel 2004, S. 43]. Ändern Systeme durch Umwelteinfluss oder aus sich heraus im Zeitablauf ihren

²⁶ Unter Ordnungsbeziehungen wird verstanden, dass zwischen den Systemelementen eine Ordnung gegeben ist, z.B. im System der dezimalen Zahlen: 0,1,2,3,4 usw. [Krallmann et al. 1999, S. 22 f.].

²⁷ Entspricht der Output eines Elements zumindest teilweise dem Input eines anderen Elements, so liegen Wirkungszusammenhänge vor [Krallmann et al. 1999, S. 22 f.].

²⁸ Ropohl nutzt den Oberbegriff „Teile“ anstelle von Elementen zur Systembeschreibung, um der Möglichkeit der weiteren Betrachtung von Subsystemen gerecht zu werden [Ropohl 2012, S. 69].

Zustand, weisen sie damit dynamisches Verhalten auf. Dahingehend wird von dynamischen Systemen gesprochen. Statische Systeme, ohne Verhaltensänderungen, sind als Grenzfall zu sehen und treten z.B. bei Klassifikations- oder Zuordnungssystemen, wie dem Periodischen System der chemischen Elemente, auf [Ropohl 2012, S. 91 f.].

Ausgehend von dynamischen Systemen, befasst sich die Kybernetik mit der zielgerichteten Beeinflussung von Systemen (Steuerung und Regelung) [Ropohl 2012, S. 31 f.; Ducrocq 1959, S. 7, 19; Roberts et al. 2010, S. 1864]. Wesentliches Merkmal von sogenannten kybernetischen Systemen sind Rückkopplungsschleifen [Flechtner 1970, S. 8; Krüger 1975, S. 19]. Unter Kybernetik versteht sich die allgemeine, formale Wissenschaft aller dynamischen Zweckgebilde, den in ihnen bestehenden Beziehungen, Relationen und ihrem Verhalten [Flechtner 1970, S. 10]. Aus dem Verständnis der Systemtheorie ist die Kybernetik als eine wichtige Teildisziplin der Systemtheorie zu sehen [Ropohl 2012, S. 36]. Mit Hilfe der Kybernetik können Gesetzmäßigkeiten sowie systembeeinflussende Kriterien und Prozesse in Natur und Technik erkannt werden. Auf Basis dessen kann die Kybernetik zur bewussten Synthese technischer und zur Verbesserung natürlicher Systeme dienen. Im Folgenden werden die hierbei typischen Formen der Beeinflussung des Verhaltens von Systemen genauer beschrieben. Eine sehr einfache Form ist das Auslösen (siehe [Flechtner 1970, S. 26 f.] zum Auslösen). Zum Beispiel löst ein Funke eine Explosion aus, ein Aufschrei eine Panik [Flechtner 1970, S. 27]. Das Auslösen kann als eine ungerichtete Form der Beeinflussung eines Verhaltens gesehen werden. Wirkt ein Auslöser richtend auf den ausgelösten Vorgang, so wird dies als Steuern bezeichnet (siehe [Flechtner 1970, S. 27 ff.; Baetge 1974, S. 24 ff.] zur Steuerung). Nach der Norm DIN IEC 60050-351:2013 wird Steuerung wie folgt definiert:

„Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere variable Größen als Eingangsgrößen andere variable Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigenen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen“ [Deutsches Institut für Normung 2014, S. 137].

Neben diesen gibt es noch die Regelung. Das Regeln ist eine besondere Form des Steuerns und bezeichnet die Selbststeuerung eines Systems [Flechtner 1970, S. 34] (siehe [Flechtner 1970, S. 34 ff.; Ropohl 2012, S. 111 ff.] zur Regelung). Nach der Norm DIN IEC 60050-351:2013 wird der Begriff Regelung wie folgt definiert:

„Vorgang, bei dem fortlaufend eine variable Größe, die Regelgröße, erfasst (gemessen), mit einer anderen variablen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird“ [Deutsches Institut für Normung 2014, S. 136].

Als kennzeichnend für das Regeln wird ein geschlossener Wirkungsablauf angesehen. Ein Beispiel hierfür ist die Regelung der Zimmertemperatur in einem Raum (siehe [Ropohl 2012, S. 113; Flechtner 1970, S. 36 f.]). Die Zimmertemperatur ist beeinflusst durch die Außentemperatur, welche als Störgröße wirkt und den Innenraum abkühlen oder erwärmen lässt. Wird die Heizung mit einem Zimmerthermometer gekoppelt und zwar so, dass beim Erreichen einer bestimmten Temperatur die Heizung automatisch abschaltet bzw. beim Absinken einschaltet, so handelt es sich um eine automatische Temperaturregelung.

4.2 Begriff und Grundlagen der Simulation

Simulation ist ein bedeutsames Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung, ein Mittel zur Lösung von Planungs- und Koordinationsproblemen. Im Vergleich zu analytischen Methoden, können mit Hilfe der Simulation komplexe dynamische Systeme in ihrem zeitlichen Verhalten analysiert [Wenzel 2008, S. 1], besser verstanden und Änderungen am Ablauf innerhalb eines Modells getestet werden, bevor diese im Realsystem umgesetzt werden. Der Verein Deutscher Ingenieure definiert Simulation nach der VDI Richtlinie 3633 als:

„Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind; insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt.“ [Verein Deutscher Ingenieure 2014, S. 3].

Ein Prozess bezeichnet die:

„Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Informationen umgeformt, transportiert oder auch gespeichert werden.“ [Verein Deutscher Ingenieure 2014, S. 3]

Das Simulationsexperiment als solches wird definiert als:

„Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parameter- oder Strukturvariation.“ [Verein Deutscher Ingenieure 2014, S. 3].

Den eben aufgeführten Definitionen von Simulation und dem Simulationsexperiment folgend kann eine Simulation als Experimentator auf ein Systemmodell (kurz Modell) einwirken, um aus dem zu beobachtendem Verhalten Rückschlüsse über das originale System zu gewinnen [Page 1991, S. 7; Krüger 1975, S. 21–24]. Dieses Vorgehen wird auch als experimentelle System- bzw. Verhaltensanalyse bezeichnet. In der Literatur wird die Simulationsmethodik daher auch als experimenteller Zweig der Operations-

Research (OR) aufgeführt [Hillier & Lieberman 1997, S. 773]. Synonym finden sich im deutschen Raum Bezeichnungen wie: Verfahrensforschung, Ablauf- und Planungsforschung oder Operationsanalytik [Zimmermann 2005, S. 10].

4.3 Anwendungsbereiche der Simulation

Die Entwicklung der Simulation wurde durch verschiedenste Anwendungsziele angetrieben. Insbesondere sind die Folgenden zu nennen [Müller 1998, S. 51]:

- Überprüfung von wissenschaftlichen Theorien und Erkenntnissen (z.B.: physikalische Belastbarkeit neuer Architektur-Konzepte, Bauwerke),
- Variantenvergleich zur Verbesserung unternehmerischer Entscheidungen,
- Analyse bzw. Vorhersage bestimmter Verhaltensweisen von Systemen mittels Modellen (z.B.: strategische Planung, Engpassverhalten, Wenn-dann-Verhalten),
- Systementwurf (z.B.: Produktionsplanung, Konfiguration von Abläufen),
- Training in der Aus- und Weiterbildung (z.B.: Planspiele).

Nicht jedes aufkommende Problem oder Ziel ist mit der Anwendung einer Simulation zu bewältigen. Lässt sich das angestrebte Ziel einem vorhandenen mathematischen oder analytischen Verfahren zuordnen, so sollte dieses einer Simulation vorgezogen werden (vgl. [Gais et al. 1991, S. 14]). Die oft durch eine hohe Komplexität und ein dynamisches Verhalten gekennzeichnete wirtschaftliche Realität kann jedoch nur begrenzt in einem analytischen (Optimierungs-)Modell abgebildet werden. Verfügbare analytische Methoden machen vereinfachende Annahmen erforderlich, die den Kern des vorliegenden Problems verfälschen können [Domschke et al. 2011, S. 225]. Die Simulation und im Speziellen die Heuristik²⁹ (Bestimmung einer Näherungslösung) bietet hier einen Ausweg (siehe [Zimmermann 2005, S. 272 ff.] zu Heuristiken). Im Vergleich zu analytischen Ansätzen gilt bei der Simulation folgendes [Müller 1998, S. 50]:

- Anstelle einer allgemeinen Lösung wird ein konkretes numerisches Ergebnis (für den Spezialfall) erzeugt.
- Ergebnisse sind nur für die vorgegebene Realisierung der Eingangswerte, Anfangswerte sowie Systemparameter gültig.
- Die Ergebnisse liegen in Form von Zahlen vor, die ohne Aggregation, Interpretation oder grafischer Auswertung keine Aussagen erlauben.
- Simulationen erfordern eine wesentlich höhere Anzahl von Eingangsdaten.
- Die Ergebnisgenauigkeit ist abhängig von Faktoren, wie der Schrittweite, Simulationszeit oder dem Stichprobenumfang.

²⁹ Die Anwendung der Simulationsmethodik kann selber als Heuristik gesehen werden (vgl. [Zimmermann & Stache 2001, S. 336]).

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

- Anstelle einer optimalen Lösung ergibt sich lediglich die Befriedigung eines zuvor formulierten Anspruchsniveaus (Näherungslösung).

Gründe für den Einsatz der Simulation sind [Kosturiak & Gregor 1995, S. 15 f.]:

- Analytisch-mathematische Verfahren (Warteschlangentheorie, lineare Programmierung etc.) stoßen wegen ihrer Einschränkungen bei der Lösung praktischer Probleme an ihre Grenzen.
- Ständig steigende Komplexität bei Problemlösungen, Organisationsformen und Arbeitstechniken führen zu einer steigenden Gefahr von falschen Entscheidungen,
- Neue Anforderungen an die Reaktionsfähigkeit - Entscheidungen haben in immer kürzeren Zeitintervallen zu erfolgen,
- Explosion der Informationen und des Wissens, welches zu einer zunehmenden Anzahl von möglichen Lösungsalternativen führt.
- Die fortschreitende Entwicklung der Computertechnik und der Softwaresysteme hat auch eine Voraussetzung für die sinnvolle und breitere Anwendung der Simulationstechnik geschaffen.

Weitere Vorteile in der Anwendung der Simulation sind im Folgenden zu sehen [Bossel 2004, S. 15–16]:

- Kostenvorteil: die Kosten der Modellerstellung und Simulation sind im Allgemeinen nur ein Bruchteil dessen, was es bei ähnlich umfassender Untersuchung mit realen oder analogen physikalischen Modellen wäre.
- Simulationsmodelle sind anschaulicher als mathematisch-analytische Modelle.
- Der zeitliche Ablauf des dynamischen Verhaltens kann erheblich gerafft und verkürzt oder auch erheblich gedehnt werden (bei sehr schnell ablaufenden Vorgängen), so dass genaue Beobachtungen möglich werden.
- Eine Dynamik, die zur Systemzerstörung führen würde, hinterlässt im (Computer-)Modellen keine Konsequenzen: Das Simulationsprogramm kann nach wie vor weiterverwendet werden. Damit wird auch und gerade eine umfangreiche Untersuchung gefährlicher Systementwicklungen möglich (z.B. simulierte Crashtests).
- Das reale System wird keinerlei Risiko unterzogen. Messungen oder Eingriffe am realen System sind nicht notwendig³⁰.

³⁰ Außer zur Datenerhebung.

4.4 Voraussetzungen zum Einsatz der Simulation

Um das Verfahren einsetzen zu können, müssen u.a. die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein [Gais et al. 1991, S. 14–15]:

- unmissverständliche sowie quantifizierbare Zielsetzungen und Fragestellungen (z.B.: Reduzierung der Wartezeiten um 30 %),
- Abbildung des zu betrachtenden Systems in einem (simulationsfähigen) Modell,
- ein für die Simulationsziele (Zweck) hinreichender Abstraktionsgrad des Modells,
- über sämtliche Systemkomponenten und deren Verhalten sind quantitative Aussagen (z.B.: Leistungsdaten von Einheiten oder Materialverbrauch) sowie qualitative Vorstellungen über deren Zusammenwirken vorhanden (vgl. [Krüger 1975, S. 27]),
- Vorhandensein beobachtbarer Messgrößen³¹, die sich aus den gewählten Zielvorstellungen ableiten lassen.

Weiterhin kann eine Simulation nur dann sinnvoll angewendet werden, wenn die gesuchten Informationen schon implizit im Modell hinterlegt sind. Simulationsmodelle zählen zur Klasse der formalen Modelle³² und können nicht mehr an Erkenntnissen liefern, als zuvor bei der Modellbildung explizit oder implizit formuliert worden ist [Müller 1998, S. 42 f.].

„Durch Simulationsmodelle können keine originären Informationen gewonnen werden, es können nur die Implikationen der bei seiner Bildung verwendeten Informationen transparent gemacht werden.“ [Schiemenz 1982, S. 155].

Der Anwender muss also Alternativen zur Lösung des Problems angeben, da die Simulation nur quantitative Ergebnisse zu einem bestimmten Szenario liefert, welche anschließend durch den Anwender interpretiert werden müssen (siehe [Müller 1998, S. 45–48] zur Definition eines Szenarios und der Szenariotechnik). Es handelt sich bei der Simulation somit nur um eine Entscheidungshilfe zur Beurteilung von Lösungen.

³¹ Messgrößen beeinflussen den Modellaufbau und sollten daher schon vor der eigentlichen Simulation Berücksichtigung finden.

³² Der formalen Modellbildung und -beschreibung liegt die Sprache der Mathematik zugrunde, welche mit großem Anteil auf Alfred Tarski zurückgeht.

4.5 Modellarten

Wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt wurde, bedingt eine Simulation der Abbildung des zu betrachtenden Systems in einem simulationsfähigen (ausführbaren) Modell.

In Theorie und Praxis gibt es verschiedene Definitionen des Modellbegriffs. Das hier zugrunde liegende Verständnis eines Modells zum Zwecke einer Simulation ist wie folgt:

„Modelle sind materielle oder immaterielle (geistige, formale) Systeme, die andere Systeme so darstellen, daß eine experimentelle Manipulation der abgebildeten Strukturen und Zustände möglich ist.“ [Niemeyer 1977, S. 57].

Die angeführte Definition macht deutlich, dass ein Modell im hier gewählten Verständnis mehr ist als nur die reine Abbildung der Realität. Es ermöglicht experimentelle Manipulation an den Strukturen und Zuständen des Modells.

Je nach dem Zweck der Simulation kann das Simulationsmodell dazu dienen das beobachtende Systemverhalten zu erklären (Erklärungsmodelle), künftige Systemzustände abzuschätzen (Prognosemodelle), zum Entwurf von Systemen (Gestaltungsmodelle) und zur Ermittlung optimaler Systemzustände (Optimierungsmodelle) [Page 1991, S. 7].

Optimierungsmodelle können als besondere Form der Entscheidungsmodelle gesehen werden, in denen konkrete Maßnahmen ermittelt, Lösungen gesucht oder Szenarien gegeneinander ausgetestet werden. Diese Modellklasse ist in der vorliegenden Arbeit gegenständlich, daher wird dies nun vertieft. Entscheidungsmodelle lassen sich nach Dinkelbach [1980, Sp. 626 ff.] wie folgt unterscheiden:

- nach der Anzahl der Zielfunktionen:
 - eine oder mehrere Zielfunktionen,
- nach dem Grad der Information:
 - vollständig (bei Sicherheit) = deterministische Modelle,
 - unvollständig (bei Risiko) = stochastische Modelle
 - unvollständig (bei Unsicherheit) = spieltheoretische Modelle
- nach der Anzahl der zu treffenden Entscheidungen in:
 - eine Entscheidung = statische Modelle und
 - mehrere = dynamische Modelle (Entscheidungsprozess).

Je nachdem, ob im Modell Unsicherheiten berücksichtigt werden oder nicht, wird in deterministische (ohne Berücksichtigung) und stochastische Simulation/Modelle

(unter Berücksichtigung) unterschieden [Law 2015, S. 6; Cardoen et al. 2010, S. 928]. Deterministische Modelle beinhalten keine Zufallsvariablen. Alle dem Modell zugrunde liegenden Informationen sind bekannt oder werden als bekannt unterstellt. Die Zustandsänderungen im Modell sind eindeutig aus den gegebenen Inputgrößen herleitbar (deterministische Bezüge). Bei einem stochastischen Modell ist dies nicht gegeben. Ein solches Modell weist Zufallsgrößen und Wahrscheinlichkeitsbezüge auf. Mit spieltheoretischen Modellen werden Entscheidungssituationen abgebildet, bei denen gegenseitige Beeinflussungen erfolgen. Ziel ist die Bestimmung der optimalen Verhaltensweise eines Teilnehmers, z.B. an einem Spiel, um den Sieg zu erlangen oder den Gewinn zu maximieren.

Simulation wurde, in Bezug auf den Fokus der vorliegenden Arbeit, zuvor definiert als ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen (siehe Abschnitt 4.2). Das Simulationsmodell wurde als ein Modell zum Zweck der Ausführung in einer Simulation beschrieben. Es ermöglicht den Zustand des Modells schrittweise fortzuschreiben und einzeln zu betrachten [Page 1991, S. 4]. Dies impliziert dynamische Modelle, welche ein System im Zeitablauf darstellen. Es sei jedoch erwähnt, dass auch statische Modelle Grundlage einer Simulation sein können [Küll & Stähly 1999, S. 4]. Statische Modelle repräsentieren ein System lediglich zu einem bestimmten Zeitpunkt [Küll & Stähly 1999, S. 4].

Ferner kann in Bezug auf die Zustandsänderungen sowie den Zeitverlauf nach stetig (kontinuierlich) und diskreten Modelle differenziert werden [Law 2015, S. 6]. Die nachfolgende Abb. 22 beinhaltet einen Überblick der zeitlichen und zustandsbezogenen Varianten und gibt exemplarisch je einen Einsatzbereich an. Für die vorliegende Arbeit sind diskrete Modelle von besonderer Bedeutung.

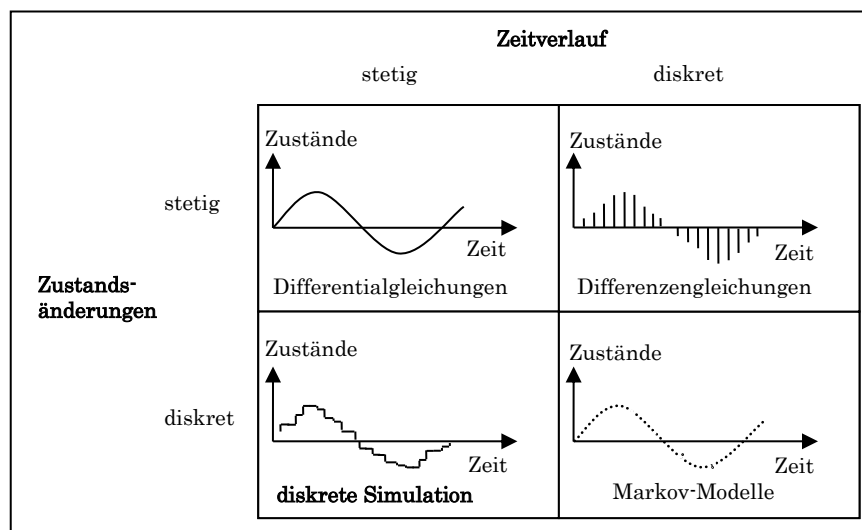


Abb. 22: Einordnung der diskreten Simulation [Kosturiak & Gregor 1995, S. 8]

Von stetigen Modellen wird gesprochen, wenn die Zustandsänderungen innerhalb eines Systemmodells kontinuierlich im Zeitverlauf erfolgen, wie bei einem fließenden Gewässer. Unter diskreter Simulation wird hingegen die Zustandsänderung innerhalb des Systemmodells zu diskreten Zeitpunkten verstanden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 7], wie das Eintreffen eines Patienten an der Anmeldung. Bei nicht eindeutig zuzuordnenden Systemen erfolgt die Einteilung nach der im System überwiegenden Art der Zustandsübergänge (vgl. [Niemeyer 1977, S. 60]). Modelle, die sowohl kontinuierliche als auch diskrete Eigenschaften aufweisen, werden auch als „hybride“ bezeichnet.

Eine besondere Form sind diskrete, ereignisorientierte Modelle. Basiert das Simulationsmodell auf einer Anzahl von möglichen Ereignissen (events), welche zu bestimmten Zeitpunkten eintreten und damit Zustandsänderungen im Modell auslösen, wird von einer ereignisorientierten Sicht gesprochen [Law 2015, S. 6 ff.; Page 1991, S. 29 f.; Kosturiak & Gregor 1995, S. 17]. Ereignisse als dynamische Elemente (z.B. Beginn der Bearbeitung) werden in Ereignisroutinen beschrieben und können damit von statischen Elementen des Systems (z.B. vorhandene Ressourcen) klar getrennt werden. Der Modellersteller muss diese Ereignisse definieren, entwickeln und in die Logik des Modells einbeziehen (z.B.: das Eintreffen eines Patienten an einer Aufnahmestation). Zum Simulationslauf werden lediglich die Zustandsänderungen zum Ereigniszeitpunkt nachvollzogen, was eine Simulation im „Zeitraffer“ ermöglicht (event driven). Die interne Simulationsuhr wird auf den jeweiligen Ereigniszeitpunkt vorgestellt und überspringt somit die Zwischenzeit, ohne eintretende Ereignisse.

4.6 Simulationsarten

Die Arten der Simulation lassen sich zunächst wie folgt unterscheiden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 17]:

- Handsimulation,
- analoge Simulation und
- digitale Simulation.

Bei der Handsimulation werden die Abläufe manuell und experimentell untersucht. Dies ist nur für überschaubare Abläufe und in einem begrenzten Umfang möglich. Es werden physische oder mathematisch-logische Modelle eingesetzt [Kosturiak & Gregor 1995, S. 17]. Bei der analogen Simulation werden physikalisch-energetische Modelle oder Analogrechner verwendet [Kosturiak & Gregor 1995, S. 17]. Analog ist hierbei als kontinuierlich-proportional zu verstehen. Es bezeichnet die Simulation von zeit- und wertkontinuierlichen Systemen. Physikalische Größen, wie z.B. der

Strömungswiderstand, werden mit von Natur aus stetig, kontinuierlichem Verhalten auch im Modell umgesetzt [Krüger 1975, S. 24]. Bei der computergestützten oder digitalen Simulation erfolgt die Simulation mit Hilfe der Computertechnik. Das Simulationsmodell wird in Form eines Algorithmus (algorithmisches Modell) resp. Computerprogramms abgebildet [Müller 1998, S. 54]. Müller stellt die analoge und digitale Simulation in einen direkten Vergleich, u.a. in Bezug auf Möglichkeiten, Einsatzbereiche und deren Grenzen (siehe hierzu [Müller 1998, S. 57]). In der vorliegenden Arbeit wird die digitale Simulation eingesetzt und diese im Weiteren als „Simulation“ bezeichnet.

An dieser Stelle sei kurz angeführt, das sich neben dieser groben Einteilung, Simulationsarten auch nach dem zugrunde liegenden Berechnungsmodell differenzieren lassen in:

- analog,
- diskret,
 - synchronous data flow
 - dynamic data flow
- und diskrete ereignisgesteuert.

Eine Erläuterung hierzu findet sich im Abschnitt 9.1.

Um stochastische Eingaben eines Modells abzudecken, wird eine besondere Form der Simulation eingesetzt, die Monte-Carlo-Simulation. Kôsturiak & Gregor [1995, S. 17] sehen hierin keine Simulation im eigentlichen Sinne und verstehen hierunter auch Spezialfälle der Stichprobenverfahren, bei der Zufallszahlen mit dem Computer generiert werden. Die Monte-Carlo-Simulation ist ein Verfahren aus der Stochastik und basiert auf dem Gesetz der großen Zahlen. Über eine Vielzahl von gleichartigen Zufallsexperimenten wird versucht stochastische Einflüsse im Modell zu eliminieren. Hierzu werden Zufallszahlenfolgen verwendet. Die Monte-Carlos Simulation hängt stark von einer effizienten und schnellen Erzeugung von Zufallszahlenreihen ab. Entsprechend werden Zufallszahlen heute aus Gründen der Effizienz mit dem Computer erzeugt [Landau & Binder 2009, 34]. Da solche Algorithmen zur Erzeugung von Zufallszahlen deterministisch sind, wird von „Pseudo-Zufallszahlen“ gesprochen [Landau & Binder 2009, S. 34]. Dies birgt zugleich den Vorteil, dass Zufallszahlenreihen nach Unterbrechungen genau an der Stelle fortgesetzt werden können, an der die letzte Zufallszahl erzeugt wurde. Zudem kann es hilfreich oder erforderlich sein, in vergleichenden Szenarien gleiche Zufallszahlenreihen zugrunde zu legen [Landau & Binder 2009, S. 34] oder Experimente trotz stochastischem Einflusses exakt wiederholbar zu machen. Diese Form der Zufallszahlenerzeugung findet in der vorliegenden Arbeit Anwendung.

4.7 Grenzen der Simulation

Der Einsatz der Simulation setzt voraus, dass deren Grenzen und Risiken bekannt sind und berücksichtigt werden (siehe [Page 1991, S. 19–24; Kosturiak & Gregor 1995, S. 67–70]). Eine Simulation ist wesentlich von dem zugrunde liegenden Modell abhängig, weshalb im Folgenden die Probleme sowie Grenzen der Simulation und Modellbildung gemeinsam betrachtet werden (siehe Abb. 23).

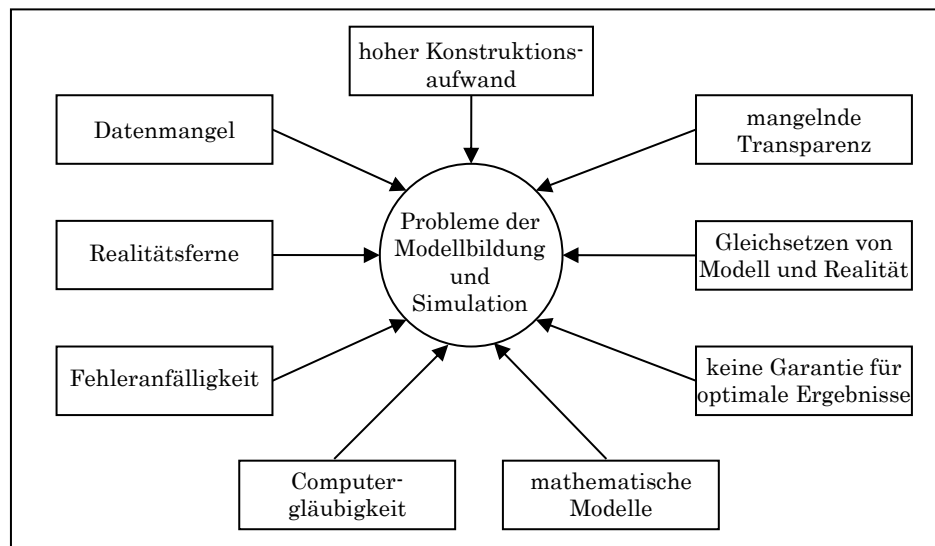


Abb. 23: Grenzen der Modellbildung und Simulation (in Anlehnung an Page [1991, S. 20] und Müller [1998, S. 51])

(a) Hoher Konstruktionsaufwand

Bei jeder Verwendung ist zu prüfen, ob die durch den Einsatz der Simulation zu erzielenden Einsparungen die entstehenden Aufwendungen resp. andere Zielstellungen den Kostenaufwand rechtfertigen (siehe Unterabschnitt 4.8.2 zur Situationsanalyse und Zielsetzung). Wird der Aufwand unterschätzt, kann es leicht zum Scheitern oder einer mangelhaften Umsetzung der Simulationsstudie führen [Page 1991, S. 24]. Bei zeitlich sehr langandauernden Projekten entsteht ein zusätzliches Risiko³³, dass sich die Ausgangssituation, aufgrund des dynamischen Verhaltens des Realsystems, dermaßen verändert, dass ein Simulationsmodell nach seiner Fertigstellung nicht mehr gültig ist und entsprechend nicht mehr verwendet werden kann [Page 1991, S. 24].

(b) Datenmangel

Voraussetzung einer jeden Simulationsstudie ist eine ausreichende Datenbasis für die Modellerstellung, Validierung und Simulation. In vielen Anwendungsbereichen ist dies nicht gegeben. Insbesondere in der Sozialwissenschaft und der Ökologie [Page 1991, S. 23], allgemein bei allen Systemen, in denen menschliche Entscheidungen

³³ Dem Risiko kann grundsätzlich durch ein minimum risk design/development entgegengewirkt werden.

Bestandteil sind oder einfließen, ist die Quantifizierbarkeit nicht gegeben. Häufig führt es dazu, dass mit empirischen, nicht ausreichend gesicherten Schätzungen, gearbeitet wird, weil eine aufwendige empirische Erhebung der Daten aus ökonomischen Gründen unterlassen wurde oder nicht möglich ist. Der Aussagegehalt der Simulationsergebnisse wird hierdurch erheblich beeinträchtigt [Page 1991, S. 23].

(c) Realitätsferne

Ebenfalls problematisch ist die im Modellbildungsprozess notwendiger Weise erfolgende Abstraktion von der Realität zur Vereinfachung und Komplexitätsreduktion [Page 1991, S. 22]. Dies birgt das Risiko, dass Beziehungen zwischen den Systemelementen falsch interpretiert, Probleme übersehen und inadäquate Ziele vorgegeben werden [Page 1991, S. 22]. Weniger wichtige Faktoren werden entweder ganz fallengelassen oder als konstant angenommen, worunter die Exaktheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse leidet. Insbesondere bei sozio-ökonomischen oder ökologischen Realsystemen sind Einflussfaktoren schwierig zu quantifizieren und können damit in der Abbildung im Modell Schwächen aufweisen, worunter die Realitätsnähe leidet [Page 1991, S. 22].

(d) Fehleranfälligkeit

Fehler können in allen Phasen der Simulation und des Modellbildungsprozesses auftreten [Page 1991, S. 24]. Vorbeugen kann nur ein konzentriertes und strukturiertes Vorgehen unter ständiger Einbeziehung z.B. von Anwendern des Realsystems oder Experten aus diesem. Notwendige Untersuchungsschritte, z.B. zur Modellvalidierung, dürfen keinesfalls vernachlässigt werden, denn mögliche Fehler sind bei der Modellimplementierung kaum zu erkennen.

(e) Mangelnde Transparenz

Ebenso kann eine mangelnde Transparenz die Akzeptanz, Glaubwürdigkeit und Aussagekraft der Simulationsstudie mindern. Eine detaillierte Dokumentation aller Schritte sowie der am Simulationsergebnis beteiligten Faktoren, Modellstrukturen, vereinfachende Annahmen, Hypothesen und andere Prämissen des Modells sind eine wesentliche Voraussetzung [Page 1991, S. 23], zum Einen für das Verständnis und die Nachvollziehbarkeit durch den Benutzer, zum Anderen notwendig für die Validierung und Verifizierung des Modells sowie der Simulationsergebnisse.

(f) Gleichsetzung von Modell und Realität

Die Ergebnisse von Simulationsmodellen/-studien können aufgrund der Attraktivität dieser Methoden leicht zu einer Überbewertung führen [Page 1991, S. 23]. Keinesfalls dürfen simulierte Werte (Ergebnisse) mit Fakten gleichgesetzt oder vermengt werden [Page 1991, S. 23]. Das implementierte Computerprogramm ist ein Modell des Realsystems und steht mit diesem nur indirekt über mehrere Ebenen, wie der

subjektiven Abstraktion des Erstellens, der Abbildungsvarianzen oder der Implementierung, in Beziehung [Page 1991, S. 23].

(g) Keine Garantie für optimal Ergebnisse

Simulation ist, wie bereits ausgeführt wurde, eine Methode, welche auf Abstraktionen, Annahmen und Einschränkungen im Modellaufbau und damit stark auf den Erfahrungen des Modellerstellers beruht [Kosturiak & Gregor 1995, S. 70]. Entsprechend ist die Optimalität der Ergebnisse begrenzt und kann nicht erwartet werden. Ferner basiert eine Simulationsstudie häufig auf einem Austesten von Testfällen/Testszenarien, entsprechend sind Aussagen nur in Bezug auf die Testfälle selber und im direkten Vergleich dieser Testfälle untereinander zulässig. Es gibt somit keine problembezogene Gesamtlösung (vgl. [Kosturiak & Gregor 1995, S. 70]).

(h) Computergläubigkeit

Eine weitere Gefahr rührt aus der Verwendung des Computers zur Abbildung und Simulation eines Modells. Aufgrund der verbreiteten Gutgläubigkeit gegenüber dem Computer werden Simulationsergebnisse häufig unkritisch betrachtet und interpretiert [Page 1991, S. 24]. Der begrenzten und nie unter Sicherheit feststellbaren Validität der Computermodelle wird dies nicht gerecht [Page 1991, S. 24]. Zudem sind Fehler im Simulator (Simulationsumgebung/Simulationstool) nicht nur vorstellbar, sondern auch kaum zu entdecken.

(i) Mathematische Modelle

Ebenfalls begrenzend wirkt die Verwendung mathematischer Modelle als Simulationsgrundlage für Computermodelle. Die einzelnen in das Simulationsmodell eingehenden Faktoren müssen quantifizierbar und messbar sein, da Größen und Veränderungen sonst nicht durch mathematische Modelle auszudrücken sind. Ist dies nicht gegeben, kann die Computersimulation nicht angewandt werden. Damit ist die Anwendung auf diejenigen Probleme, die durch ein Vorherrschen menschlicher Entscheidungsfreiheit gekennzeichnet sind, nur begrenzt. Menschliche Entscheidungsprozesse genügen auf Grund ihrer mangelnden Vorhersehbarkeit nicht den im Abschnitt 4.3 und 4.4 genannten Anforderungen und bedürfen zur Abbildung gewisser Annahmen. Weiterhin ist bereits ausgeführt worden, dass mathematische Modelle zur Klasse der formalen Modelle zählen und nicht mehr an Erkenntnissen liefern können, als zuvor formuliert wurde (siehe Abschnitt 4.4).

Die aufgezeigten Grenzen in der Anwendung der Simulation können nicht als statisch angesehen werden. Immer wieder erzielen neue Forschungsergebnisse Verbesserungen, so dass beispielsweise durch neue statistische Beobachtungs- und Aufbereitungsverfahren bisher nicht messbare Variablen bestimmbar gemacht werden können.

4.8 Methodik der Simulation

Nach der VDI Richtlinie 3633 des Vereins Deutscher Ingenieure gliedert sich das Vorgehen bei einer Simulation in Phasen (siehe [Verein Deutscher Ingenieure 2014, S. 18]), welche im Zuge der Modellentwicklung und Modellnutzung ggf. auch wiederholt durchlaufen werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 104]. Es ergibt sich immer wieder die Möglichkeit der Rückkehr zu den vorhergehenden Schritten und deren Präzisierung bzw. Korrektur [Müller 1998, S. 52; Wenzel 2008, S. 5]. Der Ablauf einer Simulationsstudie, an dem sich auch die vorliegende Arbeit orientiert, ist in Abb. 24 veranschaulicht. Hervorzuheben sind die Dokumentation sowie die Validierung und Verifikation, welche in jeder Phase enthalten sind. Validierung und Verifikation dienen dazu Ergebnisse einzelner Projektphasen auf ihre Eignung, Plausibilität und Vollständigkeit (Validierung) resp. Richtigkeit und Vollständigkeit der Umsetzung (Verifikation) hin zu überprüfen [Wenzel 2008, S. 8; Law 2015, S. 246 f.]. Auf die einzelnen Schritte des Ablaufs wird im Folgenden näher eingegangen (siehe hierzu [Kosturiak & Gregor 1995, S. 104 ff.; Müller 1998, S. 52; Küll & Stähly 1999, S. 5 ff.; Wenzel 2008, S. 5 ff., 109 ff.]).

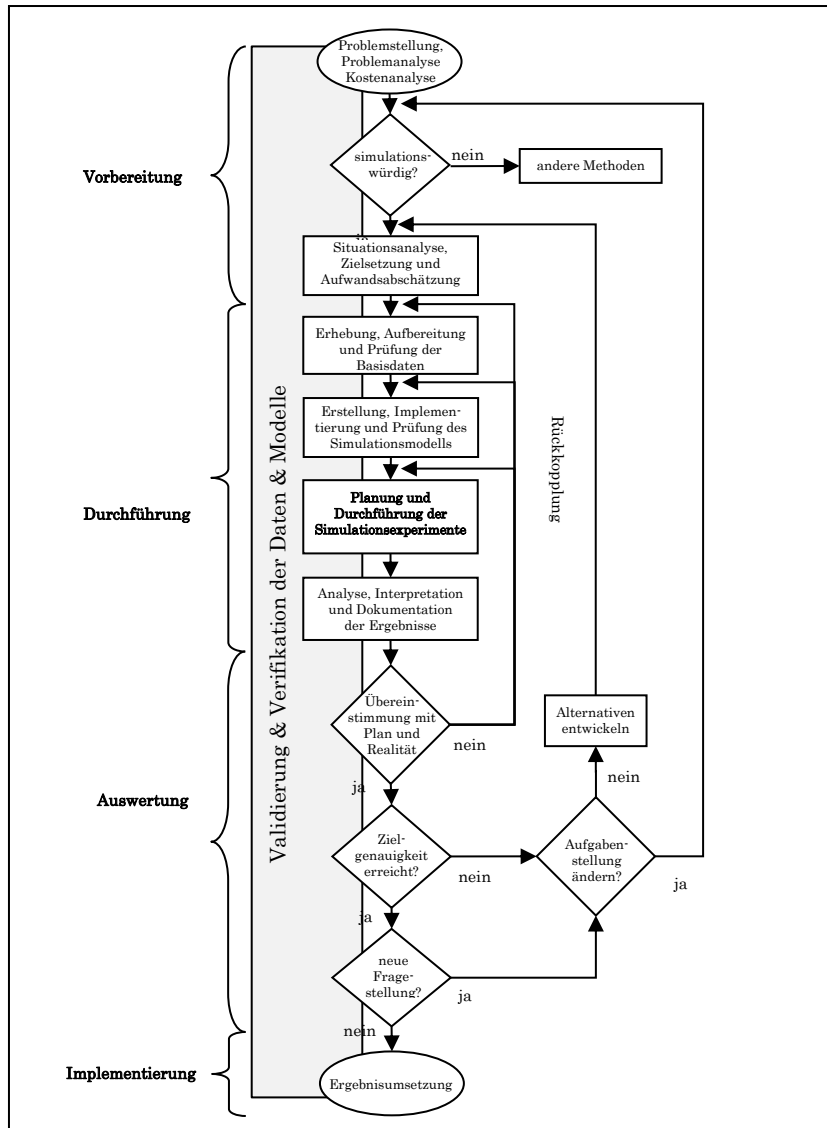


Abb. 24: Vorgehensweise bei dem Einsatz der Simulation (in Anlehnung an Kosturiak & Gregor [1995, S. 105])

Der von Kosturiak & Gregor aufgezeigte Ablauf ist hier um die Phase der Ergebnisumsetzung erweitert. Ziel einer simulationsbasierten Optimierung kann schließlich nicht nur die Entscheidungsunterstützung, sondern auch eine Vorbereitung sowie Unterstützung der Umsetzung von entworfenen oder verbesserten Systemen sein.

4.8.1 Problemanalyse

Zu Beginn einer jeden Simulationsstudie steht die Analyse und Definition der Problemstellung (siehe hierzu [Kosturiak & Gregor 1995, S. 104, 106; Page 1991, S. 13]). Die zu untersuchende Fragestellung sollte möglichst eindeutig formuliert und abgegrenzt werden. Eine Problemanalyse beinhaltet Betrachtungen aus den unterschiedlichsten Blickwinkeln und beinhaltet u.a. Fragen hinsichtlich:

- den Merkmalen, wie das Problem in Erscheinung tritt,
- der Kosten und ob aus ökonomischer Sicht die finanziellen und zeitlichen Aufwendungen eine Simulation zur Lösung des Problems rechtfertigen,
- dem Vorhandensein erforderlicher Ressourcen und des Know-hows zur Durchführung.

Auf der Basis dessen ist die Entscheidung zu treffen, ob das Problem simulationswürdig ist oder andere Methoden vorzuziehen sind (siehe Abschnitte 4.3, 4.4 und 4.7). Erweist sich das Problem als simulationswürdig, bedarf es zudem der Entscheidung zur Eigen- oder Fremddurchführung der Simulationsstudie [Kosturiak & Gregor 1995, S. 104].

4.8.2 Situationsanalyse und Zielsetzung

Nach der grundlegenden Entscheidung für die Durchführung einer Simulationsstudie folgt die Situationsanalyse (Systemanalyse). Diese dient [Kosturiak & Gregor 1995, S. 109]:

- dem Erkennen und Abgrenzen des Problems,
- der grundsätzlichen Abklärung über Eingriffs- und Lösungsmöglichkeiten,
- dem Erarbeiten realistischer Zielsetzungen sowie
- der Vorbereitung der nachfolgenden Phase der Datenerhebung.

Es sollte eine möglichst exakte Beschreibung der Ausgangssituation (z.B. Prozesselemente und deren Verflechtungen, stochastische Einflüsse, wie Störungen, sowie der Prozessobjekte) erarbeitet werden, um damit die erforderliche Basis für die Formulierung konkreter Ziele zu schaffen [Kosturiak & Gregor 1995, S. 107]. Je nach Ausgangssituation kommen in der Situationsanalyse Methoden, wie die ABC-Analyse, Sensitivitätsanalyse, Erhebungsbogen oder das Interviewverfahren, zur Anwendung [Kosturiak & Gregor 1995, S. 108] (siehe [Krallmann et al. 1999, S. 56–77] zur Ist-Analyse). Ergebnisse der Situationsanalyse sind erkannte Mängel, Probleme und Chancen, welche als Informationsquelle für die Konkretisierung allgemeiner Zielvorstellungen bzw. für deren Korrektur verwendet werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 107].

4.8.3 Erhebung, Aufbereitung und Prüfung der Datenbasis

Bei einer Simulationsstudie sind Daten für den Modellentwurf, zur Modellvalidierung und zur Durchführung der Simulationsexperimente erforderlich [Page 1991, S. 149]. Selten liegen die erforderlichen Daten vollständig vor. In dieser Phase werden die für eine Simulation erforderlichen Daten (z.B. Werte für die Modellkonstanten, Anfangswerte der Modellvariablen oder Verteilungstypen der stochastischen

Modellgrößen) erhoben und simulationsspezifisch aufbereitet [Kosturiak & Gregor 1995, S. 110].

Kôsturiak & Gregor [1995, S. 110 f.] führen allgemeine Anforderungen an die Simulationsdaten auf. U.a. muss die Datenbasis vollständig sein, der festgelegten Modellgenauigkeit entsprechen, repräsentativ, in ausreichend großem Umfang vorliegen, reproduzierbar und aufbereitet sein. Letzteres z.B. in Form von Minimal-, Maximal-, Mittelwerten und der Standardabweichung für eine Stichprobe. Ziel der Datenerhebung sollten zwei Datenbestände als Teilmenge des Ausgangsbestandes sein [Page 1991, S. 149]. Ein Teil als unabhängige Basis für den Modellentwurf, ein zweiter Teil zum Zweck der Modellvalidierung. Unter Umständen können die Daten nicht, nicht-vollständig oder nicht in ausreichender Menge erhoben werden, so dass die Datenbasis schon für den Modellentwurf kaum ausreichend ist, und damit einer Zweiteilung entgegenstehen [Page 1991, S. 149].

Die einer Simulation zugrunde liegenden Daten beeinflussen wesentlich die Qualität und Gültigkeit der späteren Ergebnisse. Entsprechend ist vor Verwendung eine Prüfung der Daten auf Plausibilität und Richtigkeit unabdingbar [Kosturiak & Gregor 1995, S. 110]. Dies gilt insbesondere, wenn der Datenbestand schon für den Modellentwurf kaum ausreichend ist [Page 1991, S. 149]. Die Datengenauigkeit wird hauptsächlich durch die Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt beeinflusst, mit der die benötigten Daten erhoben werden [Küll & Stähly 1999, S. 3]. Darüber hinaus können z.B. Plausibilitätskontrollen unter Mitwirkung der Modellanwender und Experten, Datenanalysemethoden, Glättungsmethoden und Expertenbefragungen eingesetzt werden [Page 1991, S. 149]. Erhobene Stichproben können beispielsweise leicht mit entsprechenden statistischen Anpassungstests wie dem „Chi-Quadrat-Test“, auf ihren repräsentativen Wert hin überprüft werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 111–113].

Die Datenerhebung und -aufbereitung stellt i.d.R. einen hohen Anteil des Aufwandes bei einer Simulationsstudie dar und muss ggf. mehrfach durchlaufen werden. Beispielsweise bedarf einer Änderung im Modell, durch neue Schnittstellen oder weiterer Eingangswerte, implizit die Anpassung der erforderlichen Datenmenge [Küll & Stähly 1999, S. 6].

4.8.4 Systemabbildung (Modellbildung)

Eine Simulation bezieht sich immer auf ein reales oder gedankliches System bzw. einen Ausschnitt dessen (siehe Abschnitt 4.1 zu Systemen). Die Arbeit mit Systemen erfordert für die Anwendbarkeit der Computersimulation zunächst deren Darstellung in einem repräsentativen Abbild – einem (Computer-)Modell resp. algorithmischen Modell. Die Überführung eines Systems in ein Modell wird allgemein als

Modellierung bezeichnet [Rosemann 1996, S. 18]. Hierbei sind drei grundlegende Merkmale von Modellen zu unterscheiden und zu berücksichtigen [Stachowiak 1973, S. 131 ff.; Krallmann et al. 1999, S. 29 ff.]:

1. Abbildungsmerkmal:

Modelle repräsentieren über eine Abbildungsrelation ein reales System (einen Realweltausschnitt) [Stachowiak 1973, S. 131]. Eine Abbildungsrelation bezeichnet die Zuordnung von Modell-Attributen zu Original-Attributen [Stachowiak 1973, S. 132].

2. Verkürzungsmerkmal:

„Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals“ [Stachowiak 1973, S. 132]. Es wird von Details des realen Systems abstrahiert, was damit den Realweltausschnitt verkürzt. Indem irrelevante Sachverhalte eliminiert werden, reduziert sich die „real vorhandene Komplexität“ [Rosemann 1996, S. 18].

3. Pragmatisches Merkmal:

Der allgemeine Modellbegriff ist unter den folgenden pragmatischen Ausrichtungen zu sehen [Stachowiak 1973, S. 133]. „Modelle sind nicht nur Modelle *von etwas*. Sie sind auch Modelle *für jemanden*, einen Menschen oder einen künstlichen Modellbenutzer. Sie erfüllen dabei ihre Funktion *in der Zeit*, innerhalb eines Zeitintervalls.“ [Stachowiak 1973, S. 133]. Schließlich werden Modelle *zu einem bestimmten Zweck* (Modellierungsziele) konstruiert [Stachowiak 1973, S. 133]. Die Modellierungsziele haben direkten Einfluss auf das Abbildungsmerkmal und das Verkürzungsmerkmal. Dieser Einfluss von Modellierungszielen auf die Modellkomponenten bezeichnet Rosemann als Zweckrelation [Rosemann 1996, S. 18 f.].

Der Prozess der Modellerstellung wird in der Literatur unterschiedlich detailliert und teils mit sich unterscheidendem Fokus beschrieben (siehe [Page 1991, S. 10 ff.; Kosturiak & Gregor 1995, S. 119 ff.; 123; Rosemann 1996, S. 17 ff.; Müller 1998, S. 29 ff.; Bossel 2004, S. 25] zum Prozess der Modellbildung).

Im ersten Schritt der Modellbildung erfolgt ausgehend von der zu untersuchenden Fragestellung (Modellierungsziel) die Abgrenzung des zu modellierenden Realsystems von seiner Umgebung und die Erfassung der Systemstruktur [Page 1991, S. 13]. Der abzubildende Realweltausschnitt, inkl. des relevanten Umweltausschnitts, wird anschließend weiterer subjektiver Verkürzungen durch den Modellersteller unterzogen. Es wird entschieden, welche Systemaspekte für die zu untersuchende

Fragestellung von Bedeutung sind und welche keiner Berücksichtigung bedürfen [Page 1991, S. 13]. In diesem Abstraktionsschritt werden relevante Systemobjekte, ihre Attribute und deren Beziehungen zueinander beschrieben [Page 1991, S. 13] (vgl. Abschnitt 4.1). Es gilt das richtige Maß zu finden, an zielbezogen erforderlichen Abbildungsmerkmalen, welche die Komplexität des Modells erhöhen, und dem Grad der Abstraktion. Letzteres vermag die Realitätsnähe des Modells zu verringern und damit könnte sich die Zulässigkeit der Rückschlüsse auf die Wirklichkeit einschränken. Im Ergebnis steht ein konzeptionelles Modell, welches häufig zunächst informal (z.B. in Struktur-, Kausal- oder Flussdiagrammen) beschrieben wird [Page 1991, S. 13] (siehe Abb. 25). Anschließend erfolgt die Wahl des Modelltyps [Page 1991, S. 13] (siehe hierzu Abschnitt 4.5). Abhängig von der zugrunde liegenden Fragestellung und der angestrebten Betrachtungsweise kann ein System oft durch Modelle verschiedenen Typs repräsentiert werden, z.B. durch ein informales Prozessmodell, ein formales, mathematisches Modell, ein algorithmisches oder ein physikalisches Modell (siehe hierzu Abschnitt 4.5). Im Zuge der Modellerstellung ist u.a. zu entscheiden, ob das System bzw. ein Teil dessen durch Zufallsprozesse in einem stochastischen³⁴ oder eher in einem deterministischen Modell zu beschreiben ist [Page 1991, S. 13]. Nissen & Biethahn [1999, S. 108] führen aus, dass komplexe Realsysteme für gewöhnlich nicht vollständig deterministisch sind. Im Rahmen der Modellabstraktion werden häufig Annahmen getroffen, welche stochastische Einflüsse verdrängen im Sinne einer rein deterministischen Abbildung. Wie Nissen & Biethahn aber weiter ausführen, kann es durchaus sein, dass eben solche stochastischen Einflüsse und ungewisse Systemgrößen einen „wesentlichen Einfluss auf den Systemablauf“ [Nissen & Biethahn 1999, S. 108] haben können. In solchen Fällen sind die im deterministischen Modell gewonnenen Ergebnisse aufgrund zu starker Vereinfachungen nicht auf die stochastische Realität übertragbar [Nissen & Biethahn 1999, S. 108].

Die Modellimplementierung bezeichnet allgemein die Überführung des konzeptionellen Modells in ein Modellsystem in der gewählten Form [Page 1991, S. 15]. Bei der Implementierung des Modells ist auf eine Struktur- und Verhaltenstreue zu achten [Rosemann 1996, S. 18]. Die Abbildung in einem Modell setzt voraus, dass die Bedeutung (Semantik) der im Metamodell spezifizierten Sprachelemente bekannt sind [Rosemann 1996, S. 18]. Mit Blick auf das in der vorliegenden Arbeit gegenständliche algorithmische Modell (Computermodell) ist eine Auswahl

³⁴ „In stochastischen Modellen lassen sich auch solche Komponenten des Systems durch Zufallsprozesse nachbilden, die zwar prinzipiell deterministisch beschreibbar wären, aufgrund ihrer Komplexität und Undurchschaubarkeit aber ein zufällig erscheinendes Verhalten zeigen“ [Page 1991, S. 13 f.]. Die Abbildung deterministischer Systeme auf stochastische Modelle bezeichnet Page als ein wichtiges Mittel zur Komplexitätsreduktion [Page 1991, S. 13 f.].

hinsichtlich der für die Implementierung einzusetzende Programmiersprache (Metamodell) zu treffen, resp. des einzusetzenden Softwaresystems. Im Ergebnis der Implementierung steht dann ein ablauffähiges Computermodell [Page 1991, S. 15]. Hierbei ist auf Konsistenz und Vollständigkeit zu prüfen. Der beschriebene Ablauf ist in Abb. 25 veranschaulicht.

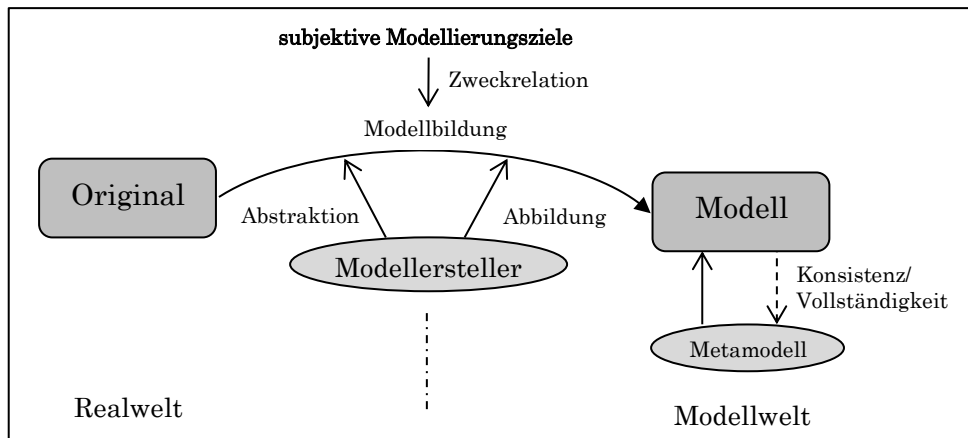


Abb. 25: Schematischer Ablauf der Modellerstellung (in Anlehnung an Rosemann [1996, S. 19])

Wie ausgeführt wurde, ist die Güte des Modells stark abhängig von der Erfahrung des Modellerstellers. Spätere Simulationsergebnisse können, z.B. durch nicht modellierte Sachverhalte, bedingt durch einen falschen Abstraktionsgrad, nicht modellierte Dynamik oder Parameterungenauigkeiten verfälscht [Salzwedel & James 1983, S. C-17 ff.], im schlimmsten Fall sogar gänzlich unbrauchbar werden. Bei der Modellierung kann hierauf bereits eingewirkt werden, indem stochastische Sachverhalte des abzubildenden Systems auch im Modell und der späteren Simulation einbezogen werden (mittels der bereits im Abschnitt 4.6 ausgeführten Monte-Carlo-Simulation) oder Parameterungenauigkeit reduziert werden, indem im Modell keine punktuellen Werte, sondern Funktionen (z.B. Mittelwert, Standardabweichung) mit Schwankungsbreiten (obere, untere Schranken) vorgesehen werden.

4.8.5 Validierung und Verifizierung des Simulationsmodells

Die Durchführung einer Simulation soll zuverlässige Resultate und Entscheidungshilfen liefern. Es gilt zu klären, ob das Modell konsistent ist, ob alle zur Beantwortung der Fragestellung relevanten Eigenschaften abgebildet sind und es für den Untersuchungszweck angemessen ist [Wenzel 2008, S. 31 f.]. Da sich dies im Allgemeinen nicht formal nachweisen lässt, ist das eigentliche Ziel der Validierung und Verifizierung die „Erreichung der Glaubwürdigkeit des Modells“ [Wenzel 2008, S. 32]. Validierung (hinreichende Übereinstimmung von Modell und Original) und Verifizierung (Prüfung auf korrekte Abbildung) des Simulationsmodells sind wichtige

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

Schritte, um dies zu erreichen (siehe hierzu [Verein Deutscher Ingenieure 2014, S. 37]). Wie bereits ausgeführt wurde, ist dies als ein begleitender Prozess zu verstehen, welcher sich über alle Phasen einer Simulationsstudie, insbesondere die Datenerhebung, den Modellentwurf, die Implementierung und die Simulation selber erstreckt (siehe Abb. 26). Die Richtigkeit eines Modells lässt sich nicht allgemein, unabhängig von den betrachteten Fragestellungen, getroffenen Zielsetzungen und Bewertungen nachweisen [Page 1991, S. 16] (vgl. [Müller 1998, S. 181]). Auch existiert keinen allumfassender, allgemeingültiger Test auf Validität [Law 2015, S. 247; Page 1991, S. 16]. Rabe et al. [2008, S. 93 ff.] geben einen Überblick zu den Techniken und Einsatzmöglichkeiten in den Phasen der Simulationsstudie.

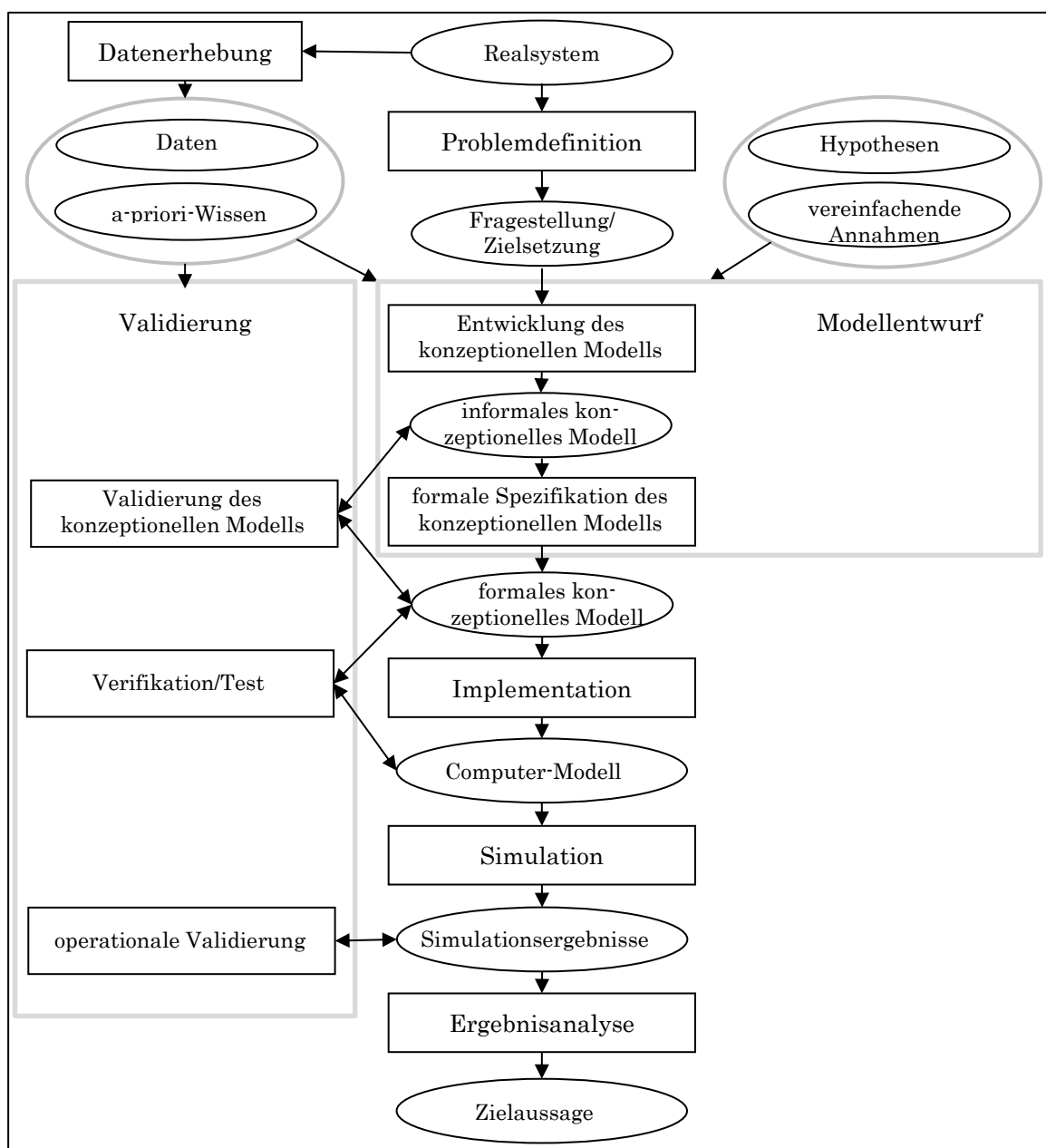


Abb. 26: Validierung und Verifizierung entlang der Phasen der Modellbildung [Page 1991, S. 12]

In Unterabschnitt 4.8.3 wurde die Validierung bereits in Bezug auf die Datenbasis erläutert. Im Folgenden wird auf die sinnvollen und erforderlichen Ansätze zur Prüfung des Modellentwurfs eingegangen. Page führt, wie in Abb. 26 veranschaulicht, mit der Validierung des konzeptionellen Modells, Modellverifikation und der Operationalen Modellvalidierung drei Ansatzpunkte in Bezug auf das erstellte Computermodell auf (siehe hierzu [Page 1991, S. 145–155] im Detail).

(a) Validierung des konzeptionellen Modells

Die Validierung des konzeptionellen Modells bezieht sich auf die Prüfung der Ableitung des konzeptionellen Modells vom Realsystem [Page 1991, S. 16]. „Es wird u.a. geprüft, ob das konzeptionelle Modell gemessen am jeweiligen Untersuchungsziel hinreichend genau beschrieben und in seinen wesentlichen Systemobjekten, -attributen und -beziehungen korrekt erfasst ist“ (externer Vergleich mit dem Realsystem) [Page 1991, S. 16].

Page führt folgende Ansatzpunkte auf [Page 1991, S. 149]:

- Überprüfung der Hypothese und vereinfachenden Annahmen, z.B. durch Expertenbefragungen und statistische Anpassungstests,
- Datenverifikation (Qualitätsprüfung) und die
- Strukturprüfung, z.B. durch Begutachtung von Struktur- und Ablaufdiagrammen durch Experten.

Zunächst sollte eine Überprüfung der Hypothesen und vereinfachenden Annahmen erfolgen. Hierbei wird auf eine hinreichende Übereinstimmung von Modell und originalem System sowie eine den Zielvorstellungen entsprechende Nachbildung der Realität geachtet. Eine statistische Prüfung mit empirischen Daten kann genutzt werden, um zu zeigen, ob die jeweiligen Vereinfachungen eine zu große Abweichung zur Folge haben. Zudem können Experten mit ihrem Wissen und Erfahrungen die Annahmen untermauern oder widerlegen [Page 1991, S. 149]. Spätestens an dieser Stelle ist die in Unterabschnitt 4.8.3 beschriebene Datenvalidierung, speziell bezogen auf den jetzt zur Modellvalidierung erforderlichen Datenbestand, durchzuführen. Datenverifikation bezeichnet nach Page die Qualitätsprüfung aller in einer Modellstudie verwendeten Daten [Page 1991, S. 149]. Diese ist insbesondere wichtig, wenn keine Zweiteilung des Datenbestandes vorliegt. Weiterhin ist eine Strukturprüfung sinnvoll. Der innere Aufbau des Modells wird auf seine Plausibilität getestet [Page 1991, S. 149]. Es existieren hierfür keine exakten Verfahren, weshalb sich eine Einbeziehung von nicht am Modellentwurf beteiligten Personen anbietet [Page 1991, S. 149]. Unter Berücksichtigung des definierten Untersuchungsziels wird auf ein richtiges Aggregationsniveau, problemrelevante Objekte sowie korrekt erfasste Attribute und Beziehungen geachtet [Page 1991, S. 149]. Eine ausreichende Transparenz der Struktur ist dabei unabdingbar.

(b) Modellverifikation

Unter Modellverifikation wird eine Überprüfung der Abbildung des konzeptionellen Modells auf das Computer-Modell verstanden [Law 2015, S. 251; Page 1991, S. 150]. Es stellt sich die Frage, ob „das mit Hilfe der ausgewählten Implementierungssprache erstellte Programm das konzeptionelle Modell korrekt wiedergibt“ [Page 1991, S. 150]. Selten sind hier gemachte Fehler auf den ersten Blick zu erkennen. Deswegen sollten auch als plausibel erscheinende Ergebnisse in ausgewählten Fällen überprüft werden [Page 1991, S. 150]. Eine saubere Anwendung bewährter Methoden des Software-Engineerings³⁵ kann ebenso wie die Verwendung leistungsfähiger Testhilfen und Programmtestmethoden dienlich sein [Page 1991, S. 150]. Law [2015, S. 251 ff.] gibt eine Übersicht möglicher Techniken zur Modellverifikation.

(c) Operationale Modellvalidierung

Der wohl maßgeblichste Test ist die operationale Modellvalidierung, welche den Test der Verhaltensgültigkeit auf operative Weise zum Gegenstand hat (siehe hierzu [Law 2015, S. 262 ff.; Müller 1998, S. 183; Page 1991, S. 150 ff.]). Mittels zahlreicher Vorab-Simulationsläufe wird die Ähnlichkeit der Abläufe im Realsystem und dem Modell verglichen. Anhand der erhaltenen Ergebniswerte kann das dynamische Modellverhalten quantitativ ergründet werden. Folgende Ansätze bieten sich hierfür an [Page 1991, S. 150 ff.]:

- Plausibilitätsprüfung,
- Sensitivitätsanalyse,
- Outputvergleiche und Kalibrierung sowie die
- prognostische und dynamische Gültigkeitsprüfung.

Mit einer Plausibilitätsprüfung kann das plausible Verhalten des Modells und seiner Komponenten untersucht werden. Es können analytische Alternativmodelle geringer Komplexität erstellt werden, um für einige Spezialfälle den Vergleich mit dem Realsystem zu ermöglichen. Ebenso können Modellanwender und Wissensträger des realen Systems eingesetzt werden, um das Modellverhalten zu interpretieren und hinsichtlich der Plausibilität zu beurteilen [Page 1991, S. 150].

Mit einer Sensitivitätsanalyse kann betrachtet werden, wie die Modellausgaben auf Änderungen der Modellstruktur und Modelleingaben (z.B. Modellparameter), reagieren [Page 1991, S. 151] (siehe [Müller 1998, S. 200 ff.; Domschke et al. 2011, S. 43 ff.] zur Sensitivitätsanalyse/Empfindlichkeitsanalyse). Hiermit kann herausgefunden werden, von welchen (exogenen) Variablen, Relationen oder Parametern die Modellergebnisse am stärksten abhängen, was wiederum einen

³⁵ Schrittweise Programmentwicklung und -verfeinerung, Modularisierung, systematische Programmdokumentation, etc.

Schluss auf eventuelle Strukturfehler im Modell oder kritische Größen zulässt [Page 1991, S. 151]. Zudem lässt sich zeigen, ob bestimmte Modellresultate nur für einen eingeschränkten Wertebereich der Parameter gültig sind. Weiterhin ergeben sich Erkenntnisse über die Prognosequalität und Stabilität des Modells [Page 1991, S. 151]. Zudem gibt die erfahrene Sensitivität der Komponenten bzw. des Modells im Gesamten Aufschluss über den richtigen Grad der Abbildungsgenauigkeit. Weniger sensitive Modelle bedürfen einer geringeren Abbildungsgenauigkeit als empfindsamere [Page 1991, S. 151].

Eine zentrale Rolle nimmt der Outputvergleich ein (siehe [Page 1991, S. 151 ff.] zum Outputvergleich). Die einfachste Variante besteht darin, die Ergebnisse der Simulationsläufe mit den Beobachtungen oder Kennwerten des realen Systems zu vergleichen. Dazu eignen sich Kennzahlen mit ihren jeweiligen Minimum-, Maximum-, Mittel- oder Medianwerten. Auch statistische Verfahren, wie der (Zweistichproben-) χ^2 -Test, Rangtest sowie die Bestimmung eines Konfidenzintervalls, sind hierbei hilfreich [Page 1991, S. 151] (siehe [Roberts et al. 2010, S. 1741; Brunner & Munzel 2013, S. 80 f.] zum Konfidenzintervall und [Page 1991, S. 128 ff.] zur Berechnung)). Die Modellvalidierung in dieser Form erweist sich als sehr schwierig für Fälle, wo vergleichbare Ist-Daten nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stehen³⁶. Ein weiter Ansatz des Outputvergleichs besteht darin, historische Daten des Realsystems als Eingangsdaten des Modells zu benutzen, um zu prüfen, ob die Simulationsergebnisse den bekannten Ergebniswerten des Realsystems ähnlich sind [Page 1991, S. 152]. Auch hier können statistische Verfahren, wie der (Zweistichproben-) χ^2 -Test, das Konfidenzintervall oder der Kolmogorow-Smirnow-Test zur Auswertung genutzt werden [Law 2015, S. 269 ff.]. Outputvergleiche haben einen hohen Bedarf an detaillierten Eingangs- und Ergebnisdaten des Ist-Systems und nur eine begrenzte Allgemeingültigkeit. Auch wenn die Outputvergleiche signifikante Abweichungen aufzeigen, kann das Modell gültig sein [Page 1991, S. 152]. Ebenso finden Outputvergleiche ihre Grenze, wenn mehrdimensionale Problemstellungen vorliegen und damit mehrere Ergebnisvariablen gleichzeitig analysiert werden müssen [Page 1991, S. 152 f.]. Auch ist zu beachten, dass Outputvergleiche nur dann anwendbar sind, wenn alle Zustände eines Modells durch die Eingabewerte steuerbar sind bzw. beeinflusst werden können [Arezki et al. 2012]. Entsprechend werden zusätzlich auch qualitative Tests angeraten, z.B. der Blindversuch, indem Fachleuten die Ergebnisdaten des Modells und des Realsystems vorgelegt werden, mit der Aufgabe, diese voneinander zu unterscheiden (Turing-Test) [Law 2015, S. 265; Page 1991, S. 153]. Gelingt dies nicht, wäre dies ein Indiz für die korrekte Modellumsetzung.

³⁶ z.B.: bei einem Systemneuentwurf.

Einen anderen Ansatz verfolgt die Kalibrierung des Modellsystems. Ungenaue und nicht im Realsystem bestimmbare Modellparameter werden eingestellt (justiert), mit dem Ziel der Anpassung des Modells an das Original [Page 1991, S. 153]. Die Gefahr besteht in der subjektiven Bestimmung der Manipulationen. Im Extremfall könnte solange an allen Parametern gestellt werden, bis die Ergebniswerte mit den Realdaten übereinstimmen, was nicht Ziel der Kalibrierung sein kann [Page 1991, S. 153]. Das Instrument sollte sparsam eingesetzt und auf Parameter beschränkt werden, die sich in der Sensitivitätsanalyse als unkritisch erwiesen haben [Page 1991, S. 153]. Weiterhin muss sich die Kalibrierung auf einen empirisch abgesicherten oder als realistisch betrachteten Wertebereich beziehen [Page 1991, S. 154].

Schließlich kann die operationale Modellvalidierung aus dem Nachweis der prognostischen und dynamischen Gültigkeit des Modells bestehen [Page 1991, S. 154]. Hierbei handelt es sich um einen Praxistest, indem das Modell tatsächlich in der Praxis, z.B. als routinemäßiges Planungs- und Entscheidungsinstrument, eingesetzt wird. Es muss sich zeigen, dass die prognostischen Werte des Modells mit den eintretenden Ereignissen übereinstimmen³⁷ und sich das Modell dauerhaft in der Praxis bewährt [Page 1991, S. 154]. Auch bei diesem Vorgehen handelt es sich demnach um eine Art des Outputvergleichs. Es kommen somit die gleichen statistischen und qualitativen Verfahren zum Einsatz. Auftretende Abweichungen können Hinweise auf notwendige Korrekturen geben.

Die hier aufgeführten Varianten und Möglichkeiten der Modellprüfung können nur selten alle durchlaufen werden, da die Modelltypen und verfügbaren Daten dies eventuell nicht zulassen. Es ist daher sinnvoll, nur eine an den Einzelfall angepasste Auswahl an Prüfungen zu durchlaufen [Page 1991, S. 155].

Neben den potentiellen Fehlerquellen, die sich direkt im Modellbildungsprozess ergeben, können weitere Fehler aus der Anwendung des Modells, der Durchführung der Simulationsexperimente sowie bei der Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse resultieren. Wird eine Unstimmigkeit oder ein Fehler aufgedeckt, so bedarf es eines Rückkopplungsschrittes an die jeweilige Phase der Simulationsstudie (siehe Abb. 24 zur Vorgehensweise bei dem Einsatz der Simulation).

³⁷ Prognosefähigkeit.

4.8.6 Versuchsplanung und Simulationsexperimente

Unter Simulationsexperiment wird hier die ausführende Tätigkeit (das Experimentieren) an einem Simulationsmodell verstanden, ohne Intervention des Menschen, z.B. im Sinne von zu treffenden Entscheidungen zur Laufzeit (vgl. [Müller 1998, S. 41]). Wie Rosemann treffend formuliert, sind Modelle „Mittel für andere Zwecke“ [Rosemann 1996, S. 19]. So können Modelle, welche zum Zweck einer Simulation erstellt werden, dem weiterführenden Zweck als Erklärungsmodelle bzw. Entscheidungs-/Gestaltungsmodelle dienen [Rosemann 1996, S. 19; Küll & Stähly 1999, S. 2 f.]. Entsprechend richtet sich die Planung der Simulationsexperimente (Versuchsplanung) an dem definierten Ziel der Simulation und dem Zweck des zugrunde gelegten Modells aus. Im Folgenden werden Simulationsexperimente auf Computermodelle bezogen.

Die experimentell veränderbaren Größen eines Modells werden in der Literatur als Faktoren bezeichnet, deren quantitative Werte oder qualitative Ausprägungen Faktorstufen bilden [Page 1991, S. 141] (vgl. [Küll & Stähly 1999, S. 7]). Die Gesamtmenge der Kombination aller bei einem Experiment möglichen Faktorstufen bilden den Faktorraum [Page 1991, S. 141]. Durch die Festlegung einer Faktorstufe bzw. einer Kombination von Faktorstufen wird ein Punkt im Faktorraum bestimmt [Page 1991, S. 141]. Im Rahmen dieser Arbeit wird Optimierungsparameter oder Planungsgröße synonym für Faktor und Lösungsraum für den Faktorraum verwendet. Der Punkt im Faktorraum wird im Weiteren auch als Lösung bezeichnet.

Im Falle eines Erklärungsmodells wird ein Versuchsplan - ein definierter Umfang an Faktoren, mit einem Umfang an Stufen - in einer definierten zeitlichen Folge an das Simulationsmodell als Eingangswerte („wenn“) übergeben (vgl. [Küll & Stähly 1999, S. 2]). Die Ergebnisse aus der Simulation („dann“) werden analysiert, um daran das Verhalten des Modells zu erklären (siehe Abb. 27).

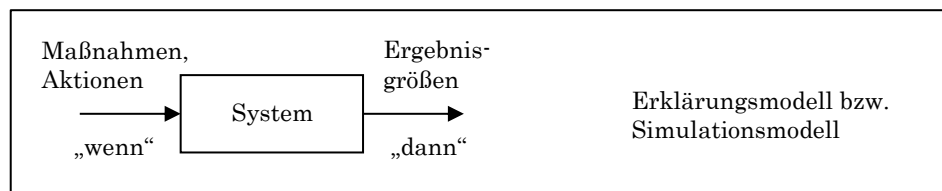


Abb. 27: Schematische Darstellung zum Erklärungsmodell (verkürzte Darstellung nach Küll & Stähly [1999, S. 3])

Im Detail müssen die folgenden Punkte bei der Versuchsplanung berücksichtigt werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 125]:

- Bestimmung der Simulationsvarianten,
- Bestimmung der Reihenfolge zur Durchführung der einzelnen Varianten,

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

- Bestimmung der Dauer jedes Simulationslaufes,
- Bestimmung der Anzahl von Simulationsläufen für einzelne Varianten,
- Bestimmung der Anfangsbedingungen für einzelne Simulationsvarianten und
- Bestimmung der Parameterbereiche für einzelne Varianten.

Zur Ausgestaltung der Versuchsplanung und Arten von Versuchsplänen siehe [Küll & Stähly 1999, S. 8 ff.; Kosturiak & Gregor 1995, S. 125 ff.].

Die Planung der Simulationsdurchläufe sollte mit großer Sorgfalt erfolgen, um den Aufwand für die Durchführung der Experimente möglichst gering zu halten und die Anzahl der Simulationsläufe auf den erforderlichen Umfang zu reduzieren. Die Durchführung darf kein zufälliges Probieren am Modell und den Modellparametern sein [Kosturiak & Gregor 1995, S. 125]. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse können in der Planung der Simulationsexperimente wichtige Faktoren und die relevanten Faktorstufen herausgefiltert werden (Screening) [Page 1991, S. 141], um den Versuchsplan möglichst optimal zu gestalten. Daneben können sich auch Vorabinformationen über das Realsystem als hilfreich erweisen. Sie können ebenfalls eingesetzt werden, um für die Praxis nicht relevante Faktorstufen auszuschließen [Page 1991, S. 142].

Bei der Durchführung der Simulationsexperimente werden die festgelegten Varianten- und Parameterkonstellationen durchlaufen. Bei stochastischen Simulationsmodellen unterliegen die Simulationsergebnisse zufälligen Schwankungen [Nissen & Biethahn 1999, S. 114]. Es bedarf daher mehrerer Durchläufe je Simulationsexperiment, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten [Nissen & Biethahn 1999, S. 114].

In Bezug auf die Versuchsplanung bei Entscheidungs-, Gestaltungs- oder gar Optimierungsmodellen wird noch auf folgende Punkte hingewiesen: Eine Simulation ist von sich aus kein selbstopoptimierendes Verfahren - eine optimale Kombination der Eingangsparameter ist im Ergebnis nicht zu erwarten [Kosturiak & Gregor 1995, S. 125]. Ergebniswerte können aber miteinander verglichen werden, um festzustellen, welche Eingangswerte die besten Ergebnisse liefern. Dieses Vorgehen, mit dem Ziel die Eingangswerte zu finden, welche zu einem optimalen Output führen, wird als Optimierung bezeichnet (siehe hierzu Abschnitt 4.9).

4.8.7 Ergebnisanalyse und Interpretation

Die in der Versuchsplanung entwickelten Simulationsexperimente liefern im Ergebnis statistische Größen für ein gegebenes Intervall (Stichproben) [Kosturiak & Gregor 1995, S. 130]. Bevor die Ausgabedaten der Simulationsläufe als Planungs- und Entscheidungsgrundlagen verwendet werden können, müssen diese (als eine Stichprobe) analysiert und interpretiert werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 130]. Um dies zu ermöglichen, bedarf es statistischer Methoden und grafischer Werkzeuge zur Aufbereitung und Aggregation der Ausgabedaten (siehe hierzu [Kosturiak & Gregor 1995, S. 130 ff.; Page 1991, S. 127 ff.]). Die Aufbereitung der Simulationsergebnisse allein gibt noch keine Antwort auf die Fragestellung der Simulationsziele. Im Rahmen der anschließenden Ergebnisanalyse werden zum Beispiel die Simulationsdaten aus unterschiedlichen Läufen verglichen, um die Auswirkungen der Eingabewerte auf das Modellverhalten zu untersuchen und Rückschlüsse zu ziehen (interpretieren). Die Simulationsergebnisse können mittels Kennzahlen (z.B. Durchlaufzeit) bemessen und transparent gemacht werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 136]. Für die Bewertung von schwer zu quantifizierbaren oder widersprüchlichen Kriterien kann die Nutzwertanalyse dienen [Kosturiak & Gregor 1995, S. 136]. Grundsätzlich kann eine Bewertung (Interpretation) der Ergebnisse nur auf der Grundlage der ursprünglichen Fragestellung und Zielsetzung der Simulationsstudie erfolgen. Wenn im Verlauf des Modellbildungsprozesses Einschränkungen vorgenommen wurden, welche die Anwendbarkeit des Modells betreffen, müssen diese bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 130]. Nur auf diese Art und Weise ist eine Übertragung der aus der Analyse gewonnenen Aussagen auf das Realsystem zulässig.

In Bezug auf die Ergebniswerte einer Simulation ist zu beachten, dass Simulationsmodelle gewissen Einschwingphasen unterliegen können, zu denen die Simulationsergebnisse nicht repräsentativ sind. Als Einschwingphase wird der Zeitraum bezeichnet, welchen das Modell benötigt, um sich einem stationären Zustand hinreichend anzunähern [Page 1991, S. 122; Wenzel 2008, S. 140 f.]. Die Ergebniswerte sind um die Werte während der Einschwingphase zu bereinigen, sofern diese nicht direkter Betrachtungsgegenstand sind. Häufig lässt sich die Dauer der Einschwingphase nur schätzen. Page zeigt diesbezüglich einige Schätzverfahren auf (siehe [Page 1991, S. 122 ff.]).

Ferner weist Page explizit darauf hin, dass in Bezug auf die Stichprobenwerte Angaben zur Schätzgenauigkeit der Simulationsergebnisse auf die unbekannte Grundgesamtheit erforderlich sind, z.B. das Konfidenzintervall [Page 1991, S. 127]. Das Konfidenzintervall bezieht sich auf einen Unsicherheitsbereich in Bezug auf

einen betrachteten Ergebniswert [Roberts et al. 2010, S. 1741]. Es gibt mit einer definierten Wahrscheinlichkeit, z.B. 95 %, an, in welchem Bereich sich der tatsächliche (wahre) Wert befindet, z.B. Mittelwert von 30 +/-1. Das heißt, mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % ist der Mittelwert im (Konfidenz-) Intervall von 29 und 31 (siehe [Page 1991, S. 127 ff.] zur Berechnung). Page führt aus: „Modellergebnisse in Form von Stichprobenmittelwerten ohne Konfidenzintervalle sind nahezu bedeutungslos.“ [Page 1991, S. 127].

4.8.8 Dokumentation

Die Dokumentation hat einen hohen Stellenwert in Bezug auf die Transparenz und die damit verbundene Vertrauenswürdigkeit des Simulationsmodells [Page 1991, S. 155]. Nicht nur während der Ergebnisanalyse sowie Interpretation ist die Dokumentation der Ergebniswerte und der abgeleiteten Aussagen wichtig, sondern für die gesamte Simulationsstudie sollte parallel zu allen Phasen der Studie eine ausführliche Dokumentation erfolgen [Page 1991, S. 18, 155; Kosturiak & Gregor 1995, S. 67]. Ziel der Dokumentation sollte es sein, den Anwender in die Lage zu versetzen [Page 1991, S. 155]:

- die Qualität des Modells zu beurteilen,
- durchgeführte Simulationsexperimente zu wiederholen und ggf. eigene Experimente durchzuführen sowie
- ggf. eigene Arbeiten auf dem Simulationsmodell aufzubauen oder fortzuführen.

Wie dies erkennen lässt, darf die Dokumentation keinesfalls auf das Simulationsmodell (Computerprogramm) beschränkt sein [Page 1991, S. 155]. Vielmehr muss eine explizite Problemdefinition, ebenso wie eine genaue und verständliche Darstellung des konzeptionellen Modells (inkl. Annahmen und Abstraktionen), dokumentiert sein. Auch die Bemühungen um die Validierung und Erklärung der Ergebnisse dürfen nicht fehlen. Alle Simulationsuntersuchungen, ihre Randbedingungen und Parameter müssen vollständig enthalten sein (siehe [Page 1991, S. 156] zu einer detaillierten Aufstellung). Es muss ferner darauf geachtet werden, dass die Ergebnisse ggf. als Entscheidungsbasis benötigt werden, d.h., die Ergebnisse sollten in Form der Schlüsse und nicht nur auf den Lösungsweg bezogen dargestellt werden [Kosturiak & Gregor 1995, S. 136].

4.9 Optimierung mittels Simulation

Wie bereits ausgeführt wurde, sind Modelle „Mittel für andere Zwecke“ [Rosemann 1996, S. 19]. Optimierungsmodelle sind der Aufgabe gewidmet zur „Suche nach Systemkonfigurationen und der Systemparameter, bei denen die Zielfunktion Maximum oder Minimum erreicht“ [Kosturiak & Gregor 1995, S. 16]. Mit anderen Worten: es werden am Modell Eingangsgrößen des abgebildeten Systems gesucht, welche, gemessen an den Zielgrößen, zu einem möglichst optimalen Output führen [März & Weigert 2011, S. 11] (siehe Abb. 28).

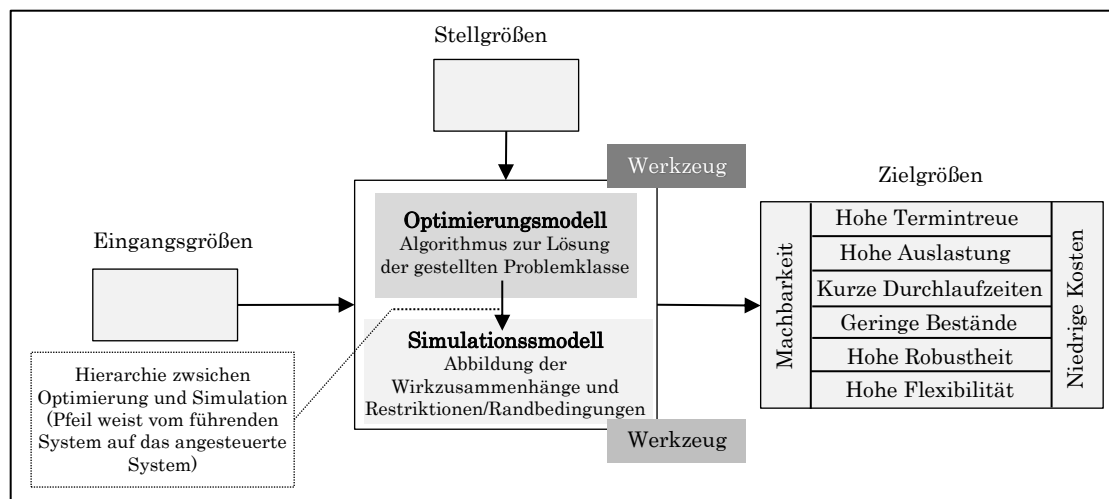


Abb. 28: Zusammenwirken von Simulation und Optimierung [März et al. 2011, S. xii]

Eine simulationsbasierte Optimierung wird dann eingesetzt, wenn die Lösung experimentell gesucht wird, weil z.B. die zu optimierende Problemstellung mit rein mathematischen Modellen nicht exakt abgebildet werden kann und/oder eine exakte analytische Lösung nicht möglich ist (siehe Abschnitte 4.3, 2.3 (a) in Bezug auf das Problem des Handlungsreisenden). So versagen z.B. Gemischt-ganzzahlige Optimierungsmodelle (wie auch lineare Optimierungsmodelle), wenn die Zielfunktionen und/oder Restriktionen nicht-linear sind oder nicht-lineare Bestandteile aufweisen [Suhl et al. 2009, S. 13], z.B. Wasserbewegungen (Wellen), welche sich überschlagen. Auch Hammel & Bäck [1998, S. 1] weisen darauf hin und führen aus, dass die mathematische Abbildung der Problemstellung ein Hindernis darstellt und es mindestens einer zweifach stetigen Differenzierbarkeit der zur optimierenden Funktion bedarf, um auf analytischem Wege gelöst werden zu können. „In der Regel liegt die Funktion aber nicht einmal in geschlossener Form vor, [...]“ [Hammel & Bäck 1998, S. 1]. Auch dort wo dynamisches Verhalten zugrunde liegt und ausführbare Modelle zur validen Abbildung erforderlich sind, kommt die simulationsbasierte Optimierung zum Einsatz.

Das prinzipielle Vorgehen bei der Optimierung mittels eines Simulationsmodells ist in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht (siehe Abb. 29).

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

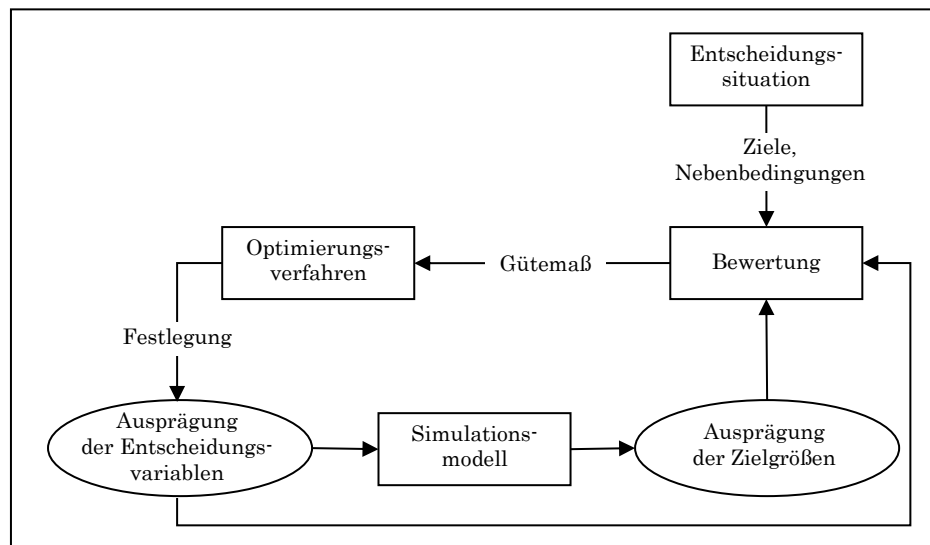


Abb. 29: Optimierung eines Simulationsmodells [Nissen & Biethahn 1999, S. 114]

Die definierten Optimierungsgrößen (Faktoren) repräsentieren die Entscheidungssituation. Im Rahmen eines Versuchsplans werden verschiedene Ausprägungen der Optimierungsgrößen an das Simulationsmodell übergeben und simuliert (siehe Unterabschnitt 4.8.6 zur Versuchsplanung). Der durch die Simulation erzeugte Output wird an den definierten Zielen der Untersuchung gemessen, woraus sich die „Güte“ der Optimierungsgrößen ergibt. Ist das Maß nicht ausreichend, folgt ein weiterer Durchlauf, bei dem die Optimierungsgrößen angepasst und erneut simuliert werden [Nissen & Biethahn 1999, S. 114] (vgl. Abschnitt 4.1 zur Steuerung & Regelung von Systemen – Wesen der Kybernetik).

Für die Suche nach dem Optimum existiert eine Reihe an experimentellen Methoden. Gängige (heuristische) Verfahren sind u.a. [Page 1991, S. 142] (siehe [Page 1991, S. 142 f.] zur Erläuterung der einzelnen Methoden):

- Methode des gleichförmigen Rasterns,
- stochastische Suche,
- Methode des steilsten Anstieges,
- Einzelfaktor-Methode und die
- Mutationsmethode.

Selbst wenn eines dieser Verfahren zum Einsatz kommt, wird eine Vielzahl von Simulationsläufen benötigt [Page 1991, S. 143]. Es sei noch einmal betont, dass ein optimales Ergebnis nicht mit Garantie zu erwarten ist. Für viele ökonomische Aufgabenstellungen reicht es jedoch aus in ein definiertes Zielgebiet (vorgegebenem Anspruchsniveau) zu gelangen [Müller 1998, S. 48].

Sind die heuristischen Verfahren nicht problemspezifisch und bedürfen einer Anpassung an die Problemstellung, werden diese als Metaheuristik bezeichnet [González 2007, S. 24-11]. Metaheuristiken bauen auf der lokalen Suche auf und vollziehen eine sukzessive Verbesserung einer Lösung [Suhl et al. 2009, S. 13]. Auf eine Auswahl dieser Methoden wird im Folgenden eingegangen. Zunächst wird das Hillclimbing (keine Metaheuristik) beschrieben. In diesem Zusammenhang wird auf das Problem lokaler Optima, in Bezug auf den Lösungsraum bei komplexen Problemstellungen, eingegangen, um daran den Vorteil einer Metaheuristik aufzuzeigen.

4.9.1 Hillclimbing-Algorithmen

Hillclimbing bezeichnen eine Strategie, welche auf der Suche nach einem Optimum dem Prinzip eines Bergsteigers folgt (siehe [Weicker 2007, S. 49, 42, 54; Gerdes et al. 2004, S. 25; Michalewicz & Fogel 2000, S. 43–45; Bäck 1996, S. 10] zum Hillclimbing). Die Suche beginnt an einem zufällig gewählten Startpunkt a , welcher ein Punkt des Suchraums S sein muss [Gerdes et al. 2004, S. 25]. Das Fortschreiten im Suchraum wird durch die Festlegung einer Schrittweite für die Suche nach Verbesserungen in der Umgebung (also der „Nachbarschaft“) bestimmt. Speziell in stark strukturierten Lösungsräumen ist die Festlegung der Schrittweite schwierig (siehe Abb. 30).

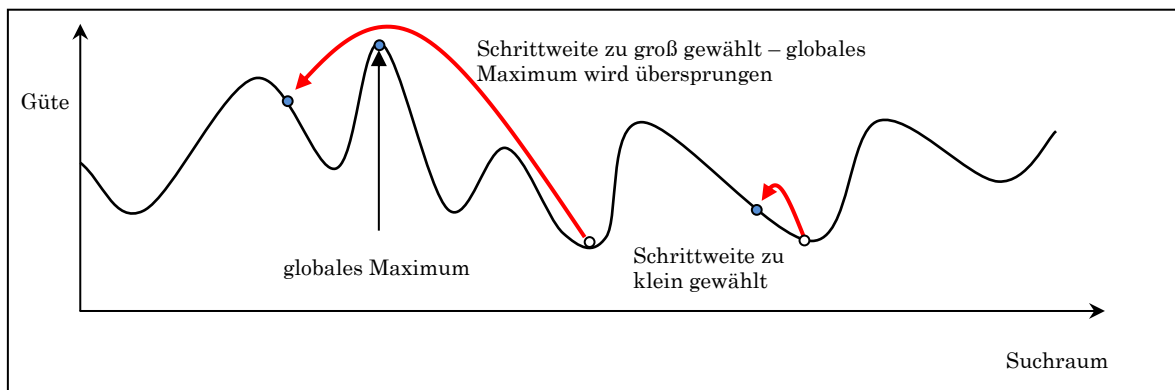


Abb. 30: Problematik der Wahl der Such-Schrittweite (Prinzipdarstellung)

Es wird dann in der Umgebung (entsprechend der gewählten Schrittweite) von s_0 ein b gewählt ($a, b \in S$) [Gerdes et al. 2004, S. 25]. Auf der Suche nach einem Maximum gilt $f(b) \geq f(a)$, dann ist s_1 das aktuelle Optimum und von da aus wird die Suche fortgesetzt. Ist hingegen $f(b) < f(a)$, so bleibt a der Ausgangspunkt der weiteren Suche und es wird ein neues b bestimmt [Gerdes et al. 2004, S. 25]. Auf diese Weise „klettern“ Bergsteiger zum Optimum. Das Verfahren folgt damit dem steilsten Anstieg, bis kein weiterer Anstieg zu verzeichnen ist. Solange der Suchraum nur ein Optimum aufweist, kann dieses Vorgehen effizient sein. Bei komplexeren Problemen kann der Suchraum geprägt sein von mehreren lokalen Optima. In diesen Fällen läuft das Hillclimbing Gefahr an einem lokalen Optimum hängen-zubleiben (siehe Abb. 31).

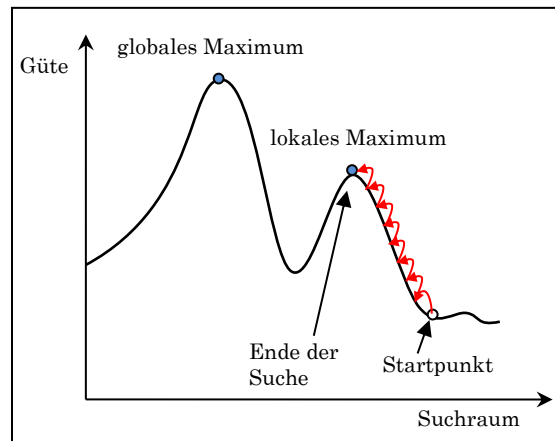


Abb. 31: Schematische Darstellung des Hängenbleibens im Suchraum (in Anlehnung an Weicker [2007, S. 165])

Nachdem ein lokales Optimum erreicht wurde, ist Hillclimbing praktisch nicht mehr in der Lage, es zu verlassen [Gerdes et al. 2004, S. 25; Weicker 2007, S. 54]. Dies führt gegebenenfalls zu (stark) suboptimalen Ergebnissen und kann nur dadurch umgangen werden, dass ein neuer Startpunkt festgelegt und von diesem aus erneut gesucht wird. Metaheuristiken können als Weiterentwicklung verstanden werden [Gerdes et al. 2004, S. 25]. Grundsätzlich sind diese in der Lage, lokale Optima zu überwinden (globale nicht-lineare Optimierung), indem sie z.B. parallel von mehreren Punkten ausgehend suchen [Pohlheim 2000, S. 11; Weicker 2007, S. 62]. Typische Metaheuristiken sind Simulated Annealing, Ameisenkolonieoptimierung, Sintflut-Algorithmus oder die Evolutionären Algorithmen, um nur einige zu nennen. Auf die Gruppe der Evolutionären Algorithmen wird im Folgenden eingegangen.

4.9.2 Evolutionäre Algorithmen

Evolutionäre Algorithmen (EA) sind stochastische Suchverfahren [Pohlheim 2000, S. 7], basierend auf der natürlichen Evolution [Nissen 1997a, S. 1], welche künstlich als Computerprogramm nachgebildet wird (künstliche Evolution) [Weicker 2007, S. 20]. In der heutigen Zeit wird dies zur Optimierung von komplexen Problemstellungen genutzt, denen eine exakte analytische Lösung nicht zugänglich ist.

Teilgebiete der EA sind [Weicker 2007, S. 44; Nissen 1997a, S. 12]:

- Genetische Algorithmen,
- Evolutionsstrategien,
- Evolutionäres Programmieren und die
- Genetische Programmierung.

Zunächst existierten die Ansätze losgelöst voneinander. 1990 wurden diese unter dem Oberbegriff „evolutionary computation“ (evolutionäres Berechnen) zusammengefasst [Weicker 2007, S. 45] (siehe [Weicker 2007, S. 44–46] für einen detaillierten Überblick zur Entwicklung).

(a) Natürliche Evolution

Grundlage der EA ist die natürliche Evolution. Im Mittelpunkt steht die Fortpflanzung der Lebewesen und damit verbunden die Weitergabe des Erbgutes an die Folgegeneration. Im Zuge der Evolution passen sich Individuen immer besser an ihren Lebensraum an und steigern damit die (Über-) Lebensfähigkeit in ihrer Umwelt, im Speziellen in Bezug auf die einwirkende natürliche Selektion (Überleben des Stärkeren) (siehe [Weicker 2007, S. 1–15] zur natürlichen Evolution). Die Anpassung der Individuen an ihren Lebensraum erfolgt durch Änderungen im Erbgut, was durch Rekombination (Mischen) des Erbmaterials der Eltern oder durch die von außen induzierte Mutation des Erbmaterials erfolgt [Weicker 2007, S. 4]. Erbgut resp. Erbmaterial bezeichnet hierbei das gesamte genetische Material eines Individuums, welches die Erbinformationen (Genotyp) beinhaltet, die ein Individuum im Erscheinungsbild prägen (Phänotyp). Der DNA-Strang (Desoxyribonukleinsäure) ist Träger der genetischen Informationen (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 367 f.] zur DNA). Im Normalzustand³⁸ liegt die DNA in Form einer Doppelhelix vor, die aus vier verschiedenen Bausteinen, den Nukleotiden, aufgebaut ist. Jeder Nukleotid besteht aus einem Phosphat-Rest, dem Zucker Desoxyribose und einer von vier organischen Basen, Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin (i.d.R. abgekürzt mit A, T, G und C). Die vier Basenpaare kodieren die Erbinformation³⁹. Ein Gen bezeichnet hierbei einen abgegrenzten Abschnitt auf dem DNA-Strang und kodiert ein Erbmerkmal⁴⁰ (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 615] zu Genen) (vgl. [Weicker 2007, S. 4]). Ein Allel bezeichnet im Allgemeinen eine mögliche Ausprägung (Zustandsform) eines Gens, z.B. schwarz in Bezug auf die Haarfarbe (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 44] zu Allel).

In den Zellen von Pflanzen, Tieren und Pilzen ist der Großteil⁴¹ der DNA im Zellkern als Chromosomen organisiert. Der Name Chromosom leitet sich aus dem altgriechischen „chrōma“ für Farbe und „sōma“ für Körper ab (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 291] zu Chromosomen). Die Bezeichnung entstand, da die Chromosomen in den Zellen durch bestimmte Einfärbungen unter dem Lichtmikroskop sichtbar gemacht werden können. Ein Chromosom besteht aus einem ununterbrochenen DNA-Doppelstrang, welcher sich um kugelförmige Proteine (Histone) wickelt und zu einer Chromatinfaser aufgewickelt ist (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 756] zu Histonen). Im Ergebnis entsteht ein Chromatid. Während der Mitose (Kernteilung) in der Metaphase besteht ein Chromosom aus zwei

³⁸ Die Form ist z.B. bei der DNA-Replikation abweichend.

³⁹ Je drei Basen kodieren eine Aminosäure.

⁴⁰ Gene kodieren Aminosäuren u.a. zur Bildung der Proteine, Proteine übernehmen im Körper spezifische Funktionen, welche auch als Merkmal bezeichnet werden können.

⁴¹ Ein kleiner Teil befindet sich in den Mitochondrien.

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

identischen Chromatiden, die am Zentromer zusammengehalten werden (siehe [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 1800] zu Zentromer). Dies ist die typische Darstellung von Chromosomen. Der strukturelle Aufbau ist schematisch in Abb. 32 veranschaulicht.

Je nach Spezies kann die Anzahl der Chromosomen variieren [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 292 f.]. Eine Stechmücke verfügt zum Beispiel über 6 Chromosomen (Chromosomensatz), wohingegen der Mensch 46 Chromosomen vorweisen kann. Die Chromosomen des Menschen treten diploid auf (doppelt). Das Geschlechtschromosom weicht bei männlichen Individuen hiervon ab. Diploide Chromosomen sind aber nicht immer gegeben. Gelegentlich gibt es bei höheren Tieren und Pflanzen auch Abweichungen.

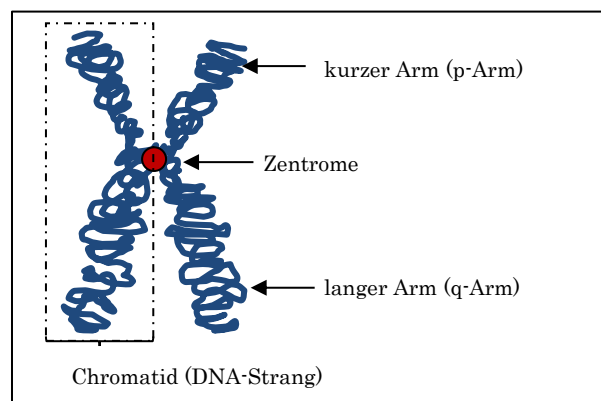


Abb. 32: Aufbau eines Chromosoms in der charakteristischen Form während der Mitose

(b) Begrifflichkeiten und Ablauf der Evolutionären Algorithmen

EA bedienen sich der Begrifflichkeiten in Anlehnung an die natürliche Evolution. Da diese aber in einem technischen Rahmen zur Lösungssuche und Optimierung verwendet werden, kann es in der Bedeutung der Begriffe zu Abweichungen kommen. Die nachfolgende Tabelle führt die Ausdrücke und deren Bedeutung im Bereich der EA auf (siehe Tab. 12).

Begriff	Bedeutung bei EA
Individuum	Struktur (enthält die in geeigneter Weise repräsentierten Elemente einer Lösung)
Population	Menge von Strukturen (Lösungen)
Eltern	zur Reproduktion ausgewählte Lösungen
Kinder, Nachkommen	aus Eltern erzeugte Lösungen
Crossover	Suchoperator, der Elemente verschiedener Individuen vermischt
Mutation	Suchoperator, der jeweils ein Individuum modifiziert
Fitness	Lösungsgüte bezogen auf die Ziele
Generation	Verfahrensiteration

Nur bei Genetischen Algorithmen gebräuchlich:

Chromosom	Grundsätzlich identisch mit Individuum; gelegentlich kann ein Individuum sich aus mehreren Chromosomen zusammensetzen; übliche Form: String
Reproduktion	Erzeugung von Kind-Chromosomen aus einem oder mehreren Eltern-Chromosomen
Gen	Bit (binäre Kodierung unterstellt)
Allel	Genausprägung (binär: 0 oder 1)
Genotyp	kodierte Lösung
Phänotyp	dekodierte Lösung

Tab. 12: Begrifflichkeiten der Evolutionären Algorithmen [Nissen 1997a, S. 13]

Auch bei EA sind es die drei biologischen Prinzipien (evolutionäre Operatoren) Mutation, Rekombination (Crossover) und Selektion, welche den Ablauf maßgeblich gestalten, um „für ein nahezu beliebig wählbares Optimierungsproblem möglichst gute Näherungswerte an eine exakte Lösung zu erzeugen“ [Weicker 2007, S. 20].

Der allgemeine Ablauf eines einfachen evolutionären Algorithmus ist in Abb. 33 dargestellt (vgl. [Pohlheim 2000, S. 10] zum Ablauf bei einem erweiterten EA).

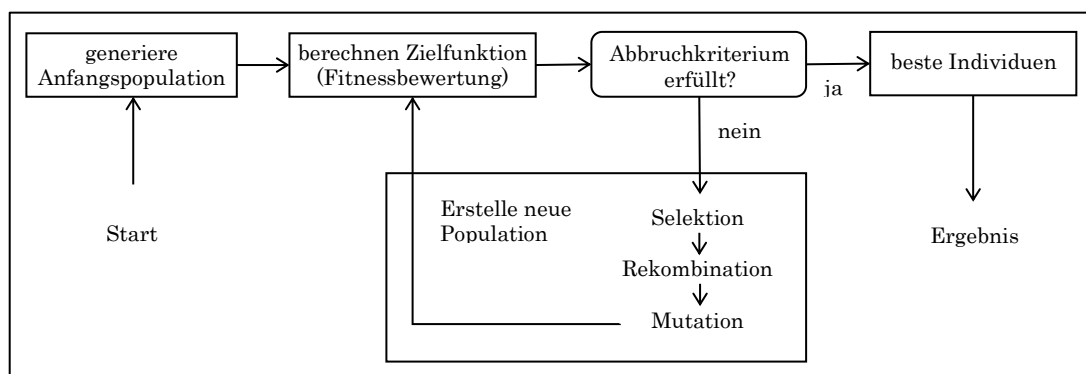


Abb. 33: Ablauf evolutionärer Algorithmen (leicht modifizierte Darstellung nach Pohlheim [2000, S. 9])

Ein Evolutionärer Algorithmus baut auf einer definierten Grundmenge an Individuen auf (Ausgangspopulation), welche i.d.R. per Zufall, möglichst gleichmäßig im Such-

raum verteilt, erzeugt werden⁴² und deren Fitness ermittelt wird [Pohlheim 2000, S. 8; Nissen 1997a, S. 156]. Jedes Individuum stellt eine Lösung aus dem Suchraum dar. Die Fitnessbewertung liefert einen konkreten Wert für die Güte der Lösung innerhalb des Suchraums. Die Bewegung im Suchraum und das Finden neuer Lösungen basiert auf der Auswahl von Eltern-Individuen, zur Erzeugung der Nachkommen (Selektion). Hierbei werden möglichst starke Eltern, i.d.R. auf Basis der Fitnesswerte, ausgewählt. Für die Selektion gibt es eine Vielzahl an Selektionsstrategien (siehe [Weicker 2007, S. 70 ff.; Bäck 1996, S. 78 ff.; Nissen 1997a, S. 64 ff.] zu den Selektionsstrategien). Aus den gewählten Eltern-Individuen entstehen dann Nachkommen durch Anwendung der evolutionären Operatoren (Rekombination und Mutation). Die evolutionäre Suche wird beendet⁴³, wenn z.B. [Pohlheim 2000, S. 63 ff.]:

- ein ausreichend gutes Ergebnis erreicht wurde,
- die maximale Anzahl an Generationen durchlaufen wurde,
- die maximale Rechenzeit (CPU-Zeit) erreicht wurde oder
- die Abweichung der Lösungen untereinander ein minimales Niveau erreicht (Konvergenz der Population).

(c) Vor- und Nachteile der Evolutionären Algorithmen

Nissen führt folgende Vor- und Nachteile der EA auf [Nissen 1997a, S. 18, 20] (vgl. [Weicker 2007, S. 42; Pohlheim 2000, S. 11 f.]):

Vorteile:

- breite Anwendbarkeit der Basisverfahren - gehören zur Klasse der stochastischen, metaheuristischen Suchverfahren und ermöglichen damit auch die Behandlung von Problemen, die mit traditionellen Optimierungsmethoden nicht mehr handhabbar sind,
- flexible Verfahrensgestaltung (Anpassung an Problemstellung),
- Eignung für komplexe Suchräume,
- keine restriktiven Anforderungen an die Zielfunktion (insbesondere keine Stetigkeit oder Differenzierbarkeit erforderlich),
- Basisprinzipien sind gut verständlich,
- auch bei geringer Einsicht in die Problemstruktur anwendbar - benötigen kaum Problemwissen, können also z.B. auch bei diskontinuierlichen Problemen angewendet werden,
- gut mit anderen Verfahren kombinierbar und
- gut auf Parallelrechnern zu implementieren.

⁴² Individuen können auch gezielt im Suchraum platziert werden, wenn entsprechendes Vorwissen vorhanden ist [Gerdes et al. 2004, S. 115].

⁴³ Siehe [Pohlheim 2000, S. 63 ff.; Gerdes et al. 2004, S. 123; Nissen 1997a, S. 40 f., 162 f.] zu diesen und weiteren Kriterien zur Beendigung der Suche.

Nachteile:

- keine Garantie, das globale Optimum zu finden, bei beschränkter Rechenzeit,
- relativ hoher Rechenaufwand - EA sind eher die schlechtere Wahl für Probleme, für die es spezielle Optimierungsverfahren gibt. Diese arbeiten in der Regel effizienter.
- Ineffizient in der Schlussphase der Optimierung (Feintuning) und
- Anpassung an die Problemstellung und die Wahl der Strategieparameter kann schwierig sein.

Evolutionäre Algorithmen bieten sich an für Optimierungsprobleme, bei denen traditionelle Optimierungsverfahren aufgrund von Nichtlinearitäten, Diskontinuitäten und Multimodalität der Zielfunktionen versagen [Pohlheim 2000, S. 11 f.]. Ihre Robustheit ist darin begründet, dass keine Annahmen über das gestellte Problem getroffen werden und stets mit einer Menge von zulässigen Lösungen (Population von Lösungen) gearbeitet wird [Sedlacek 2010, S. 58]. Letzteres bedeutet eine gleichzeitige Betrachtung mehrerer Wege, auf der Suche nach dem Optimum [Weicker 2007, S. 62]. Während der Suche werden Informationen über den Suchraum gesammelt und in den Individuen gespeichert [Nissen 1997a, S. 22]. Durch Vererbung bzw. Rekombination wird dieses Wissen zwischen den Individuen ausgetauscht. EA sind adaptiv, „sie realisieren eine Form des (überwachten) maschinellen Lernens“ [Nissen 1997a, S. 22]. Das Hängenbleiben in einem lokalen Optimum während der Optimierung wird verhindert, indem auch schlechtere Lösungen als Zwischenlösung akzeptiert werden [Weicker 2007, S. 69, 71 ff.; Suhl et al. 2009, S. 13 f.; Nissen 1997a, S. 62] sowie im Speziellen durch die Mutation, welche die Diversität (Vielfalt) der Population aufrechterhält [Nissen 1997a, S. 42 f.]. Darüber hinaus wird nicht nur von einem Punkt im Lösungsraum aus gesucht, sondern von einer Vielzahl an Startpunkten (Startpopulation). Damit sind EA in der Lage auch lokale Optima zu überwinden.

(d) Verfahren und Operatoren der evolutionären Algorithmen

Im Folgenden werden die angesprochenen Operatoren der evolutionären Algorithmen, Selektion, Rekombination (Crossover) und die Mutation, näher erläutert.

Mutation und Rekombination bedingen zur Erzeugung von Nachkommen einer vorhergehenden Auswahl der Eltern (Elternselektion), welche selektiert werden, um die Kinder-Individuen zu erzeugen. Die der Selektion zugrunde liegende Auswahlentscheidung kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen, z.B. gleichverteilt zufällig. Als ein Standardoperator der EA wird in der Literatur die durch das biologische Vorbild motivierte, probabilistische proportionale Selektion gesehen [Weicker 2007, S. 71]. In der Biologie ist die Fitness der Individuen ein Maß für die

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

Anpassung an den Lebensraum, welches sich in der Anzahl der Nachfahren widerspiegelt. Bei der probabilistischen Elternselektion wird ein Fitnesswert vergeben, welcher annähernd bestimmt, wie groß die Fruchtbarkeit des Individuums ist [Weicker 2007, S. 71]. Es handelt sich um eine Vorgabe, wie viele Kinder ein Individuum haben soll. Im Vergleich zur Biologie wird hierbei Ursache und Wirkung vertauscht [Weicker 2007, S. 71]. Zur Bestimmung des Fitnesswertes führt Pohlheim nachfolgende Arten auf [Pohlheim 2000, S. 16 f.] (vgl. [Weicker 2007, S. 71 ff.] zu Beispielen der Fitnessberechnung):

- proportionale Fitnesszuweisung
- reihenfolgebasierte Fitnesszuweisung (Ranking) und
- mehrkriterielle Fitnesszuweisung.

Der Fitnesswert wird mittels einer Fitnessfunktion errechnet. Die Fitnessfunktion transformiert die Zielfunktionswerte (Ziele der Optimierung) in nichtnegative Werte [Pohlheim 2000, S. 16]. Individuen mit besserer Zielerreichung erhalten bessere Fitnesswerte und umgekehrt.

Die proportionale Fitnesszuweisung geht von einem Fitnesswert proportional zum Grad der Zielerreichung des Individuums aus [Pohlheim 2000, S. 17]. Hierzu können lineare, logarithmische oder exponentielle Funktionen genutzt werden, welche problemspezifischen Skalierungen folgen können (siehe [Pohlheim 2000, S. 17] zu den Funktionen). Die Verwendung der proportionalen Fitnesszuweisung birgt das Problem, dass z.B. zwei sehr gute Individuen eine Population dominieren können und auf der Basis des daraus resultierenden sehr hohen Fitnesswertes sehr häufig als Elternteile ausgewählt werden. Dies führt zu einer Abnahme der Diversität und die Population konvergiert vorzeitig, aufgrund eines zu hohen Selektionsdrucks [Weicker 2007, S. 72; Pohlheim 2000, S. 17]. Ebenso können viele annähernd gleiche Individuen bezogen auf die Zielerreichung einen nahezu gleichen Fitnesswert erhalten und die Elternselektion käme einem zufälligen Ziehen gleich. Dieser Sachverhalt wird als Stagnation (Steckenbleiben) bezeichnet, hervorgerufen durch einen zu geringen Selektionsdruck [Weicker 2007, S. 72; Pohlheim 2000, S. 17 f.].

Aufgrund der beschriebenen Probleme kommt der proportionalen Fitnesszuweisung in der Praxis eine untergeordnete Bedeutung zu (vgl. [Pohlheim 2000, S. 17]). Bis auf einige Spezialfälle wird von einer Verwendung abgeraten [Pohlheim 2000, S. 18].

Bei der reihenfolgebasierten Fitnesszuweisung (Ranking) wird versucht, die soeben beschriebenen Probleme des zu frühen Konvergierens, resp. der Stagnation, zu umgehen. Das Verfahren sieht zunächst eine Sortierung der Individuen entsprechend der Zielerreichung vor [Pohlheim 2000, S. 18]. Die Fitness hängt nun anstelle vom Zielwert von der Position (dem Rang) des Individuums innerhalb der sortierten Liste

ab [Pohlheim 2000, S. 18]. Im Ergebnis steht eine gleichmäßigere Verteilung der Fitnesswerte. Pohlheim führt diesbezüglich zwei Varianten des Rankings (linear, nicht-linear) mit entsprechender Fitnessfunktion auf [Pohlheim 2000, S. 19]. Extreme bei den Fitnesswerten sowie zu geringe Abstände derer voneinander werden so vermieden.

Praktische Problemstellungen weisen für gewöhnlich mehrere gleichzeitig zu optimierende Zielstellungen auf. Diese Ziele können gegenseitig korrelieren oder auch umgekehrt proportionale Verläufe haben, z.B. Auslastung und Durchlaufzeit (siehe Dilemma der Ablaufplanung). In solchen Fällen wird von einer Mehrzieloptimierung gesprochen. Da sich die Fitnesszuweisung auf die Zielstellung der Optimierung bezieht, kann in diesen Fällen eine mehrkriterielle Fitnesszuweisung angewendet werden. Dies beinhaltet eine Betrachtung aller Zielkriterien hinsichtlich der Zielerreichung und (im Falle einer rangbasierten Herangehensweise) der Sortierung nach dem Rang [Pohlheim 2000, S. 21]. Hierbei ist zu entscheiden, welches Individuum ein anderes dominiert. Sofern ein Zielkriterium besser erfüllt wird und die anderen Kriterien ebenfalls besser oder zumindest gleich gut erfüllt sind, dominiert dieses Individuum das im Vergleich stehende. Dominiert keine der beiden Lösungen, sind diese als gleichwertig anzusehen und mit gleichem Rang einzustufen [Pohlheim 2000, S. 21]. Jene Lösungen, welche von keinem anderen dominiert werden, werden als pareto-optimale Lösungen bezeichnet [Pohlheim 2000, S. 21]. Die Menge dieser bilden die Pareto-Front. Lösungen auf dieser Front können keine Zielgröße verbessern, ohne ein oder mehrere andere zu verschlechtern [Pohlheim 2000, S. 21]. In Bezug auf den Rang erhalten alle Pareto-Lösungen den Rang 1 [Pohlheim 2000, S. 21]. Bei den Pareto-Lösungen kann von der einheitlichen Rangvergabe abgewichen werden, sofern die Problemstellung dahingehend Vorgaben ableiten lässt (siehe [Pohlheim 2000, S. 21 f.] zu einem Beispiel). Auf der Basis des so vergebenen Rangs kann nun wieder die Fitness berechnet werden.

Mit Hilfe der errechneten Fitnesswerte erfolgt schließlich die Elternselektion. Dies kann nach folgenden Verfahren durchgeführt werden⁴⁴ [Pohlheim 2000, S. 25 ff.]:

- Roulette-Selektion,
- Stochastic universal sampling,
- Turnier-Selektion und
- Truncation-Selektion.

⁴⁴ vgl. [Weicker 2007, S. 71 ff.; Gerdes et al. 2004, S. 79 ff.; Nissen 1997a, S. 64 ff.] zu den Arten.

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

Die Rouletteselektion ist wohl das bekannteste Verfahren zur Elternselektion (siehe hierzu [Weicker 2007, S. 74 f.; Pohlheim 2000, S. 25]). Die Auswahl der Individuen erfolgt fitnessproportional (die Fitness entspricht der Reproduktionswahrscheinlichkeit). Es handelt sich um ein stochastisches Verfahren, bei dem das Roulette als Vorbild dient (Ziehen mit Zurücklegen). Die Individuen werden einzelnen Abschnitten auf dem Rouletterad zugeordnet. Die Abschnitte entsprechen in der Größe den Fitnesswerten der einzelnen Individuen. Desto größer der Fitnesswert, umso größer ist der Abschnitt des Individuums auf dem Rouletterad. Das Erzeugen einer Zufallszahl entspricht dem Rollen der Kugel. Es wird das Individuum ausgewählt, auf die der Zeiger der Zufallszahl zeigt (Kugel liegen bleibt). Dieser Vorgang wird solange wiederholt, wie es Elternteile bedarf.

Das Stochastic universal sampling“ ähnelt sehr der Rouletteselektion (siehe hierzu [Weicker 2007, S. 74 f.; Pohlheim 2000, S. 25 f.]). Im Vergleich handelt es sich hierbei aber um ein Ziehen ohne Zurücklegen. Das Rouletterad wird nur einmal gedreht, mit einer definierten Anzahl an Zeigern, welche der Menge an erforderlichen Eltern entspricht. Die Zeiger sind hierbei mit einem gleichen Abstand voneinander angeordnet (äquidistant). Dieser Algorithmus wird als effizienter ausgewiesen und die Varianz ist im Vergleich stark reduziert. Das Verfahren bedingt aber eine im Voraus bekannte Anzahl an erforderlichen Eltern.

Tournier-Selektion bezeichnet ein Verfahren, bei dem die Individuen zur Auswahl untereinander sogenannte Turniere austragen (siehe hierzu [Pohlheim 2000, S. 26 f.; Weicker 2007, S. 75 f.]). Es wird das Individuum ausgewählt, welches das Turnier gewinnt. Die Anzahl der Turniergegner ist als Parameter Einflussgröße für den Selektionsdruck. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgt gleichmäßig zufällig in der Eltern-Population. Da die Grundlage der Auswahl ein Ranking ist, handelt es sich bei dem Verfahren um keine fitnessproportionale Selektion. Damit ist das Verfahren weniger anfällig für Anomalien in den Fitnesswerten.

Bei der Truncation-Selektion bezeichnet Truncation einen Schwellenwert (siehe hierzu [Pohlheim 2000, S. 27 f.]). Dieser wird festgelegt und gibt die Grenze der Fitnesswerte an, bis zu welcher die Individuen ausgewählt werden. Nur Individuen, welche diese Schwelle erreichen, bekommen eine Chance ihr Erbgut weiterzugeben. Die Individuen werden nach der Fitness sortiert und es wird auf Basis des Rangs der Individuen eine Selektionswahrscheinlichkeit von 1 (gut) bis 0 (schlecht) festgelegt. Damit handelt es sich auch hier um keine fitnessproportionale Selektion. Eingesetzt wird dieses Verfahren vorwiegend bei Züchtern mit sehr großen Populationen und bei Massenselektionen [Pohlheim 2000, S. 28].

Ergänzend zur geltenden Selektionsstrategie, kann im Fall einer Elite-Selektion (Elitismus) das beste Individuum der aktuellen Generation unverändert in die Folgegeneration übernommen werden. Diese Ausprägung ist eine Variante des von De Jong [De Jong 1975, S. 78 f.] eingeführten Parameters „generation gap“. Generation Gap bezeichnet die Prozentzahl an Individuen ($0 < G < 1$), welche im Generationenwechsel durch Mutation oder Crossover neu erzeugt werden. Die verbleibenden Individuen werden unverändert übernommen.

Nachdem die Eltern-Individuen ausgewählt wurden, erfolgt die Anwendung der evolutionären Operatoren Mutation und Rekombination (Crossover) auf die Eltern-Individuen⁴⁵ (siehe Abb. 34 zum schematischen Ablauf des Übergangs und der damit verbundenen Selektionspunkte). Die hierbei entstehenden Kinder-Individuen können ohne weitere Einschränkung in die Nachfolgegeneration eingehen. Abweichend davon können die Kinder-Individuen auch einer Auswahl unterworfen sein, welche darüber entscheidet, ob die Individuen in die Nachfolgepopulation eingehen. Diese Auswahlentscheidung bezeichnet Weicker als Umweltselektion und vergleicht hiermit die Überlebenschance sowie das Behauptungsvermögen gegen natürliche Feinde [Weicker 2007, S. 11] (siehe [Weicker 2007, S. 11, 25, 64 ff.] zur Umweltselektion). Die Entscheidung, welche Individuen in die Nachfolgegeneration eingehen kann sich dabei entweder rein auf die Kinder-Individuen oder auf die Gesamtmenge der Eltern- und Kinder-Individuen beziehen [Weicker 2007, S. 67]. Die Selektionsmethoden können in Bezug auf die Umweltselektion dieselben sein wie bei der Elternselektion z.B. die Selektion der Besten oder zufällig Selektion auf der Basis der Fitnesswerte (Ziehen ohne Zurücklegen) [Weicker 2007, S. 67].

⁴⁵ In Bezug auf die genetischen Algorithmen führen Nissen und Sivanandam einen „Mating Pool“ auf, welche die ausgewählten Eltern-Individuen beinhaltet [Sivanandam & Deepa 2008, S. 46 f.; Nissen 1997a, S. 38].

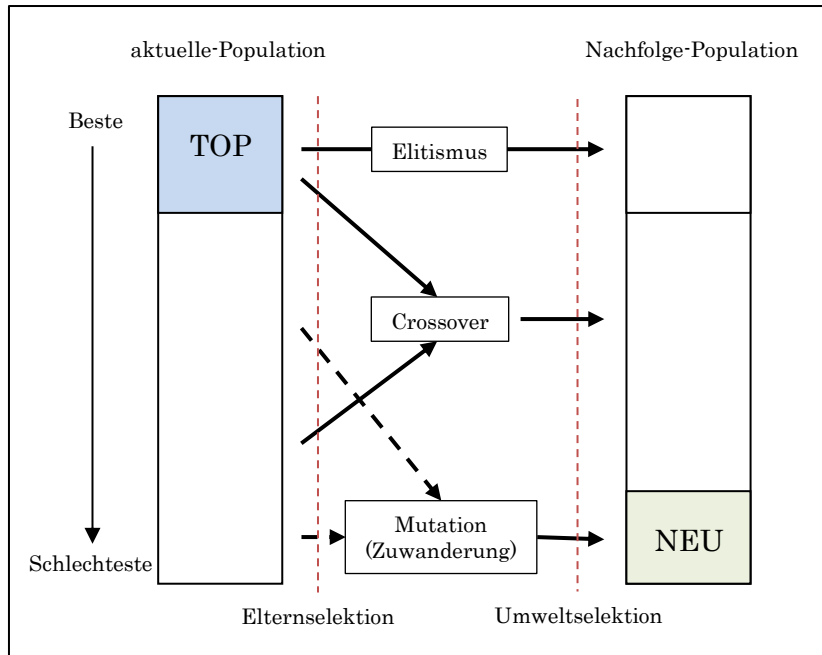


Abb. 34: Beispiel des Übergangs aufeinander folgender Populationen (in Anlehnung an Gonçalves & Resende [2011, S. 188])

Rekombination oder auch als Crossover benannt, bezeichnet das Vermischen des Erbgutes, welches innerhalb einer Generation vorhanden ist (siehe hierzu [Weicker 2007, S. 80 ff.; Nissen 1997a, S. 51 ff.]). Ausgehend von zwei (oder mehr) Eltern-Individuen wird mindestens ein Kind-Individuum erzeugt. Es handelt sich um einen kombinierenden Operator, welcher Teile von den Eltern-Individuen neu zusammenfügt. Auf diese Weise können im Optimalfall vorteilhafte Teile beider Eltern zu einem Kind kombiniert werden [Weicker 2007, S. 80]. Die Wahrscheinlichkeit mit der dieser Operator zur Anwendung kommt, wird als Crossoverwahrscheinlichkeit bzw. Crossoverrate bezeichnet. In Bezug auf das Crossover unterscheidet Weicker [2007, S. 80 ff.] in⁴⁶ : kombinierende (z.B. Uniform Crossover), interpolierende (z.B. arithmetisches Crossover) und extrapolierende Rekombination (siehe hierzu [Weicker 2007, S. 80 ff.; Nissen 1997a, S. 53]). Letzteres als Sonderform um Lösungen auch außerhalb des Suchraums zu ermöglichen.

Die Anwendung ist abhängig von der Repräsentation der Gene (z.B. reelle, binäre, ganzzahlige Werte) [Pohlheim 2000, S. 34]. Weicker stellt die Ergebnisse der Anwendung der Crossover-Arten grafisch gegenüber (siehe [Weicker 2007, S. 82]). Während in der idealen Ausgestaltung (unter Ausblendung aller anderen Effekte) das kombinierende Crossover ein gleichmäßiges Raster im Suchraum erzeugt, konzentrieren sich die erzeugten Individuen beim interpolierenden Crossover auf einen Bereich im Suchraum – entsprechend der Streuung der Ausgangspopulation.

⁴⁶ vgl. [Pohlheim 2000, S. 44 ff.]

Das extrapolierende Crossover führt zu einer Streuung im Suchraum, zeigt aber auch deutliche Ansammlungen am Rand des Suchraumes.

Mittels der Rekombination erfolgt ein systematisches Fortschreiten im Suchraum. Mit Ausnahme der extrapolierenden Anwendung wird grundsätzlich durch diesen Operator kein neues genetisches Material in die Folgegeneration eingebracht [Weicker 2007, S. 83]. Entsprechend der in der Elterngeneration vorhandenen Genvielfalt, können i.d.R. nur die damit einhergehenden Bereiche im Suchraum erreicht werden [Weicker 2007, S. 80]. Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass Gene, sofern diese bei der Rekombination (oder Elitismus) nicht weitergegeben werden, der Population verloren gehen [Weicker 2007, S. 81]. Dieser Effekt wird in der Literatur als Gendrift bezeichnet (siehe [Weicker 2007, S. 13] zum Gendrift).

Mutation bezeichnet den zweiten Operator in Bezug auf die Variation des Erbgutes (siehe [Pohlheim 2000, S. 46 ff.; Nissen 1997a, S. 48 ff.] zur Mutation). Mittels der Mutation sind die evolutionären Algorithmen befähigt neues oder bereits verlorengegangenes Erbgut/Genausprägungen in die Population einfließen zu lassen. Damit ist es gerade der Mutationsoperator, welcher es grundsätzlich ermöglicht, jeden Punkt im Suchraum zu erreichen, die Diversität in der Population aufrechtzuerhalten und eine frühzeitige Konvergenz/Stagnation abwenden kann. Bei der Mutation werden zufällig Veränderungen an den Individuen vorgenommen [Pohlheim 2000, S. 46]. Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher der Operator zur Anwendung kommt, wird als Mutationswahrscheinlichkeit bzw. Mutationsrate bezeichnet. Im Allgemeinen erfolgt die Mutation an den Kinder-Individuen, nachdem die Rekombination durchgeführt wurde [Pohlheim 2000, S. 46]. Pohlheim führt aus, dass es zwei grundlegende Vorgehensweisen bei der Festlegung der Mutationsrate und des anzuwendenden Mutationsschrittes gibt. Zum einen können diese während der Simulation konstant gehalten werden oder in Abhängigkeit z.B. der bereits durchgeführten Mutation im Evolutionslauf variieren [Pohlheim 2000, S. 46]. Letzteres wird vorwiegend den Evolutionsstrategien zugeschrieben. Pohlheim führt eine Reihe möglicher Mutationsverfahren auf, welche sich bezogen auf die Genrepräsentation und die Art der Anwendung der Mutation unterscheiden. Auf diese Ausführungen wird hier verwiesen (siehe [Pohlheim 2000, S. 47 ff.]). Ein konkretes Beispiel wird in Bezug auf die genetischen Algorithmen gegeben.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Gruppen der evolutionären Algorithmen eingegangen und am Beispiel der genetischen Algorithmen die Anwendung der genetischen Operatoren beispielhaft aufgeführt. Für weiterführende Arten der Anwendung der Operatoren und weitere Anwendungsbeispiele wird auf die Literatur verwiesen (siehe [Sivanandam & Deepa 2008; Weicker 2007; Pohlheim 2000; Nissen 1997a; Mitchell 1996; Bäck 1996]).

(e) Genetische Algorithmen

Die Natur ist in der Lage durch Manipulation des Erbgutes selbst komplexe Lebensformen und Organismen optimal an ihre Umwelt- und Lebensbedingungen anzupassen. Diese erstaunliche Eigenschaft der Evolution, die Vorgehensweise und das Zusammenwirken der verschiedenen Steuerungsmechanismen wurde durch Holland [1975] erforscht und mündete in einem allgemeinen Rahmen für die Klasse der Genetischen Algorithmen (GA). De Jong [1975] setzte die genetischen Algorithmen erstmals zur Optimierung ein. Zu der Popularität der GA als Optimierungswerkzeug hat das Lehrbuch von Goldberg [1989] maßgeblich beigetragen [Weicker 2007, S. 45]. Genetischen Algorithmen ist zu eigen, dass genetische Mechanismen gegenständlich sind [Nissen 1997a, S. 34]. Entsprechend gibt es eine erweiterte Begrifflichkeit im Bereich der GA (siehe Unterabschnitt 4.9.2 (b)). Weiterhin kennzeichnet sie eine probabilistische Elternselektion und der Einsatz der Rekombination als Suchoperator [Weicker 2007, S. 128]. Es wird in zwei Grundalgorithmen unterschieden, jene, welche die Elterngeneration mit jedem Generationenwechsel ersetzen (Standard) und jene, welche nur ein Individuum pro Generation erzeugen und damit eine überlappende Populationen vorsehen (Steady-State) [Weicker 2007, S. 128] (siehe [Weicker 2007, S. 129] zu den Ablaufschemata).

Innerhalb der genetischen Algorithmen wird als Population eine Menge von Individuen bezeichnet [Nissen 1997a, S. 34]. Jedes Individuum besitzt ein oder mehrere Chromosomen [Nissen 1997a, S. 13], welche die kodierten Erbinformationen (Gene) enthalten. Die Kodierung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, z.B. als binäre Zeichenfolge oder problemspezifisch (real). Nachfolgendes Beispiel veranschaulicht die problemspezifische Kodierung eines Individuums (siehe Abb. 35) (vgl. [Nissen 1997a, S. 35] zu einer beispielhaften binären Kodierung).

Patienten-ID (Index)	1	2	3	4	5	6	7	8
Einbestellungszeitpunkt (Uhrzeit)	7:30	7:38	7:45	8:14	8:38	9:17	11:58	12:17

Abb. 35: Beispiel einer problemspezifischen Kodierung eines Individuums (in Anlehnung an Kühne et al. [2012, S. 105]).

Ein Individuum besteht in diesem Beispiel aus einem Chromosomen. Das Chromosom beinhaltet eine Menge von Patienten, welche je einen Einbestellungszeitpunkt zugewiesen bekommen haben (siehe [Kühn et al. 2012, S. 105]). Die Einbestellungszeit gibt den Zeitpunkt an, zu dem ein bestimmter Patient einbestellt wird. Daraus ergibt sich die Reihenfolge der Patienten (Reihenfolgeproblem). Die verschiedenen Uhrzeiten sind hier die Genausprägungen. Die Patienten-ID dient hierbei lediglich als Identifizierungsmerkmal der einzelnen Patienten. Die

evolutionären Operatoren nehmen in dieser Repräsentation nur Einfluss auf die Einbestellungszeit.

Dem Ablauf aus Abb. 33 folgend werden, wie in Abb. 35 veranschaulicht, eine Menge an Individuen erzeugt, welche zufällige Ausprägungen der Uhrzeitenfolge für die im Chromosom enthaltene Menge an Patienten haben. Jedes Individuum weist damit (mit hoher Wahrscheinlichkeit) eine abweichende Reihenfolge der Patienten (Lösung) auf. Die so erzeugten Individuen durchlaufen (unabhängig voneinander) das Simulationsmodell. Anschließend kann für jedes Individuum z.B. die Durchlaufzeit, die Ressourcenbelastung oder die Wartezeit der Patienten bemessen werden. Die Fitnessfunktion kann sich aus den aufgeführten Kennzahlen zusammensetzen (Mehrzieloptimierung) und bewertet die Individuen entsprechend der Ergebniswerte des Simulationsdurchlaufs (siehe [Kühn et al. 2012, S. 105] zu einer beispielhaften Fitnessfunktion).

Entsprechend der gewählten Selektionsmethode werden nun Eltern ausgewählt und mit einer definierten Wahrscheinlichkeit (Crossoverwahrscheinlichkeit p_c) einer Rekombination unterzogen. Die Rekombination ist bei den GA der vorherrschende Operator. Beispielhaft wird im Folgenden das One-Point-Crossovers (kombinierendes Verfahren) beschrieben (siehe Abb. 36).

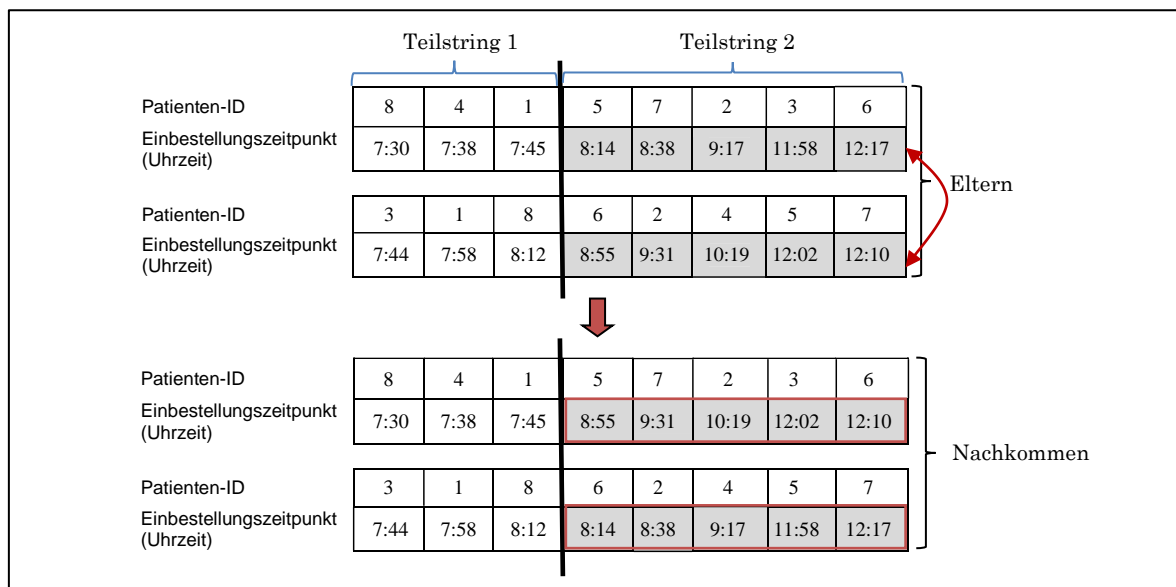


Abb. 36: Beispiel eines One-Point-Crossovers (in Anlehnung an Kühn et al. [2012, S. 106])

Bei dieser Art des Crossovers wird zufällig ein Crossover-Punkt bestimmt, ab dem die Elternpaare ihre Erbinformationen austauschen. Der Austausch erfolgt, indem beginnend beim Crossover-Punkt die beiden unteren Zeilen der Teilstrings (→Einbestellungszeitpunkte) auf der rechten Seite der beiden Eltern-Individuen miteinander ausgetauscht werden [Nissen 1997a, S. 39] (siehe Abb. 36). Daraus

4. Grundlagen der Optimierung mittels Systemsimulation

entstehen dann die beiden Nachkommen. Es entsteht, wie bei der Rekombination üblich, kein neues Erbgut.

Die rot umrandeten Teilstrings sind im Rahmen des Crossovers getauscht worden. In dem Beispiel sind zwei Nachkommen entstanden. Es kann nun entweder je eines der beiden verworfen werden (gleichverteilte Wahrscheinlichkeit) oder beide Nachkommen werden in die Folgegeneration übernommen.

Neben dem One-Point-Crossover besteht die Möglichkeit $N > 1$ Punkte zufällig zu bestimmen und ein N-Point-Crossover durchzuführen. Auch hierbei werden (kombinierendes Verfahren) an den zufällig gewählten Punkten die Gene von zwei Individuen miteinander ausgetauscht (siehe [Nissen 1997a, S. 52 f.] am Beispiel einer binären Kodierung). Bei einem Mehrpunkt-Crossover ist, bedingt durch die Anzahl der Schnittpunkte, die Durchmischung der Gene deutlich stärker.

Wie bereits ausgeführt wurde, können bei der Mutation Individuen entstehen, die allein durch Anwendung des Crossovers i.d.R. nicht entstehen können. Die Mutation erfolgt immer, mit einer definierten Wahrscheinlichkeit (Mutationswahrscheinlichkeit p_m), unabhängig davon ob ein Crossover zuvor erfolgt ist oder nicht. Bei der Mutation des Erbgutes werden in einem ungerichteten Prozess zufällige Veränderungen am Erbgut vorgenommen [Gerdes et al. 2004, S. 221]. Entsprechend der Mutationsrate werden zufällige Punkte gewählt. Im Folgenden Beispiel erfolgt dies an zwei Punkten, welche durch eine neue Belegung der Uhrzeit mutiert werden (siehe Abb. 37). Damit hierbei gültige Nachkommen entstehen, kann eine Spanne der möglichen Werte entsprechend der Einbestellzeiten/Öffnungszeiten definiert werden (min, max).

		Individuum vor Mutation							
Patienten-ID		5	4	1	5	7	2	3	6
Einbestellungszeitpunkt (Uhrzeit)		7:30	7:38	7:45	8:14	8:38	9:17	11:58	12:17
		↓							
		Individuum nach Mutation							
Patienten-ID		8	4	1	5	7	2	3	6
Einbestellungszeitpunkt (Uhrzeit)		7:30	9:56	7:45	8:14	8:38	9:17	12:38	12:17

Abb. 37: Beispiel einer Mutation

Da die Mutation als destruktiv in Bezug auf das Erbgut bezeichnet werden kann, sollte diese mit Bedacht eingesetzt werden. Zu hohe Mutationsraten können die zielgerichtete Suche im Lösungsraum negativ bedingen [Ochoa et al. 2000].

Im Ergebnis der Rekombination, Mutation und ggf. Elitismus steht eine Nachfolgegeneration im gleichen Umfang an Individuen wie die Elterngeneration. Die Population wächst nicht. Der genetische Algorithmus endet, wenn das Abbruchkriterium erreicht wurde.

(f) Evolutionsstrategien

Den Grundstein der Evolutionsstrategien (ES) legten Rechenberg [1973] und Schwefel [1975]. Bei den ES besteht der Genotyp (kodierte Optimierungsgrößen) der Individuen immer aus reellen Zahlen [Weicker 2007, S. 134] (siehe [Weicker 2007, S. 134 ff.; Gerdes et al. 2004, S. 115 ff.; Pohlheim 2000, S. 272 f.; Nissen 1997a, S. 155 ff.] zu Evolutionsstrategien). Einen Selektionsdruck gibt es hier nicht. Die Eltern-Individuen werden gleichverteilt zufällig ausgewählt (Ziehen mit Zurücklegen) [Weicker 2007, S. 134]. Der Selektionsdruck ergibt sich indirekt über die gewählte Größe der Population. Auch ist entgegen der GAs bei den ES die Mutation der vorherrschende Operator [Weicker 2007, S. 134]. Das Konvergenzverhalten hängt somit direkt von der Schrittweite der Mutation ab, welche z.B. über den Erwartungswert und eine zugrunde gelegte Streuung (Standardabweichung) berechnet werden kann [Weicker 2007, S. 134]. Es wird empfohlen, eine kleine Schrittweite zu wählen, um nicht völlig neue Individuen zu erzeugen und damit zufällig im Suchraum zu streuen [Gerdes et al. 2004, S. 116]. In den meisten Fällen wird die Schrittweite jedoch nicht statisch gewählt, sondern während des Evolutionsprozesses fortwährend neu adaptiert [Gerdes et al. 2004, S. 116] (siehe hierzu [Gerdes et al. 2004, S. 119 ff.]). Typisch hierfür sind ES, wo die Chromosomen zusätzliche Informationen bezüglich der individuellen Schrittweite für die Mutation aufweisen können [Gerdes et al. 2004, S. 105].

Im einfachsten Fall, der 1+1 ES besteht die Population nur aus einem Individuum bzw. Chromosom. Allein durch Mutation wird aus der Kopie des Elternteils ein Kind erzeugt. Dies entspricht einer Realisierung des Hillclimbings [Gerdes et al. 2004, S. 117]. Eine einfache Variante der ES ist die $(\mu+\lambda)$ -ES. Die Literatur empfiehlt hier ein Verhältnis von 1/5 oder 1/7 als effizient in Bezug auf die Anzahl der Nachkommen zur Größe der Elternpopulation [Weicker 2007, S. 134; Gerdes et al. 2004, S. 115]. Je Elternteil der Ausgangspopulation werden 5-7 Kinder erzeugt. Bei der Auswahl derer, welche Teil der neuen Generation werden, wird in zwei Strategien unterschieden: Plus- und Komma-Strategie [Gerdes et al. 2004, S. 116]. Bei der Plus-Strategie erfolgt die Auswahl der Individuen aus der Gesamtmenge der Eltern- und der erzeugten Kinder-Individuen. Die Komma-Strategie sieht die Auswahl alleinig aus den Kinder-Individuen vor. In beiden Fällen werden jeweils die besten Individuen ausgewählt (Eliteselektion) (siehe [Gerdes et al. 2004, S. 116] zu den Vor- und Nachteilen der beiden Strategien). Es ist durchaus möglich je nach

Entwicklungstendenz der Population die Strategie im Evolutionslauf zu wechseln [Gerdes et al. 2004, S. 117],

In Bezug auf das Crossover wird bei den ES auf das uniforme oder intermediäre Crossover zurückgegriffen. Auf das uniforme Crossover wurde bereits beispielhaft eingegangen. Das intermediäre Crossover sieht die Berechnung des Mittelwertes aus den Werten der Elterngene zur Bestimmung der neuen Genausprägung vor [Gerdes et al. 2004, S. 123]. Bei der Rekombination kann neben der Auswahl einer Teilmenge an Individuen aus der Elternpopulation auch der globale Ansatz (globale Rekombination) verfolgt werden. Bei der globalen Rekombination erfolgt eine gleichverteilte Auswahl der Gene aus der gesamten Population [Weicker 2007, S. 137].

Im Ergebnis der Rekombination und Mutation steht auch bei der ES eine Nachfolgegeneration mit einer identischen Anzahl Individuen wie die Elternpopulation. Sprich, die Populationsgröße bleibt im Evolutionslauf gleich. Dies wird nun solange fortgesetzt, bis ein entsprechendes Abbruchkriterium erreicht ist.

Die Unterschiede der ES zu den GA ergeben sich u.a. aus dem praktischen Erfordernissen. ES werden überwiegend zur Optimierung kontinuierlicher Entscheidungsvariablen verwendet [Nissen 1997a, S. 155].

(g) Evolutionäre Programmierung

Die Evolutionäre Programmierung (EP) lässt sich auf Fogel et al. [1966] zurückführen und wurde entwickelt zur Generierung endlicher Automaten in Bezug auf die Betrachtung von Zeitreihenprognosen [Weicker 2007, S. 139, 180]. Erst später wurde der Ansatz zu Optimierungszwecken erweitert [Gerdes et al. 2004, S. 125] (siehe [Weicker 2007, S. 139 ff.; Gerdes et al. 2004, S. 125 ff.; Nissen 1997a, S. 195 ff.] zur Evolutionären Programmierung). Gegenstand der Optimierung sind i.d.R. mehrdimensionale reellwertige Funktionen mit einem Optimum im Nullpunkt [Gerdes et al. 2004, S. 125]. Der EP ist zu Eigen, dass keine genetische Repräsentation gegenständlich ist. Es wird nur der Phänotyp der Individuen betrachtet [Weicker 2007, S. 139]. Entsprechend kommt der Rekombination keine Bedeutung zu [Weicker 2007, S. 139; Gerdes et al. 2004, S. 125]. Weicker führt zwei Standardverfahren auf, welche als Modellierungstechniken bei der EP eingesetzt werden: endlichen Automaten und die neuronalen Netze [Weicker 2007, S. 139] (siehe [Weicker 2007, S. 140] zur formalen Definition der endlichen Automaten und [Rey & Wender 2011; Kinnebrock 1994] zum Wesen der neuronalen Netze). Endliche Automaten bestimmen aus ihrem inneren Zustand und dem aktuellen Wert der Zeitreihe heraus die Prognose des nächsten Zustands und ihren neuen inneren

Zustand [Weicker 2007, S. 140]. Mittels der simulierten Evolution wird das Ziel verfolgt die Prognosefähigkeit der Automaten zu verbessern [Weicker 2007, S. 140] (siehe [Weicker 2007, S. 141 ff.] zu konkreten Beispielen). In der weiteren Entwicklung werden intelligente, künstliche Automaten heute auch als „Agenten“ bezeichnet [Nissen 1997a, S. 195] (siehe [Russell et al. 2012; Wooldridge 2009] zu Agenten und Agentensimulation). Künstliche neuronale Netze haben natürliche Neuronen zum Vorbild [Weicker 2007, S. 144]. Das Modell eines neuronalen Netzes beinhaltet eine Menge von Neuronen, die in Schichten gegliedert (z.B. Eingabeschicht/Ausgabeschicht) und miteinander über die Schichten zu einem Netz verbunden sind [Weicker 2007, S. 144]. Eine ausreichende Anzahl an Neuronen vorausgesetzt, kann jede mathematische Funktion annähernd mit einem neuronalen Netz abgebildet werden [Weicker 2007, S. 145].

Entgegen der Evolutionsstrategie ist bei der Evolutionären Programmierung der Mutationsoperator nicht selbstadaptiv und wird in diesem Fall von Gerdes als abhängig von der Fitness der Eltern sowie einem normalverteilten Zufallswert beschrieben [Gerdes et al. 2004, S. 125]. Fogel entwickelte 1992 eine Meta-EP, welche in Bezug auf den Mutationsoperator diese Schwäche ausmerzt und mit einer selbstadaptiven Mutationsschrittweite arbeitet [Gerdes et al. 2004, S. 126] (siehe [Nissen 1997a, S. 200 ff.] zur Meta-EP). Wie bei der Evolutionsstrategie beinhalten die einzelnen Individuen nun die jeweiligen zugehörigen Mutationsparameter [Gerdes et al. 2004, S. 126].

Unabhängig davon, ob endliche Automaten oder neuronale Netze gegenständlich sind, erfolgt die Anwendung des Mutationsoperators. Die Auswahl der Kinder, welche die neue Nachfolgeneraion bilden, erfolgt in Analogie zu den Evolutionsstrategien mittels Selektionsoperator [Gerdes et al. 2004, S. 126]. Die Selektion selber erfolgt nicht über den Fitnesswert, sondern indirekt mittels einer Turnier-Selektion (Vergleich der Fitnesswerte) von zufällig gewählten weiteren Individuen aus der Gesamtmenge der Eltern- und Kinder-Individuen [Gerdes et al. 2004, S. 126; Nissen 1997a, S. 199]. Die Sieger werden der Rangfolge nach sortiert. Die besten Individuen bilden die Nachfolgeneraion [Nissen 1997a, S. 199]. Zum vollständigen Ablauf in Bezug auf Initialisierung der Population und Beendigung der Suche siehe Nissen [1997a, S. 197 ff.].

(h) Genetische Programmierung

Den jüngsten Zweig der Evolutionären Algorithmen stellt die Genetische Programmierung (GP) dar, welche Koza [1989] auf Grundlage der GA ableitete. Die GP ist, wie der Name andeutet, aus den GA hervorgegangen (siehe [Weicker 2007, S. 146 ff.; Gerdes et al. 2004, S. 127 ff.; Nissen 1997a, S. 111 ff.] zur GP). Entsprechend sind die Verfahren ähnlich und der Rekombination kommt als Operator die höhere Bedeutung zu, im Vergleich zur Mutation [Weicker 2007, S. 146]. Der GP ist zu eigen, dass die Repräsentation in der Größe variabel ist. Sowohl die Struktur als auch der Umfang werden durch den Evolutionsprozess bestimmt [Weicker 2007, S. 146]. Dies ist darin begründet, dass im Ursprung der GP die Entwicklung von Computerprogrammen oder mathematischen Funktionen stand [Weicker 2007, S. 146].

Ausgangsbasis der GP sind im Regelfall Syntaxbäume, welche beliebige mathematische Ausdrücke oder Programme (z.B. durch LISP-Ausdrücke) darstellen [Weicker 2007, S. 147]. Jedem Blatt des Syntaxbaumes (letzter Knoten eines Astes) ist ein Wert zugeordnet. Die internen Knoten beinhalten die Funktionen oder Programmkonstrukte (Genotyp) [Weicker 2007, S. 147]. Die erzeugten Programme werden in einer virtuellen Umgebung ausgeführt. Für Testfälle wird bemessen, in wie weit diese die gestellten Zielbedingungen erfüllen (Phänotypbetrachtung) [Weicker 2007, S. 148] (siehe [Nissen 1997a, S. 115 ff.] zur Fitnessbewertung). Im Zuge des Evolutionsprozesses werden an dem Syntaxbaum die genetischen Operatoren ausgeführt. Bei der GP ist der Hauptoperator die Rekombination (hier „Baumtausch-Rekombination“), bei welcher ausgehend von zwei Syntaxbäumen jeweils ein Unterbaum vertauscht wird, um die Kinder-Individuen zu erzeugen [Weicker 2007, S. 148 f.] (siehe Abb. 38). Zum vollständigen Ablauf in Bezug auf Initialisierung der Population, Selektion und Beendigung der Suche siehe Nissen [Nissen 1997a, S. 117 ff.].

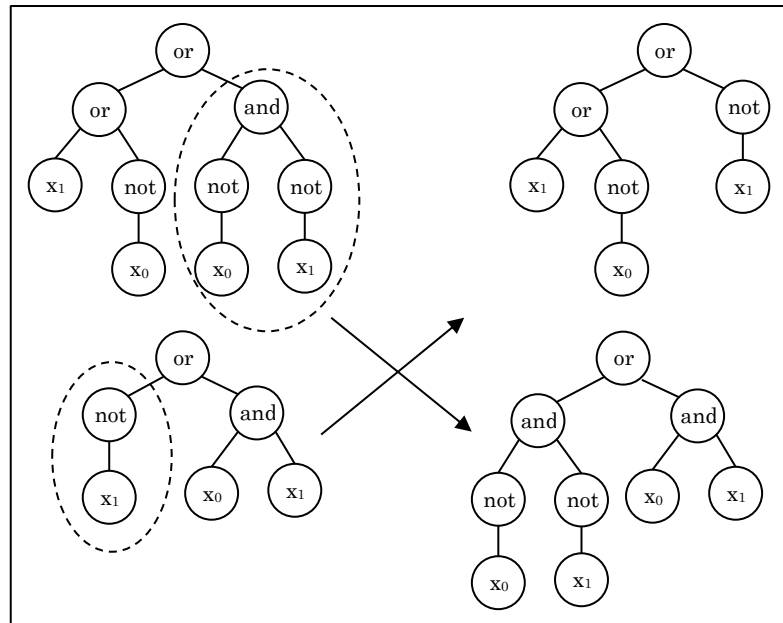


Abb. 38: Beispiel für die Baumtausch-Rekombination [Weicker 2007, S. 149]

In Bezug auf die Mutation werden von Weicker [2007, S. 149 f.] zwei verbreitete Varianten aufgeführt: die Zufallsbaum-Mutation und die Baumtausch-Mutation. Erstere ersetzt einen „zufällig gewählten Unterbaum durch einen neuen zufällig erzeugten Teilbaum“ [Weicker 2007, S. 149] (siehe [Weicker 2007, S. 150] zu einem Beispiel). Die Baumtausch-Mutation entspricht dem Vertauschen zweier Teilbäume innerhalb eines Individuums [Weicker 2007, S. 150] (siehe [Weicker 2007, S. 151] zu einem Beispiel).

Die variable Struktur und Größe der Individuen kann zu unbeschränkt großen Syntaxbäumen führen [Weicker 2007, S. 148]. Um dem entgegenzuwirken wird häufig die Baumstruktur im Voraus begrenzt, was in sich bereits Schwierigkeiten birgt, indem nur jene Operationen zulässig sind, welche die Restriktion einhalten [Weicker 2007, S. 148 f.]. Tauschen oder Mutieren der Baumstrukturen ist darüber hinaus nur zulässig, wenn miteinander kompatible oder gleiche Datentypen verwendet werden [Weicker 2007, S. 149]. Darüber hinaus kann durch die evolutionären Operatoren die Kodierung stark redundant werden, wenn unterschiedliche Teilbäume die gleiche Funktionalität darstellen [Weicker 2007, S. 148]. Eine effiziente (manuelle) Programmierung wirkt diesem durch Kapselung und Wiederverwendung der Funktionalitäten entgegen. Im Ursprung verfügt die EP über keine solche Methodik [Weicker 2007, S. 151]. Erst im weiteren Verlauf der Entwicklung wurde versucht, dies bei der EP durch eine Kapselung von Funktionen unter einem eigenen Terminalsymbol effizient zu gestalten. In der Praxis brachte dies aber nur bedingt den gewünschten Erfolg [Weicker 2007, S. 152]. Erfolgreicher sind hier die automatisch generierten Funktionen (siehe hierzu [Weicker 2007, S. 152]).

5. Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden über einen Zeitraum von 6 Jahren drei Einrichtungen der Maximalversorgung (Universitätskliniken) hinsichtlich ihrer Einbestellpraxis und der Einplanung von Patienten in den unterschiedlichen Fachabteilungen betrachtet (Kardiologie, Hämatologie, Onkologie, interdisziplinäre Notaufnahme). Die vorliegende Arbeit nimmt im Weiteren Bezug auf diese drei Einrichtungen als Referenzeinrichtungen, anhand derer die Daten und Prozessabläufe erhoben und analysiert wurden. Es handelt sich hierbei um Einrichtungen aus unterschiedlichen Bundesländern⁴⁷. Die Referenzeinrichtungen stellen sich in Zahlen wie folgt dar (siehe Tab. 13).

Vergleichskriterium	Bundesdurchschnitt 2008	Einrichtung 1 2008	Einrichtung 2 2008	Einrichtung 3 2008
Art der Versorgung	maximal	maximal	maximal	maximal
Trägerschaft		öffentlich	öffentlich	öffentlich
mit Lehrauftrag		ja	ja	ja
Anzahl vollstationäre Planbetten	1.316	ca. 1.150	ca. 1.350	ca. 1.250
Anzahl klinischer Abteilungen	-	ca. 30	ca. 40	ca. 25
Anzahl vollstationäre Fälle p.a. (bewerte DRGs)	48.771	ca. 42.000	ca. 45.000	ca. 47.000
Anzahl ambulanter Fälle p.a.	186.372	ca. 1.000.000	ca. 110.000	ca. 160.000
Umsatz aus der Krankenversorgung in Mio. Euro	285,33	ca. 255	ca. 265	ca. 245
Durchschnittliche Fallschwere Index (CMI) ⁴⁸	1,47	1,36	1,50	1,50
Durchschnittliche Verweildauer in Tagen ⁴⁹ (bewertete DRGs)	7,2645	ca. 7,2	ca. 7,6	ca. 7,8
Anzahl wissenschaftlich- ärztliches Personal in der Humanmedizin	1.019	ca. 1.100	ca. 1.050	ca. 1.100
Anzahl nicht Ärzte am wissenschaftlich- ärztlichen Personal in der Humanmedizin	340,15	ca. 430	ca. 400	ca. 330

Tab. 13: Gegenüberstellung der Referenzeinrichtungen in Zahlen⁵⁰ [Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland 2011a, 2011b]

⁴⁷ Zwei Einrichtungen aus den alten und eine Einrichtung aus den neuen Bundesländern.

⁴⁸ Der Case Mix Index (CMI) Fallschwere-Index im DRG-System, beschreibt die durchschnittliche Schwere der Patientenfälle. Der Case Mix Index ist der Case Mix dividiert durch die Anzahl der Patienten. Hohe CMI-Werte sprechen für einen hohen ökonomischen Aufwand bei der Diagnose und Behandlung der Patienten.

⁴⁹ Ohne Psychiatrie, ohne teilstationär.

⁵⁰ Kliniknamen sind in der vorliegenden Arbeit nicht angegeben, zum Schutz der Identität der Kliniken. Die angeführten Werte sind gerundet.

Um die praktizierte Patienteneinbestellungslogik sowie Reihenfolgeplanung beurteilen zu können, bedarf es zunächst einer detaillierten Betrachtung der Einbestellungsprozesse und der Patientenverläufe, in den Bereichen, welche die Patienten einbestellen sowie von den Patienten durchlaufen werden. Da ein Krankenhaus der Maximalversorgung über ein weites Feld an Fachabteilungen verfügt, wird hier eine Abgrenzung vorgenommen. Exemplarisch wird in der vorliegenden Arbeit die Fachabteilung der Kardiologie⁵¹ gegenständlich sein. Darüber hinaus werden die Bereiche betrachtet mit denen Wechselwirkung bestehen, wie die interdisziplinäre Notaufnahme und das Labor. Weiterhin werden Bereiche bezogen auf die Wechselwirkungen z.B. Verlegungen betrachtet und im Weiteren unter „Sonstige“ zusammengefasst. Konkreter Betrachtungsgegenstand sind damit die:

- zentrale Patientenaufnahme,
- kard. Normalstationen⁵² (normal care),
- kard. Überwachungsstationen (intermediate care),
- Intensivstationen (intensive care),
- kard. Ambulanz(en),
- Funktionsbereiche
 - Elektrokardiografie (EKG),
 - Echokardiografie (ECHO),
- OP-Bereiche⁵³
 - Herzkatheterlabore,
 - Elektrophysiologisches Labor,
- Notaufnahme und
- sonstige Fach-/Funktionsbereiche/Stationen/Ambulanzen/Labore

Der Erhebungszeitraum für Daten- und Prozesse und somit der im Rahmen der Arbeit geschilderte Stand sind für Einrichtung 1 die Jahre 2006-2007, für Einrichtung 2 die Jahre 2009-2011 und für Einrichtung 3 die Jahre 2010-2012.

In dieser Betrachtung und im Weiteren wird von einem „Normalzustand“ der Fach- und Funktionsbereiche ausgegangen. Eine eingetretene Katastrophe wird nicht angenommen. Auch wird davon ausgegangen, dass es keine Störungen der technischen Anlagen gibt, die über den normal zu erwartenden Umfang hinausgehen⁵⁴. Ebenso wird für den weiteren Verlauf eine wirtschaftlich orientierte Trägerschaft der Kliniken zugrunde gelegt.

⁵¹ Bereiche zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

⁵² Im Weiteren auch kard. Stationen oder kurz Stationen.

⁵³ Im Weiteren auch als Funktionsbereich HKL (kurz HKL) bezeichnet oder gemeinsam mit EKG und ECHO als Funktionsbereiche.

⁵⁴ Hierzu werden im Späteren die Ausfälle und Wartungsmaßnahmen erhoben.

5. Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Im Weiteren sind drei Gruppen von Patienten Betrachtungsgegenstand:

- elektive Patienten (planbare Patienten),
- nicht-elektive Patienten (nicht oder nur kurzfristig planbare Patienten) und
- akute Patienten (Notfälle).

Elektive Patienten sind weitestgehend planbare Patienten, deren Zeitpunkt der Aufnahme/Behandlung nahezu frei planbar ist. Konkret bedeutet dies für die vorliegende Arbeit, dass diese spätestens am Vortag einer Untersuchung/Aufnahme angemeldet/einbestellt wurden. Bei nicht-elektiven Patienten handelt es sich um nicht geplante resp. kurzfristig im Tagesverlauf angemeldete Maßnahmen und Patientenverlegungen, welche im Voraus nicht bekannt waren, z.B. ungeplante Verlegungen oder kurzfristig angeforderte Untersuchungen (auch walk-in Patienten), die keine Notfälle darstellen. Notfallpatienten sind spezielle nicht-elektive Patienten, welche nach medizinischer Indikation akute Patienten darstellen und einer sofortigen/zeitnahen Behandlung bedürfen. Aufgrund ihres Charakters haben diese maßgeblichen Einfluss auf die bestehende Planung und werden deshalb, trotz ihres nicht-elektiven Charakters, als eigene Gruppe geführt.

Patienten können im Laufe ihres Aufenthaltes zwischen den drei aufgeführten Gruppen wechseln. Ein elektiv aufgenommenener Patient kann im Laufe seines Aufenthaltes zu einem Notfall werden, wenn z.B. auf der Station eine akute Verschlechterung eintritt. Die jeweilige Einstufung in elektiv oder nicht-elektiv ist im Weiteren jeweils aus Sicht der Bereiche getroffen, auf welche die Patienten/Patientenanfragen in der jeweiligen Situation treffen. Sofern mehrere Maßnahmen in unterschiedlichen Bereichen anstehen, können diese z.B. für einen Patienten zugleich elektiv und eine andere nicht-elektiv in der Art der Anforderung sein.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Es wird als Ziel und Herausforderung der vorliegenden Arbeit angesehen, ein validiertes, dynamisches und ausführbares Modell als Abbild der Realität zu entwickeln, um daran die abteilungsübergreifende Termin- und Reihenfolgeplanung sowie eine Optimierung derer vorzunehmen. Zum Aufbau eines solchen Modells bedarf es diverser Erhebungen im Realsystem. Der Aufbau eines Simulationsmodells darf nicht verstanden werden als ein isolierter Prozess. Vielmehr bedarf es Informationen von und einer engen Abstimmung mit Personen, die vertraut sind mit dem abzubildenden System und den Prozessen [Law 2015, S. 256]. In diesem Kapitel wird zunächst auf die durchgeführten Patienten- und Mitarbeiterbefragungen in Form von anonymen Fragebögen eingegangen. Aus diesem subjektiven Bild der Akteure werden Anhaltspunkte für die Güte und zu den Schwachstellen der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit gewonnen, welche im Kapitel 7 einfließen werden. Anschließend wird die Prozessaufnahme beschrieben. Aus den drei Referenzeinrichtungen wird im Zuge dessen eine auf die wesentlichen Abläufe beschränkte Menge an Prozessen aufgeführt und gegenübergestellt. Ferner wird die Durchführung der Datenerhebungen erläutert und die Validierung des Datenbestandes beschrieben, um im Ergebnis die angestrebte Ausgangsdatenbasis für den Aufbau und die Validierung des Simulationsmodells zu erhalten.

6.1 Mitarbeiter und Patientenbefragungen

Es wurden Fragebögen für die Gruppe der Mitarbeiter und der Patienten entwickelt⁵⁵, welche in den untersuchten klinischen Einrichtungen in verschiedensten Fachabteilungen, u.a. Onkologie, Pneumologie, Kardiologie sowie Hämatologie und dort u.a. in den Bereichen wie den Ambulanzen, auf den Stationen und in den Funktionsbereichen, verteilt wurden. Die Fragebögen sind im Anhang A3-A8 aufgeführt. Es wurden insgesamt 93 Pflegekräfte, 45 Ärzte und 189 Patienten mittels der angehängten Fragebögen befragt. Dies erfolgte über einen Zeitraum von 2006 - 2012 in den betrachteten Referenzeinrichtungen. Die Befragung erfolgte anonymisiert und war freiwillig. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die gemachten Angaben dem tatsächlichen Empfinden der Mitarbeiter und Patienten entsprechen. Teils wurden ergänzende Interviews geführt, um die Ergebnisse der Fragebögen richtig zu verstehen resp. die Fragen zu vertiefen.

6.1.1 Patientenbefragung

Es wurden standardisierte Patientenfragebögen entwickelt (siehe Anhang A3-A5), in den jeweiligen Prozessstufen (nach der Aufnahme/nach der Entlassung resp. in der

⁵⁵ Die Fragebögen wurden zusammen mit Prof. Dr.-Ing. F. Richter entwickelt.

Ambulanz) übergeben wurden, mit der bitte einer unbefangenen Beantwortung. Entsprechend waren die Fragebögen anonym ausgelegt. Um den Behandlungsablauf nicht zu beeinträchtigen, fanden Patientenbefragungen nur in Bereichen statt, wo dies den Klinikablauf nicht störte, und die Patienten sich ohne Weiteres der Beantwortung der Fragen widmen konnten, z.B. in den Wartebereichen der Ambulanz und den Funktionsbereichen sowie zur Liegezeit auf den Stationen. Auf diesem Wege wurden sowohl ambulante als auch stationäre Patienten befragt. Sofern Patienten Unterstützung erfuhren, wurde darauf geachtet keine Beeinflussung vorzunehmen. Die Fragen wurden lediglich vorgelesen, ggf. näher erläutert und bei Bedarf die Antworten notiert. Die Patientenfragebögen beinhalteten Fragen, welche für die Ambulanz und für die Stationen identisch abgefragt wurden sowie unterschiedliche Teile, welche speziell für die einzelnen Bereiche ausgelegt sind (z.B. die Entlassung).

6.1.2 Mitarbeiterbefragung

Auch die Fragebögen für die Mitarbeiter sind je Bereich differenziert (Stationen, HKL, Ambulanz). Gleichwohl sind diese so angelegt, dass es wechselseitige Fragestellungen gibt (siehe Anhang A6 - A8). Zum Beispiel finden sich im Fragebogen der Stationen Fragen über das HKL und umgekehrt, um hiermit die gegenseitige Sichtweise aufzuzeigen. Zudem gibt es identische Teile, welche in derselben Form auf der Station, in der Ambulanz und im HKL abgefragt wurden. Hierunter zählen u.a. die Qualität der Behandlungen, die Reputation der Klinik und die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit. Hieran kann abgelesen werden, ob es in einzelnen Bereichen unterschiedliche Ansichten gibt oder die Einschätzungen deckungsgleich sind. In klinischen Einrichtungen gibt es eine klare Trennung zwischen dem ärztlichen und dem pflegerischen Aufgabengebieten (siehe Abschnitt 2.1 zur funktionalen Gliederung). Entsprechend wurde mit den Fragebögen die Zugehörigkeit abgefragt, um dies auch in der Auswertung differenziert betrachten zu können. Auch diese Erhebungen erfolgten anonym.

6.2 Aufnahme der Einbestellungsprozesse

Zum Aufbau eines Prozessmodells und zur späteren Optimierung bedarf es dem Wissen um die Prozesse im Realsystem. Da in keiner der drei klinischen Referenzeinrichtungen vollständige Prozessbeschreibungen vorlagen, wurden diese vollends neu erhoben. Hierzu wurden zunächst die (prozess-)verantwortlichen Stellen, z.B. die Stationsleitung (Pflege), herangezogen. Diese wurden gebeten die Abläufe so detailliert wie möglich zu beschreiben. Die Schilderungen wurden dokumentiert und anschließend mit 2-3 weiteren Personen aus dem operativen (pflegerischen) Bereich validiert. Hierzu wurden diese Personen zunächst wieder gebeten, den Ablauf zu schildern, um die neueren Schilderungen den bisherigen gegenüberzustellen.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Anschließend wurde gezielt auf Abweichungen in den Schilderungen und ablaufbezogene, kritische Punkte eingegangen. In gleicher Weise wurde der Ablauf mit den Ärzten durchgesprochen und die Tätigkeiten dieser in den jeweiligen Prozessdokumentationen ergänzt. Anschließend wurden die Abläufe zur finalen Prüfung vorgelegt. Zur weiteren Validierung wurde über den Erhebungszeitraum der Ablauf auf der Station beobachtet. Dies erfolgte parallel zu den Patienten-/Mitarbeiterbefragungen und den Datenerhebungen, welche im Abschnitt 6.3 beschrieben werden. Da sowohl die Befragungen, wie auch die Datenerhebungen viel Zeit in Anspruch nahmen, war es möglich den Tagesablauf in den einzelnen Bereichen über einen längeren Zeitraum sehr gut zu beobachten und mit den aufgenommenen Prozessen abzugleichen.

Die Dokumentation der Prozessabläufe erfolgte zunächst informal in einer einfachen grafisch gestützten Form. Die Vereinfachung ist darin zu sehen, dass es sich ausgehend von einem initialen Startereignis, um eine Aneinanderreihung von Prozessschritten (Funktionen oder Tätigkeiten) handelt. Ereignisse, welche die Funktionen oder Tätigkeiten auslösen, werden als eingetroffen unterstellt und nicht eigens abgebildet. Die nachfolgende Darstellung veranschaulicht dies an einem kleinen Beispiel (siehe Abb. 39).

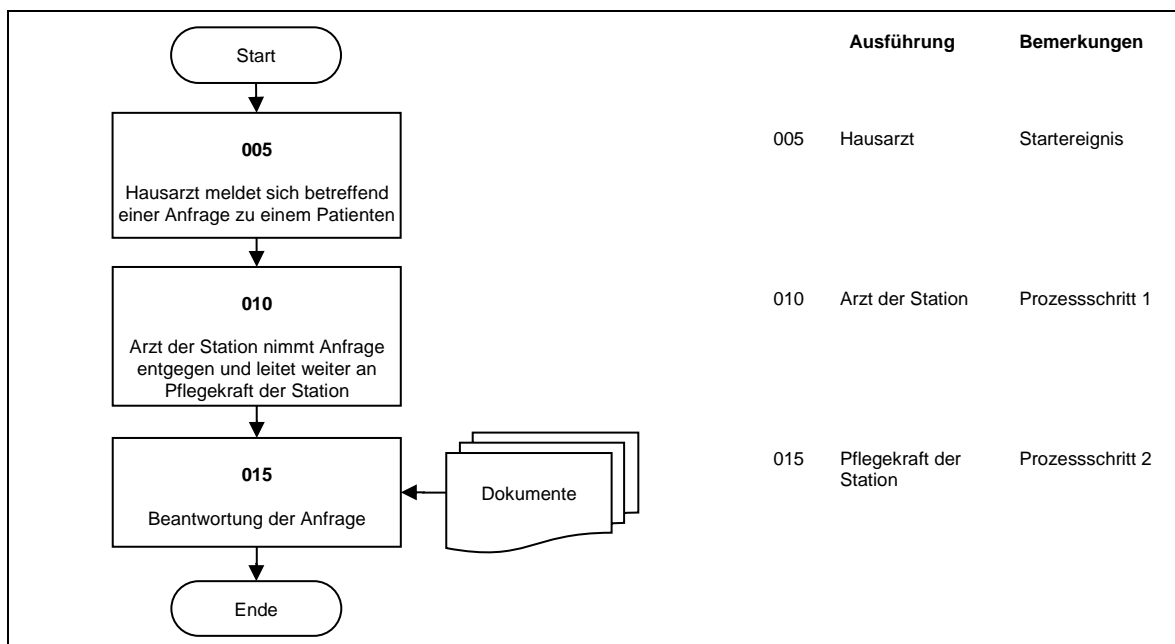


Abb. 39: Beispiel der hier zur Anwendung kommenden Prozessabbildung

Auf der linken Seite der Dokumentation wird der Prozess mit grafischen Bausteinen abgebildet. Diese sind in 5er Schritten fortlaufend nummeriert, um für evtl. auftretende Korrekturen die Möglichkeit zum Einschleiben von Prozessschritten zu gewährleisten, ohne im ganzen Dokument die Nummerierung zu ändern. Benötigte

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Dokumente und Unterlagen sind an den Prozessablauf am betreffenden Prozessschritt angegliedert. Rechts daneben finden sich zu jedem Prozessschritt jeweilige ausführende Stelle/Person/Personengruppe und Bemerkungen zur Erläuterung. Diese sind entsprechend dem zugehörigen Prozessschritt über die angeführte Nummerierung zugeordnet. Die im Beispiel verwendeten und weitere Bausteine zur Prozessdokumentation sind nachfolgend aufgeführt und erläutert (siehe Abb. 40).

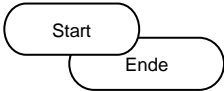

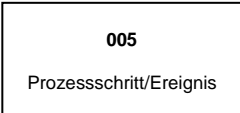


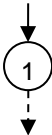

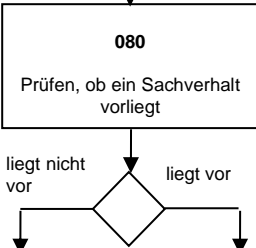
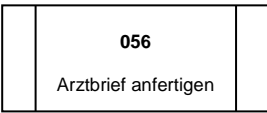
Baustein	Erläuterung
	Start / Ende Symbole für den Beginn und das Ende des beschriebenen Prozesses
	Ablaufrichtung des Prozesses. Jeder Prozessschritt/jedes Ereignis ist mit einem solchen Pfeil mit dem nächsten Prozessschritt/Ereignis verbunden.
	Prozessschritt mit Nummerierung
	Ein Dokument, welches in den Prozess einfließt oder aus dem Prozessschritt ergeht.
	Mehrere Dokumente, welche in den Prozess einfließen oder aus dem Prozessschritt ergehen.
	Unterbrechung eines Prozessablaufes z.B. bei Seitenübergänge oder Schnitte im Prozess. Diese werden mit fortlaufenden Nummern in Kreisen dargestellt.
	Weiterführung eines Prozessablaufes.
	Prozessverzweigung, auf Basis einer Prüfung.
	(Sub-)Prozess, welcher separat beschrieben wird.

Abb. 40: Prozessbausteine für die informale Prozessbeschreibung

Im Folgenden werden die Prozesse zur Terminvergabe von stationären und ambulanten kard. Patienten sowie deren Reihenfolgeplanung für die drei Referenzkliniken beschrieben und gegenübergestellt. Die Abbildung der Abläufe erfolgt in Form der eben ausgeführten einfachen Prozessketten und dient einer späteren genaueren Analyse. Neben den nachfolgend aufgeführten Dokumentationen sind der Arbeit weitere Prozessbeschreibungen (zu den Abläufen auf den Stationen, den Ambulanzen, den HKLs und der Notaufnahme) angehängt (siehe Anhang A9 bis A32).

6.2.1 Referenzeinrichtung 1

In Einrichtung 1 gibt es eine zentrale Anlaufstelle für die Terminvergabe der kardiologischen Ambulanz und für stationäre Aufenthalte (keine internen Verlegungen). Die Terminvergabe für das HKL und die kardiologischen Stationen ist ebenfalls verknüpft, da Patienten (sofern nicht ambulant) spätestens im Anschluss an eine Untersuchung im HKL zur Überwachung auf die kardiologische Station verlegt werden. Im Folgenden wird zunächst der Ablauf für die kardiologische Ambulanz betrachtet. Anschließend wird die stationäre Aufnahmeplanung in Verbindung mit der Planung der HKL-Maßnahmen geschildert.

(a) Kardiologische Ambulanz

Termine für die kardiologische Ambulanz werden durch das Sekretariat des leitenden Oberarztes im Abstand von 30 Minuten vergeben (fixed-interval). Es wird jedem möglichen Termin ein Patient zugeteilt (individual-block). Sofern der Patient zum ersten Mal in die Ambulanz kommt, erfolgt die Terminabsprache über den Hausarzt des Patienten oder durch den behandelnden Arzt im Haus. Sofern der Patient zuvor bereits in der Ambulanz vorstellig war, wird der Termin direkt mit dem Patienten vereinbart. Die Termine werden am Ende des Arbeitstages in Form einer Papierliste mit Uhrzeiten am Empfang der Ambulanz abgegeben. Die Pflegekräfte am Empfang der Ambulanz tragen die Patiententermine in das Krankenhausinformationssystem (SAP IS-H*med) ein, welches als zentrales EDV-System implementiert ist. Es gibt je eingeteiltem Arzt zur Ambulanz unterschiedliche Angaben, als Vorgabe, wie viele Patienten pro Tag von dem jeweiligen Arzt behandelt werden können (i.d.R. 10 Patienten). Danach richtet sich die Anzahl der einbestellten Patienten. Die zum Ambulanzdienst eingeteilten Ärzte wechseln im Laufe der Woche. Die Ärzte sind bei Zuteilung nicht den ganzen Tag fest in der Ambulanz, sondern i.d.R. nur auf Abruf. Der Abruf erfolgt beim Eintreffen eines Patienten am Empfang der allgemeinen Ambulanz. Der Prozessablauf der Einbestellung ist in Abb. 41 veranschaulicht.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

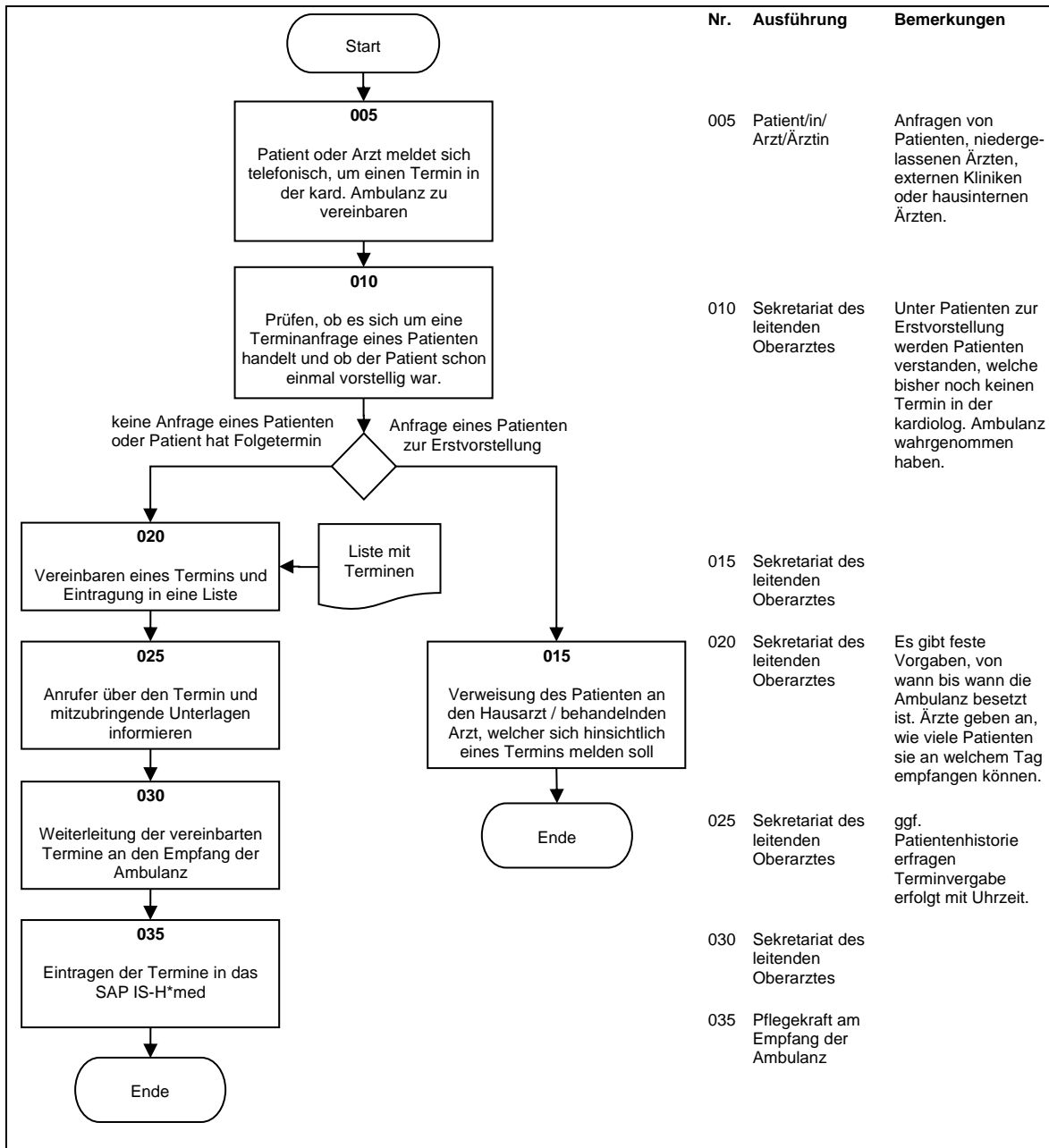


Abb. 41: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 1

(b) Kardiologische Stationen und Herzkatheterlabor

Die Anmeldung von (elektiven) stationären Patienten von extern erfolgt über das Sekretariat des leitenden Oberarztes⁵⁶. Da hinsichtlich der freien Bettenressourcen auf den Aufnahmestationen keine Transparenz besteht, ist als Richtwert eine Anzahl von 5 elektiven Neuzugängen je Tag, je Station als Vorgabewert definiert. Die Anmeldung erfolgt durch Hausärzte oder behandelnde Kardiologen. Im Zuge dessen erfolgt eine Eintragung in den Outlook-Kalender der Station, welcher als Übersicht für die Planung der Entlassungen von Patienten genutzt wird. Der Termin wird dem Anrufer anschließend auf der Tagesbasis mitgeteilt. Die Patienten sind angehalten sich Fröhs (ohne Angabe einer Uhrzeit) auf der jeweiligen Aufnahmestation zu melden.

Terminanfragen, die sich direkt auf eine Maßnahme im Herzkatheterlabor beziehen, werden ebenfalls durch das Sekretariat des leitenden Oberarztes bearbeitet. Anfragen von anderen Kliniken bezüglich einer sogenannten ambulanten Mitbehandlung, welche verbunden ist mit einem Rücktransport zur anfragenden Einrichtung sowie telefonische Anmeldungen von Notfällen, werden direkt in das Herzkatheterlabor durchgestellt und entsprechend der Dringlichkeit durch den Oberarzt oder den Pflegeleiter des HKL in den Tagesablauf, resp. die HKL-Planung, integriert.

Grundsätzlich ist mit dem HKL-Eingriff bzw. der HKL-Untersuchung ein stationärer Aufenthalt verbunden und es erfolgt mit der Terminvereinbarung ein Eintrag im Kalender der betreffenden Station. Es wird dabei in Einrichtung 1 differenziert zwischen kurzstationären und stationären Aufenthalten. Kurzstationäre Patienten sind bereits im Vorfeld in der kardiologischen Ambulanz des Hauses vorstellig geworden und haben alle für die Untersuchung im HKL erforderlichen Voruntersuchungen durchlaufen. Somit werden diese schon am Tag der Einbestellung im HKL eingeplant. Damit das HKL über derartige kurzstationäre Anmeldungen informiert ist, werden einmal täglich diese Anmeldungen an das HKL übermittelt (Tagesliste). Als Richtwert ist für die Station eine Anzahl von 2 (elektiven) kurzstationären Neuzugängen definiert.

Neben der Meldung der einbestellten Patienten sammelt das Sekretariat des leitenden Oberarztes die Rückmeldungen bezüglich der Verfügbarkeit der Ärzte betr. der Durchführung von HKL-Maßnahmen. Zudem ist jeder Arzt im Haus angehalten, seine Patienten für das HKL spätestens bis 13:00 Uhr am Vortag des Eingriffes an das Sekretariat des leitenden Oberarztes zu melden. Das Sekretariat führt eine Liste der HKL-Anmeldungen mit maximal 10 Patienten je Tag. Am späten Nachmittag

⁵⁶ Interne Verlegungen werden direkt mit den kard. Stationen abgestimmt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

übergibt das Sekretariat die eingegangenen Meldungen der Ärzte (Anmeldung von Patienten und Verfügbarkeiten von potentiellen Untersuchern) an den Leiter des HKLs. Dieser plant zusammen mit dem Pflegedienstleiter des HKL am Abend die HKL-Belegung für den nächsten Tag (für jedes HKL). Bei der Einplanung der Patienten wird grob die erforderliche Zeitspanne für den jeweiligen Eingriff auf Basis der Erfahrungen in der Vergangenheit abgeschätzt und entsprechend in der Planung berücksichtigt (variable-interval). Es wird je Termin je HKL ein Patient zugeteilt (individual-block). Notfälle werden im Voraus in der Planung nicht berücksichtigt. Es handelt sich hierbei um eine Planung der Reihenfolge. Zeiten werden nur als Richtwert herausgegeben, z.B. vormittags, mittags, als zweiter, nachmittags. Erforderliche Ressourcen in Form von Ärzten, Behandlungsräumen und Pflegekräften werden den anstehenden Eingriffen zugeteilt und im SAP IS-H*med abgespeichert. Der OP-Plan wird für alle involvierten Personen zudem an einer Tafel im HKL niedergeschrieben (siehe Abb. 42). Abschließend werden die eingeteilten Ärzte und Stationen über die Patientenfolge und Einteilungen informiert. (z.B.: mittels E-Mail).

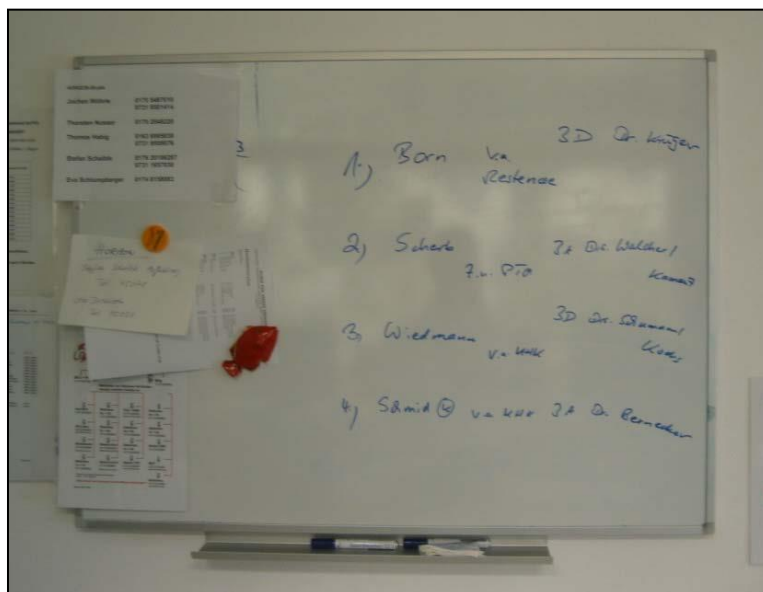


Abb. 42: Tafel im Vorraum des HKL mit der OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag –
Einrichtung 1

Es gibt somit in Einrichtung 1 grundsätzlich eine zentrale und gemeinsame Anlaufstation für die Terminvergabe von stationären Aufenthalten und die Terminvergabe für einen Eingriff im HKL. Der geschilderte Ablauf ist in Abb. 43 - Abb. 46 als Prozessablauf aufgeführt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

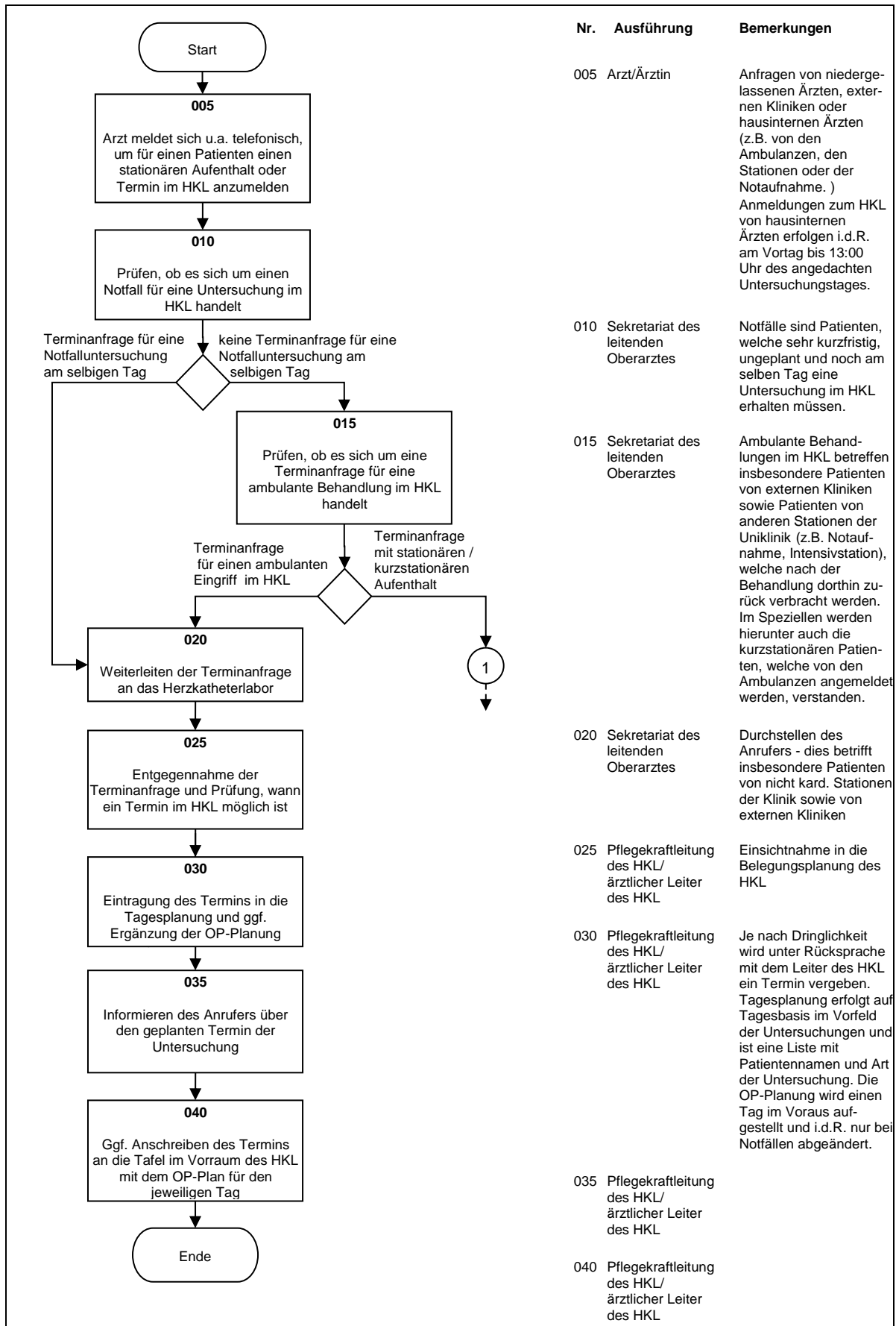


Abb. 43: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1-3 / kard. Stationen – Einrichtung 1 (Teil 1/2)

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

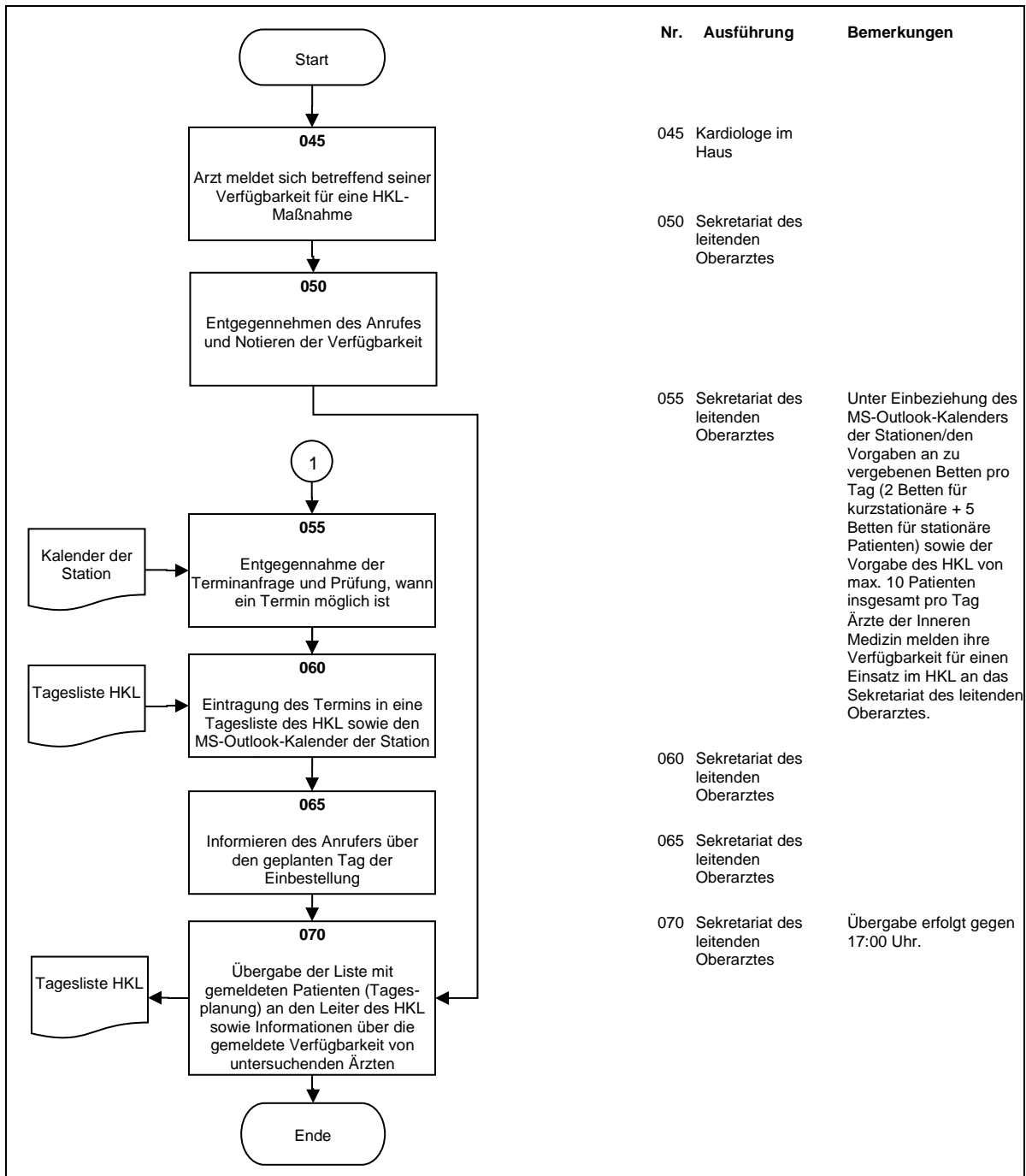


Abb. 44: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1-3 / kard. Stationen – Einrichtung 1 (Teil 2/2)

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

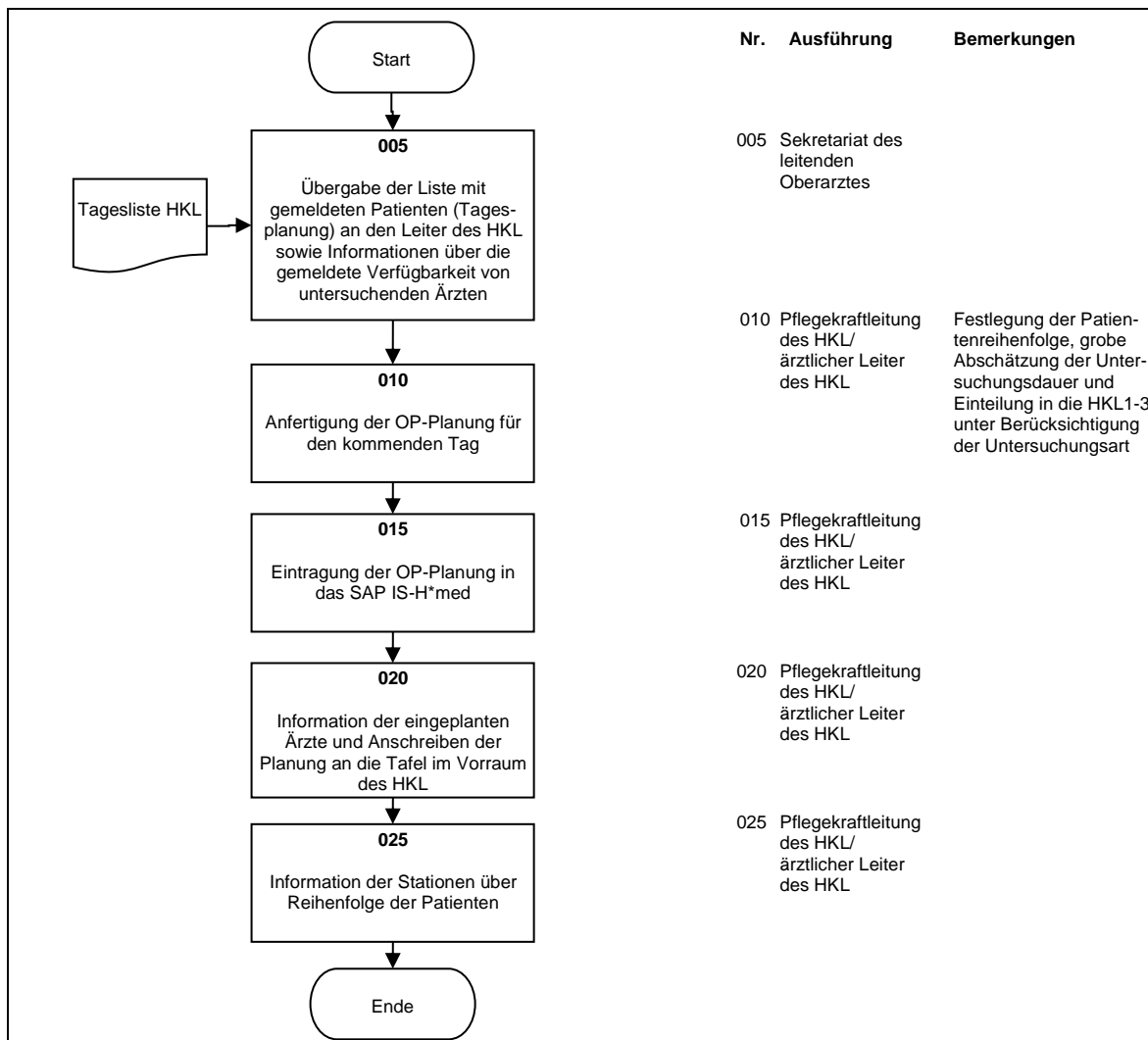


Abb. 45: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL1-3 – Einrichtung 1

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

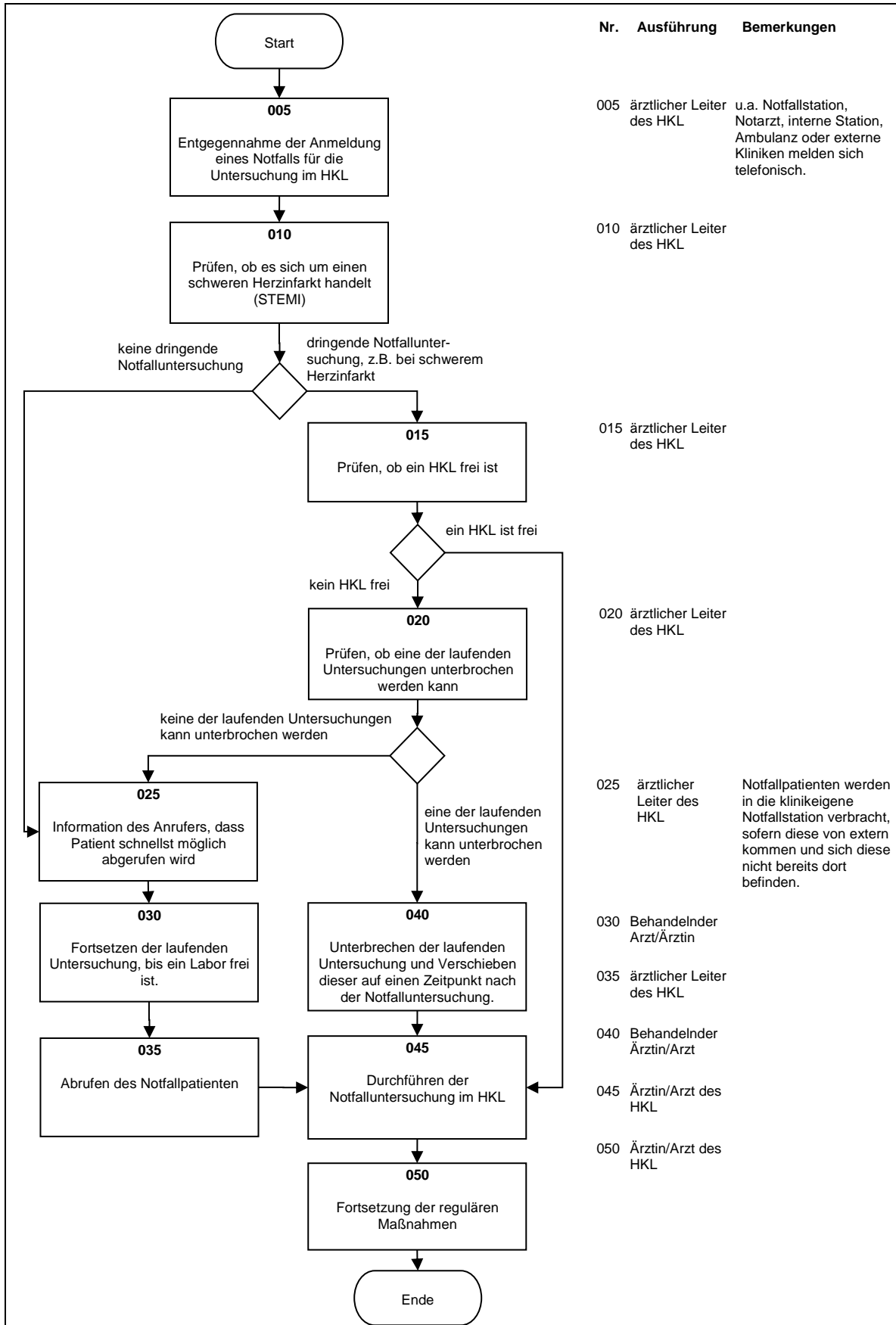


Abb. 46: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 1

6.2.2 Referenzeinrichtung 2

Einrichtung 2 verfügt über keine zentrale Anlaufstelle für die Terminvergabe an ambulante und stationäre kardiologische Patienten. Termine für die kardiologische Ambulanz werden über das zugehörige Sekretariat der kardiologischen Ambulanz oder den jeweiligen Ambulanzzarzt vergeben. Termine an Patienten zur stationären Aufnahme werden sowohl über das Sekretariat der kardiologischen Ambulanz als auch über das jeweilige Herzkatheterlabor, im Zusammenhang mit einer angedachten HKL-Maßnahme, vergeben. Das Herzkatheterlabor vergibt darüber hinaus auch direkt HKL-Termine an anfragende kard. Stationen oder z.B. bei Anfragen von externen Kliniken zu ambulanten Maßnahmen. Die Labore 1+2 sowie das Labor 3 vergeben jeweils getrennt voneinander ihre Termine.

(a) Kardiologische Ambulanz und kardiologische Stationen

Patienten oder Ärzte können sich bezüglich eines Termins im Sekretariat der kardiologischen Ambulanz wie auch bei dem jeweiligen Ambulanzzarzt melden. Die Termine werden in einen MS-Outlook-Kalender eingetragen und sind für die Ärzte in der kardiologischen Ambulanz elektronisch einsehbar. Es gibt die Vorgaben für die Anzahl der Patienten, z.B. von 9 Terminen in der allgemeinen kard. Ambulanz, welche je Tag vergeben werden können. Je Termin wird ein Patient einbestellt (individual-block). Die Termine werden im Abstand von 30 Minuten, beginnend ab 8:00 Uhr, vergeben (fixed-interval). Je nach Verfügbarkeit der Ärzte werden Ausnahmen im MS-Outlook-Kalender hinterlegt, z.B. Urlaub eines Arztes. Aktuell ist je eine Ärztin/Arzt der Ambulanz fest zugeteilt, welche teils auch im HKL unterstützen. Freitags werden keine Ambulanztermine vergeben. Der Prozessablauf ist in Abb. 47 veranschaulicht. Privatpatienten werden in einer gesonderten Ambulanz durch den Chefarzt untersucht und behandelt. Die Einbestellung erfolgt in gleicher Weise über das Sekretariat des Chefarztes.

In Bezug auf die Vergabe von Terminen zur stationären Aufnahme verfügt die kard. Ambulanz über ein Kontingent von einem Bett je Woche, welches z.B. durch eine stationäre Einweisung aus der kardiologischen Ambulanz heraus in Anspruch genommen werden kann. Der Ablauf hierzu ist in Abb. 48 dargestellt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

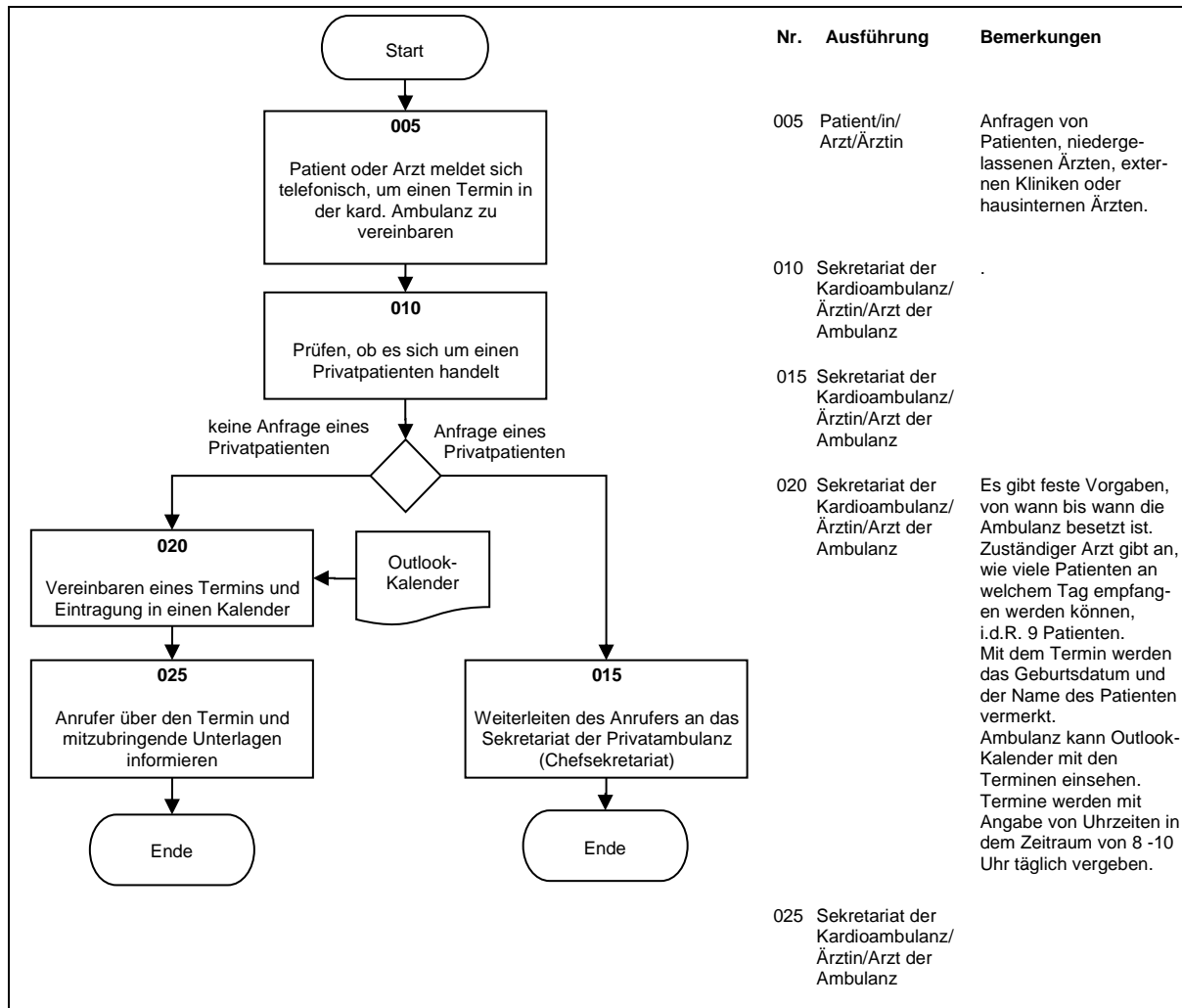


Abb. 47: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 2

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

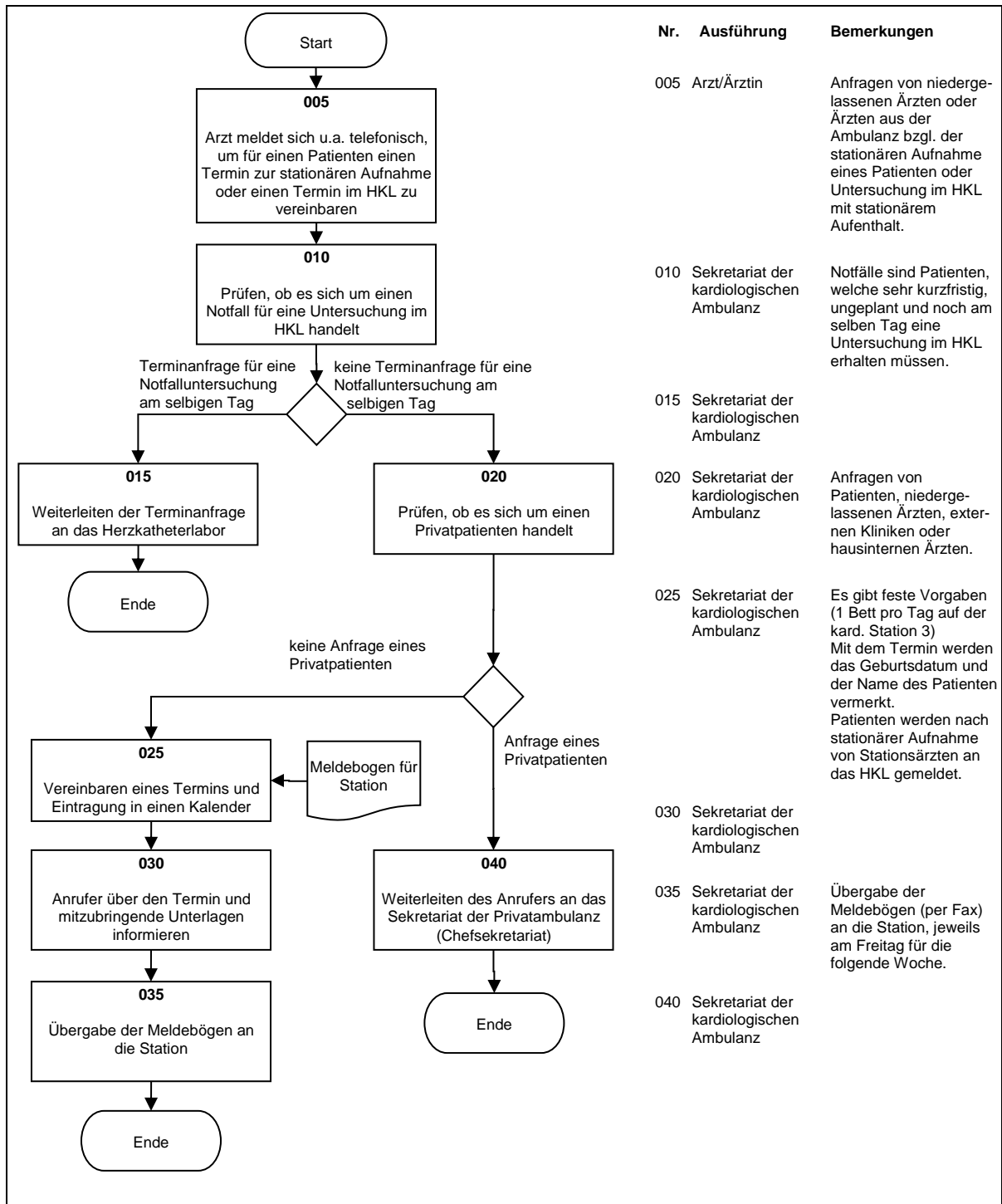


Abb. 48: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Stationen/HKL durch kard. Ambulanz – Einrichtung 2

(b) Kardiologische Stationen und Herzkatheterlabor

Terminanfragen für stationäre Aufnahmen mit einer avisierten HKL-Maßnahme, erfolgen ausschließlich von Ärzten und werden durch das Herzkatheterlabor telefonisch angenommen. Der Umfang an möglichen Aufnahmen richtet sich nach den freien Bettenressourcen auf den kard. Stationen. Da dies im der terminvergebenden Stelle im HKL nicht bekannt ist, gilt ein Richtwert von jeweils drei elektiven Neuzugängen je kard. Aufnahmestation. Das Herzkatheterlabor wird in Einrichtung 2 in die Bereiche HKL1+2 sowie in das elektrophysiologische Labor (HKL3) unterschieden. Entsprechend dieser Trennung erfolgt in den jeweiligen Bereichen separat eine Terminvergabe. Vom grundsätzlichen Ablauf ist die Einbestellung innerhalb der HKLs jedoch sehr ähnlich. Wesentlichste Unterschiede liegen darin, dass im HKL3 nur in Ausnahmen Notfälle behandelt werden und der Raum spezielles Equipment für elektrophysiologische Untersuchungen vorhält. Der Hauptgegenstand des HKL3 sind elektrophysiologische Untersuchungen, welche im Vergleich zu regulären HKL-Untersuchungen signifikant länger dauern. Aufgrund der fachlichen Abgrenzung des HKL3 verfügt dieses auch über ein eigenes Kontingent von 2 Betten bei der Vergabe von Aufnahmeterminen.

Während der Anmeldung erfolgt stets eine Eintragung in den MS-Outlook-Kalender der jeweiligen Station. Die Kalender geben eine Übersicht über die Einbestellungsplanung und noch verfügbare Betten gemäß den Vorgaben. Der Kalender ist für die kardiologischen Stationen elektronisch einsehbar und informiert diese über die eingeplanten Patientenzugänge. Der Aufnahmetermin wird dem Anrufer anschließend auf der Tagesbasis mitgeteilt. Konkrete Uhrzeiten werden im Voraus nur in Bezug auf ambulante Maßnahmen bei Patienten von externen Kliniken vergeben (ca. 1-2 Fälle pro Woche). In diesen Fällen wird der Termin auf 8:00 Uhr morgens und fortfolgend gelegt.

Die Ärzte in Einrichtung 2 sind angehalten ihre Patienten für das HKL am Vortag des Eingriffes telefonisch an das HKL zu melden. Eine feste Uhrzeit zur Abgabe der Meldung gibt es nicht. Die Meldungen werden in einen Outlook-Kalender des jeweiligen zu planenden HKLs eingetragen (Patientenpool). Die MTAs legen am Abend des Vortags fest, welcher Patient am Folgetag der erste Patient ist und rufen diesen am Vortag der Untersuchung von der jeweiligen kard. Station ab. Eine weitere Vertiefung der zeitlichen Planung erfolgt nicht. Lediglich der zur Behandlung anstehende Patientenpool wird im HKL1+2 an die Tafel im Vorraum des HKL geschrieben (siehe Abb. 49). Im HKL 3 gibt es eine solche Tafel nicht.



Abb. 49: Tafel im Vorraum der HKL1+2 mit OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag –
Einrichtung 2

Die Behandlungsreihenfolge ergibt sich erst im Laufe des Tages. Während eine Untersuchung läuft, fragen die MTAs des HKL telefonisch auf den kardiologischen Stationen an, welcher Patient als nächster zur Untersuchung bereit und verfügbar ist. Entsprechend erfolgt der Abruf des nächsten Patienten. Aus einem Pool⁵⁷ von 4-5 verfügbaren Ärzten für das HKL1+2 (inkl. 2 OA + 1 fest dem HKL zugeordneter Assistenzarzt) sowie ebenfalls 4 mögliche Untersucher für das HKL3 (inkl. 1 OA) wird im Zuge dessen nach einem Untersucher gesucht und über die anstehende Maßnahme informiert. Sobald der Patient im HKL eintrifft, wird der eingeteilte Untersucher telefonisch abgerufen.

Eingehende Anmeldungen für Notfälle werden direkt an das Herzkatheterlabor gerichtet und entsprechend der Dringlichkeit in den Tagesablauf integriert.

Im Ergebnis der Planung steht in Einrichtung 2 eine unspezifische Liste von Patienten, welche um 8:00 Uhr beginnt und deren Ende vorerst offen ist. Notfälle werden im Voraus in der Planung nicht berücksichtigt. Der Prozessablauf ist in Abb. 50 - Abb. 55 im Detail dargestellt.

⁵⁷ Mögliche Untersucher sind bis auf 1 Arzt für das HKL 1+2 in der klinischen Einrichtung nicht fest dem HKL zugeteilt, sondern bewegen sich im Haus, z.B. auf den kard. Stationen.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

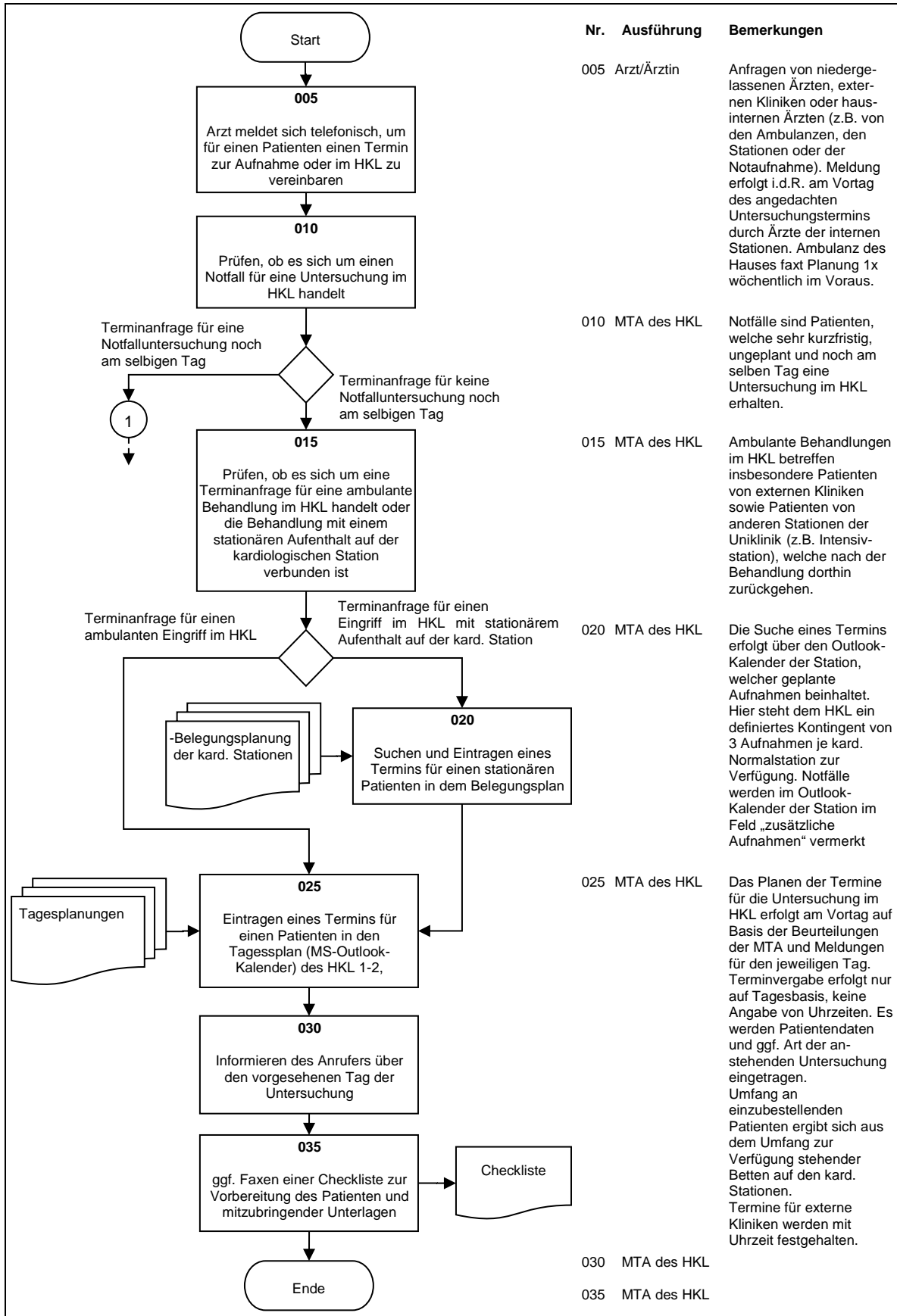


Abb. 50: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1+2/kard. Stationen durch HKL - Einrichtung 2 (Teil 1/2)

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

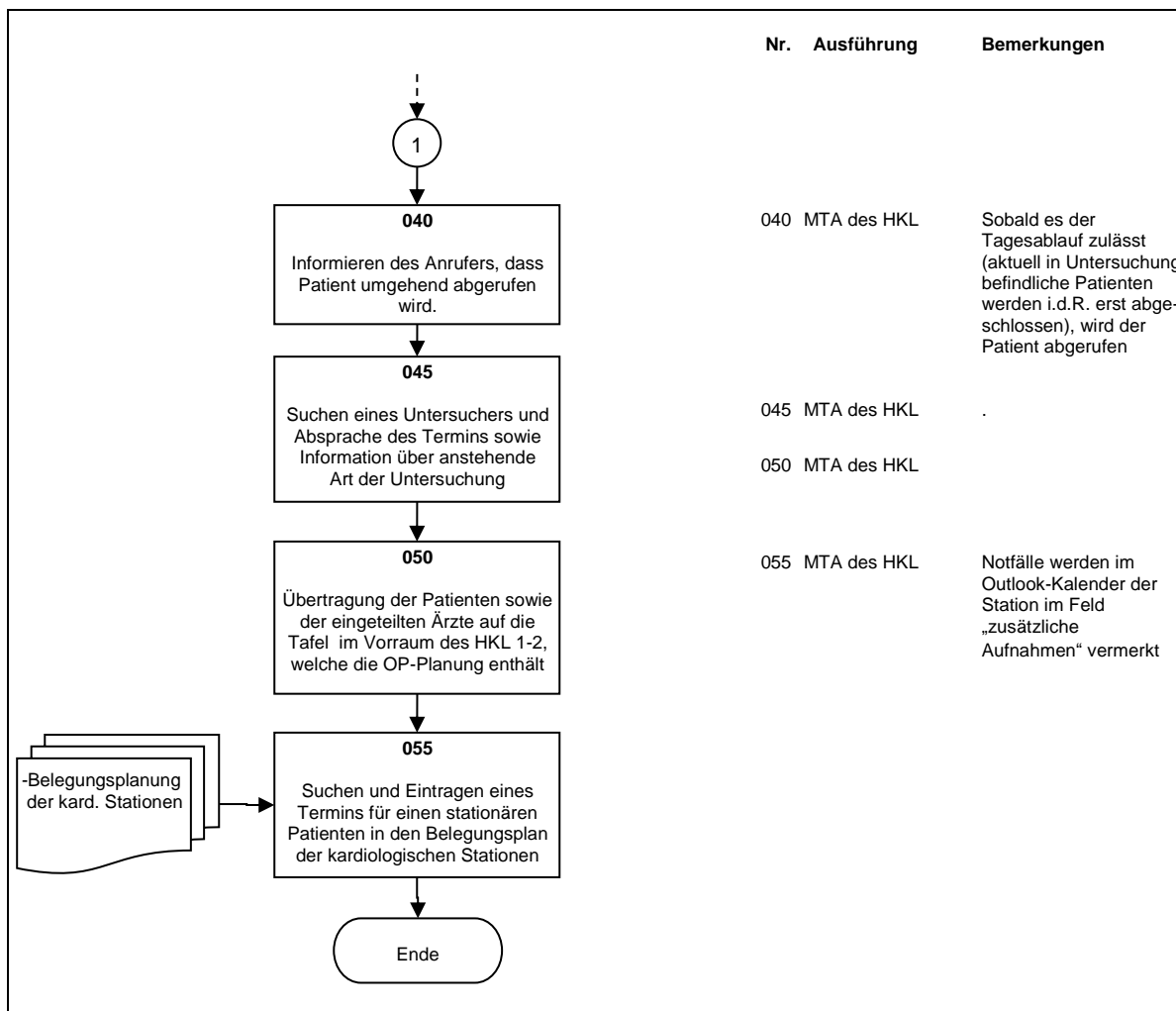


Abb. 51: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL1+2/kard. Stationen durch HKL - Einrichtung 2 (Teil 2/2)

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

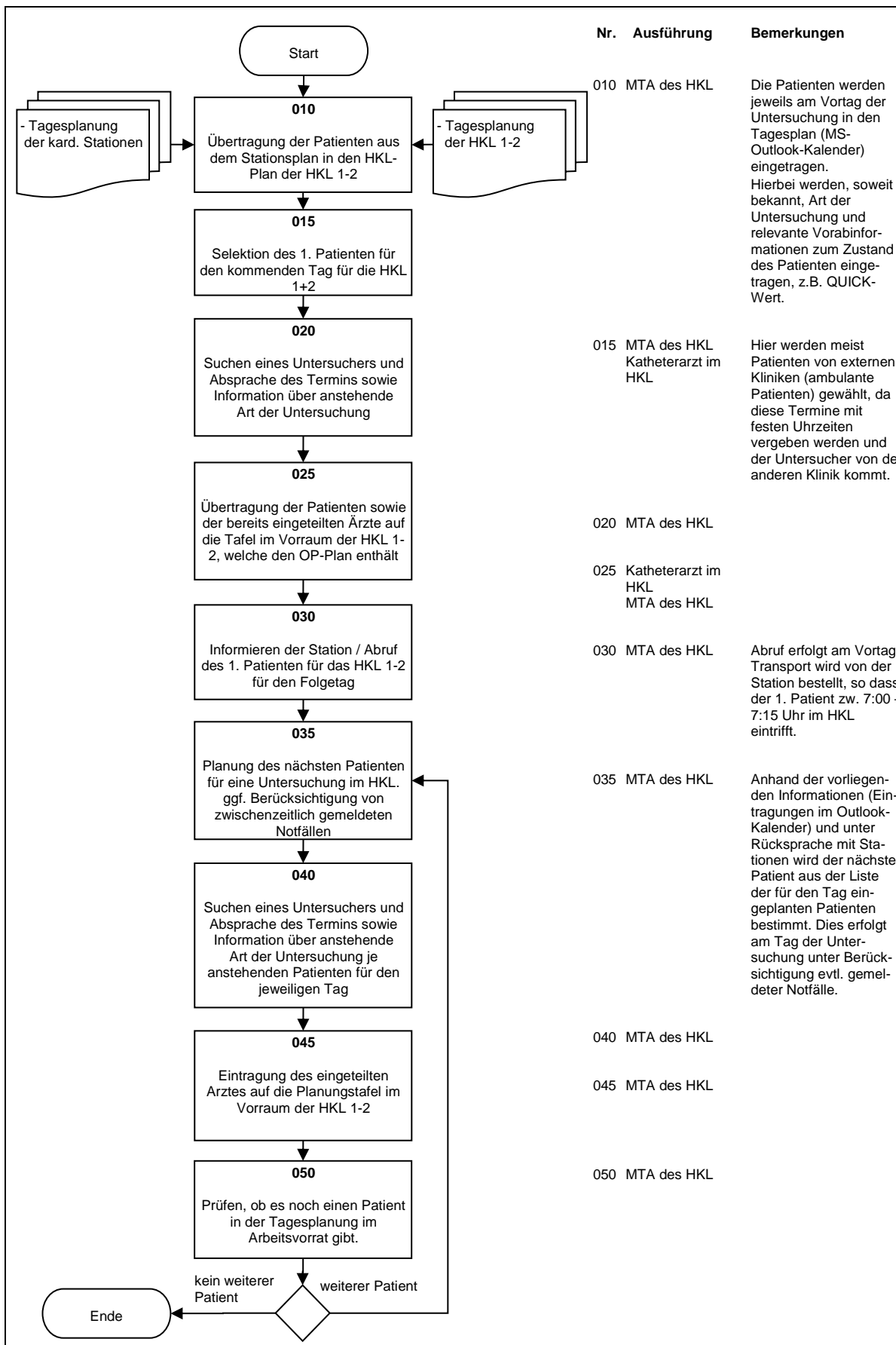


Abb. 52: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL1+2 – Einrichtung 2

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

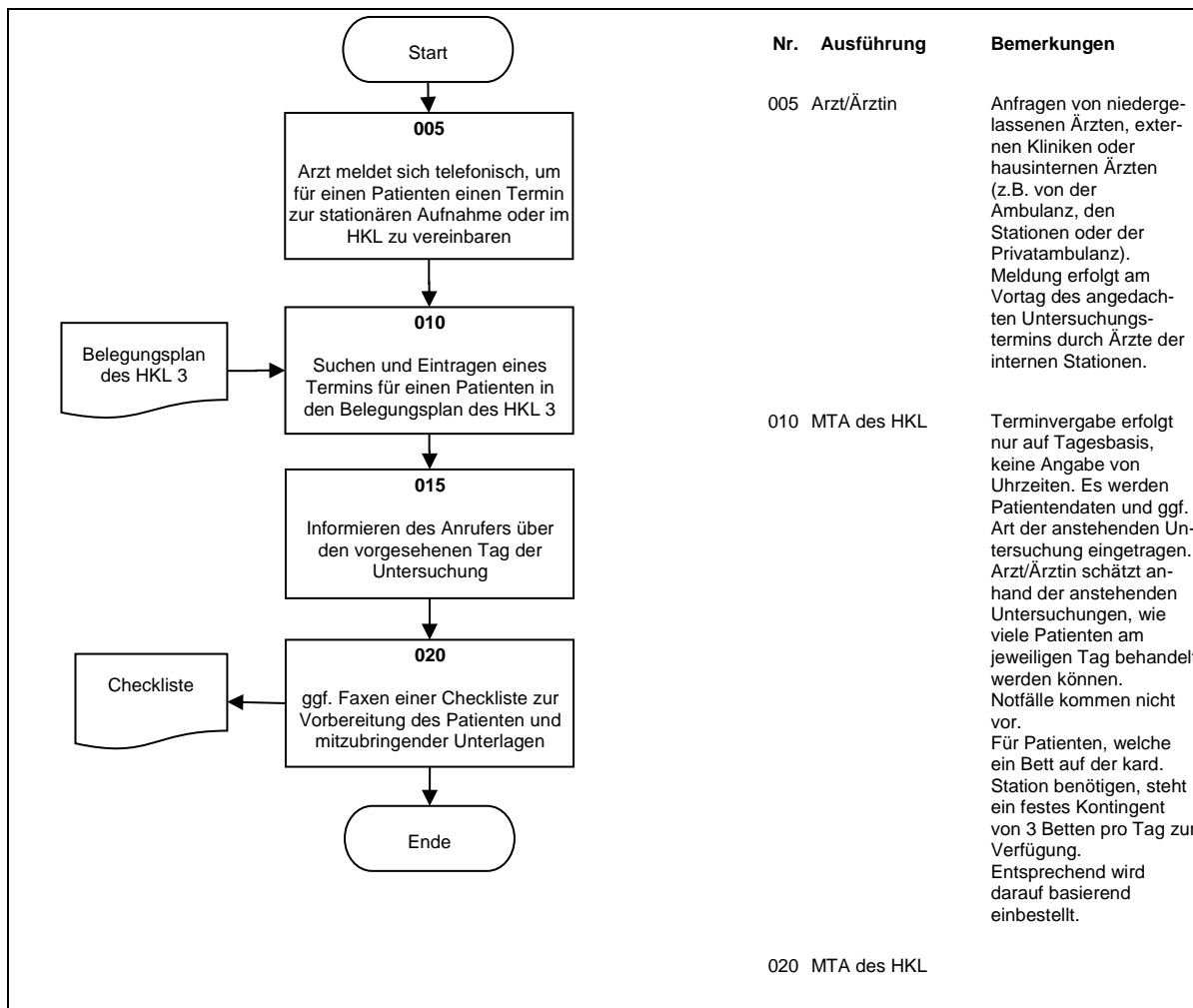


Abb. 53: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL3 – Einrichtung 2

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

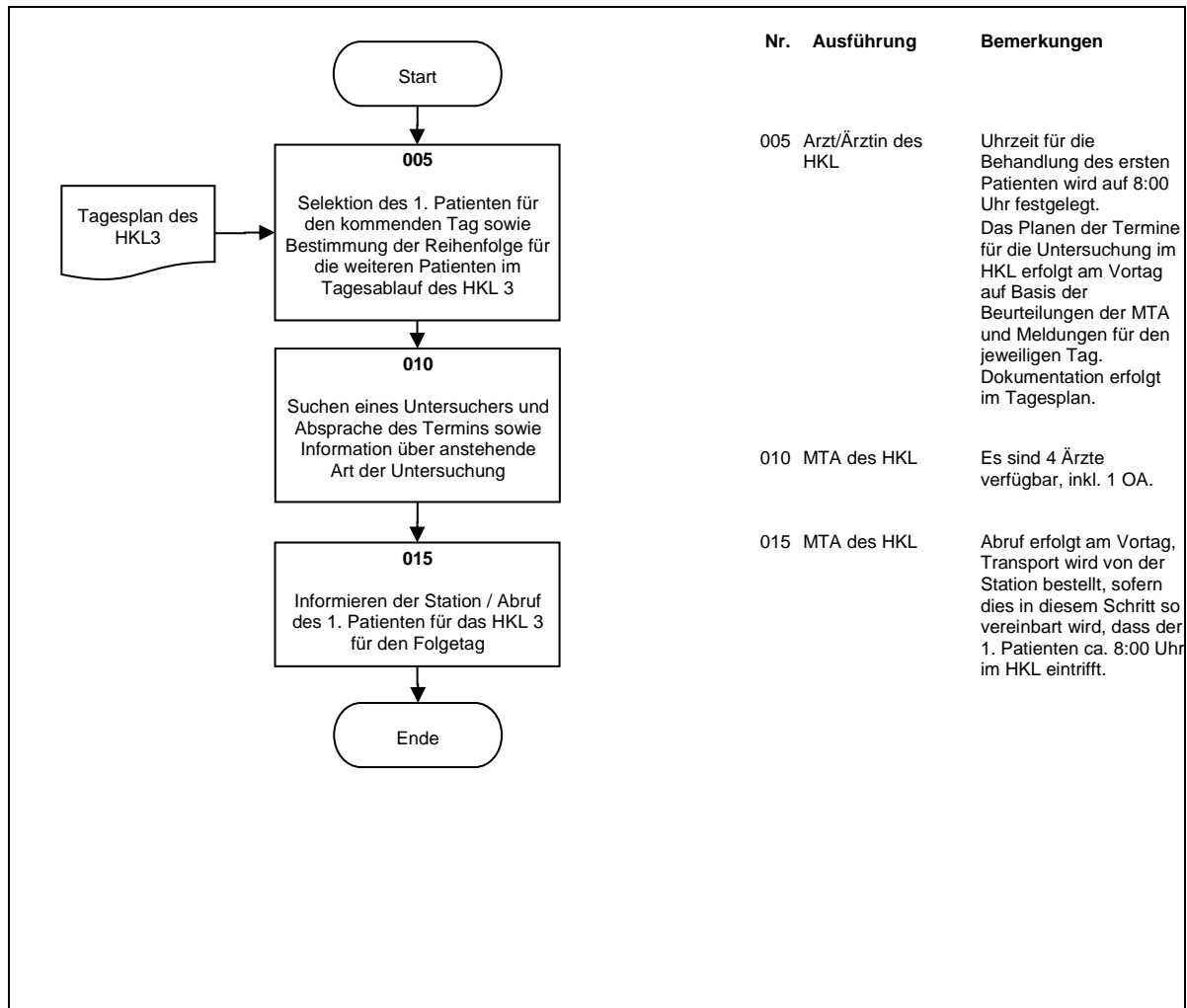


Abb. 54: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für HKL3 – Einrichtung 2

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

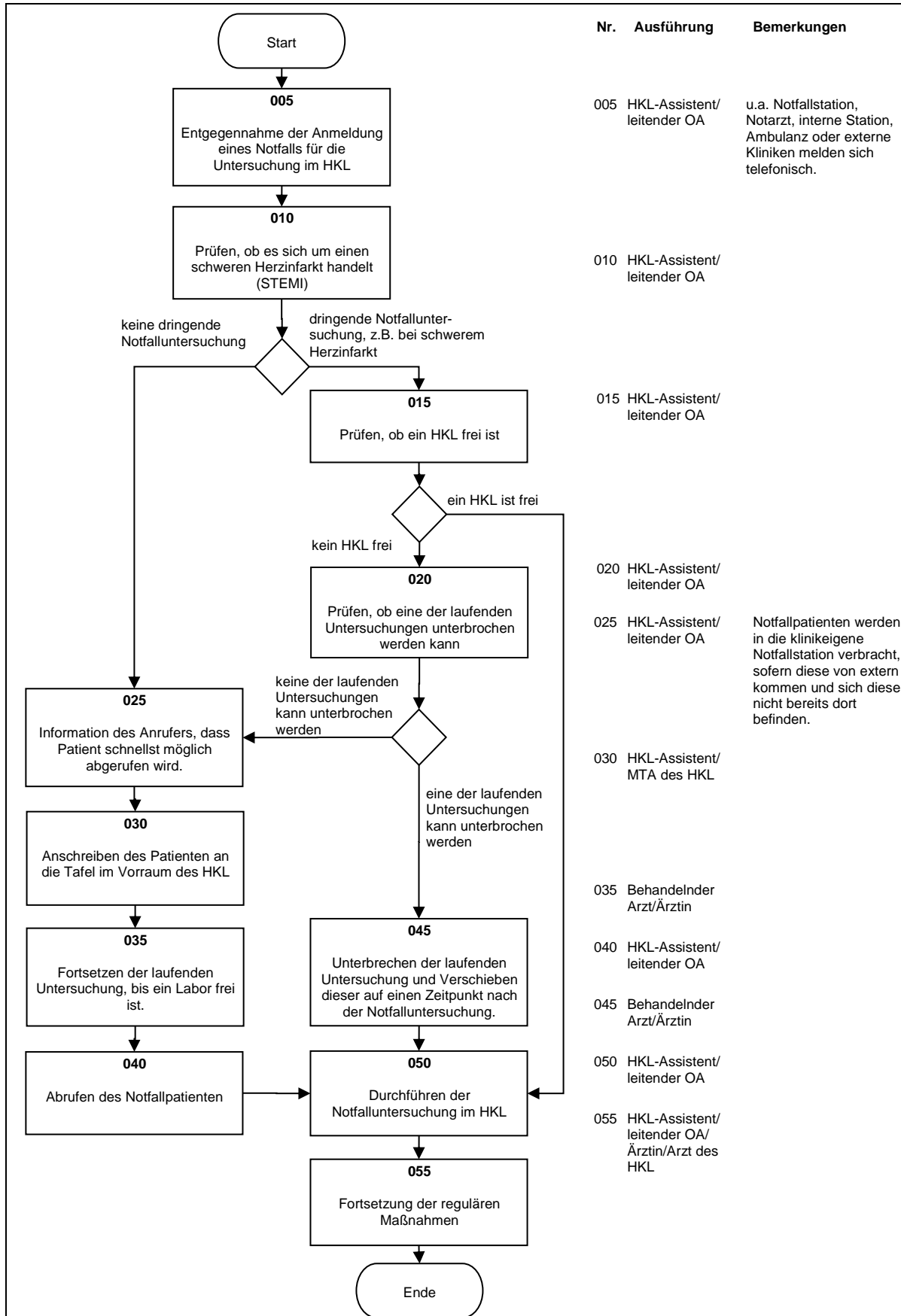


Abb. 55: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 2

6.2.3 Referenzeinrichtung 3

In Einrichtung 3 gibt es je eine zentrale Anlaufstelle für die Terminvergabe der kardiologischen Ambulanz und für die stationären Aufnahmen. Auch gibt es keine Trennung bei der Terminvergabe bezogen auf die einzelnen Herzkatheterlabore und das Speziallabor der Elektrophysiologie. Ambulante Fälle mit Rücktransport zur entsendenden Station/Klinik gibt es in Einrichtung 3 nicht.

(a) Kardiologische Ambulanz

Termine für die kardiologische Ambulanz werden in Einrichtung 3 durch das Sekretariat der kardiologischen Ambulanz vergeben. Ärzte können sich hier melden, um für einen Patienten einen Termin zu vereinbaren. Ebenso können sich Patienten zur Wiedervorstellung hier direkt melden. Die Termine werden in einen elektronischen Kalender im eingesetzten SAP IS-H*med eingetragen und sind für die Ärzte in der kardiologischen Ambulanz einsehbar. Es gibt die Vorgabe von 8-10 Terminen je Tag, welche vergeben werden können. Je Termineinheit wird ein Patient einbestellt (individual-block). Termine werden im Abstand von 30 Minuten vergeben (fixed-interval), beginnend ab 07:30 Uhr täglich. Zu den Ambulanzterminen ist jeweils ein Arzt der Ambulanz fest zugeteilt. An jedem Tag der Woche findet die allgemeine kardiologische Ambulanz statt, Einschränkungen in der Terminvergabe gibt es diesbezüglich keine. Der Prozessablauf der Einbestellung ist in Abb. 56 veranschaulicht. Auch in Einrichtung 3 werden Privatpatienten in einer speziellen Privatambulanz untersucht und behandelt. Die Einbestellung erfolgt über das Sekretariat des Chefarztes.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

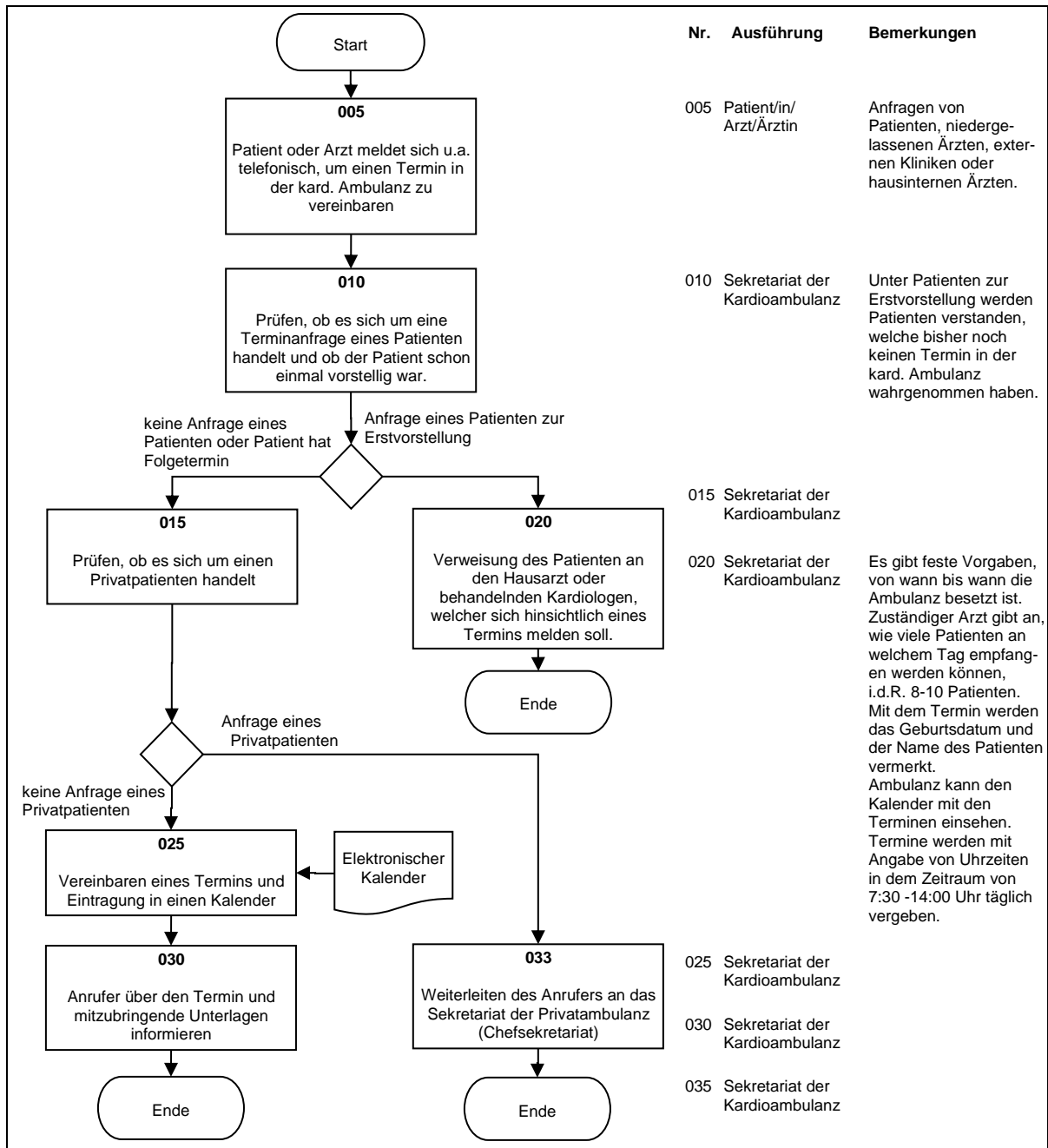


Abb. 56: Prozessablauf Patienteneinbestellung für kard. Ambulanz – Einrichtung 3

(b) Kardiologische Stationen und Herzkatheterlabor

Anmeldungen von Notfällen für eine HKL-Maßnahme werden direkt an das Herzkatheterlabor weitergeleitet. Termine zur stationären Aufnahme werden in Einrichtung 3 durch das Sekretariat des leitenden Oberarztes vergeben. Hausärzte, behandelnde Ärzte oder die Patienten mit Überweisung melden sich telefonisch. Die Vergabe von Terminen orientiert sich an den verfügbaren Bettenkapazitäten auf den kardiologischen Aufnahmestationen. Da auch in Einrichtung 3 bei der einbestellenden Stelle dahingehend keine Transparenz besteht, gilt als Richtwert eine Anzahl von 8 - 10 elektiven Neuzugängen je Aufnahmestation. Ist eine Aufnahme entsprechend dieser Vorgabe möglich, wird an dem jeweiligen Tag die avisierte Aufnahme für den Patienten im SAP IS-H*med vermerkt und ist hierüber von den Stationen einsehbar. Sofern der Anrufer die erforderliche Untersuchung näher ausführen kann, wird dies ebenfalls dokumentiert. Der Aufnahmezeitpunkt ist für alle Neuzugänge 11:00 Uhr, über die zentrale Patientenaufnahme. Der Patient erhält im Anschluss per Post den Termin bestätigt und Anweisungen sowie Hinweise zum Ablauf und über mitzubringende Unterlagen. Sofern der Anrufer bereits Unterlagen einreicht, z.B. per Fax, werden diese in der sogenannten Terminmappe abgelegt. Diese Mappe wird bei der stationären Aufnahme hinzugezogen. Der detaillierte Ablauf bei der Einbestellung wird in Abb. 57 veranschaulicht.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

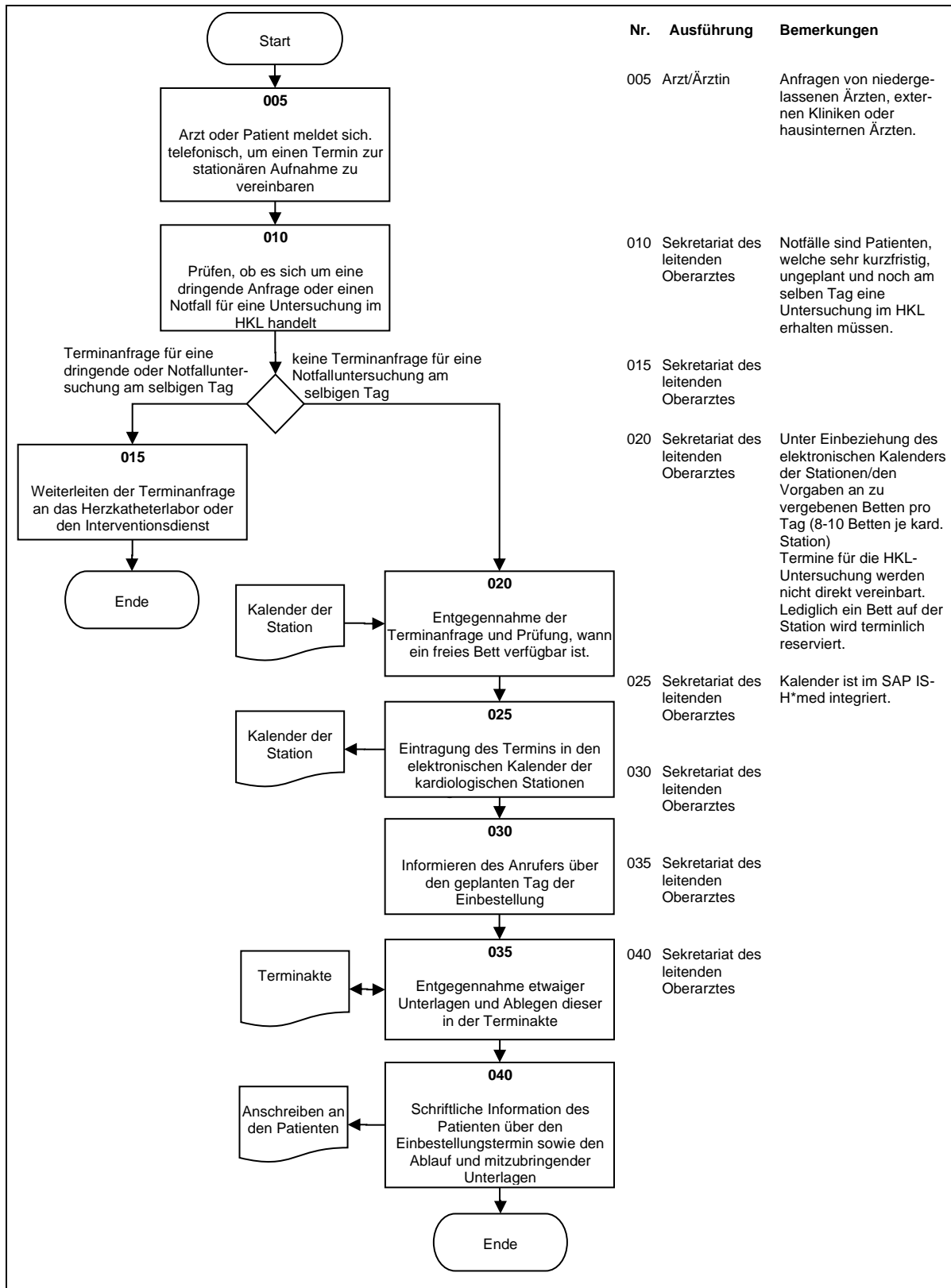


Abb. 57: Prozessablauf Patienteneinbestellung für HKL / kard. Stationen – Einrichtung 3

Sofern die Patienten auf der kard. Station aufgenommen wurden, erfolgt hier i.d.R. eine Abklärung. Hierzu werden diverse Voruntersuchungen durchlaufen. Ist eine

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Untersuchung im HKL erforderlich, werden die Patienten an das HKL gemeldet. Dies erfolgt von den kardiologischen wie auch allen anderen Stationen des Hauses bis spätestens 16:30 Uhr am Vortag des Eingriffes. Der HKL-Assistent (Arzt in Ausbildung zum Facharzt) plant die HKL-Belegung für den nächsten Tag, entsprechend der verfügbaren Ressourcen und Meldungen. Bei der Einplanung der Patienten am Vortag wird grob die erforderliche Zeitspanne für den jeweiligen Eingriff auf der Basis der Erfahrungen in der Vergangenheit abgeschätzt und entsprechend in der Planung berücksichtigt (variable-interval). Je HKL wird je Termineinheit ein Patient geplant (individual-block). Erforderliche Ressourcen in Form von Ärzten und Behandlungsräumen werden den anstehenden Eingriffen zugeteilt und im SAP IS-H*med eingetragen (OP-Planung). Der HKL-Plan ist für alle Personen im Vorraum des HKL auf einem Monitor einsehbar (siehe Abb. 58). Abschließend wird der für die erste Untersuchung eingeteilte Arzt über den Termin informiert (z.B.: über E-Mail). Der geschilderte Ablauf ist in Abb. 59 veranschaulicht. Sofern ein Notfall gemeldet wird, erfolgt die Einplanung dessen im regulären Tagesplan (siehe Abb. 60). Es werden im Voraus in der Planung keine Notfälle berücksichtigt.

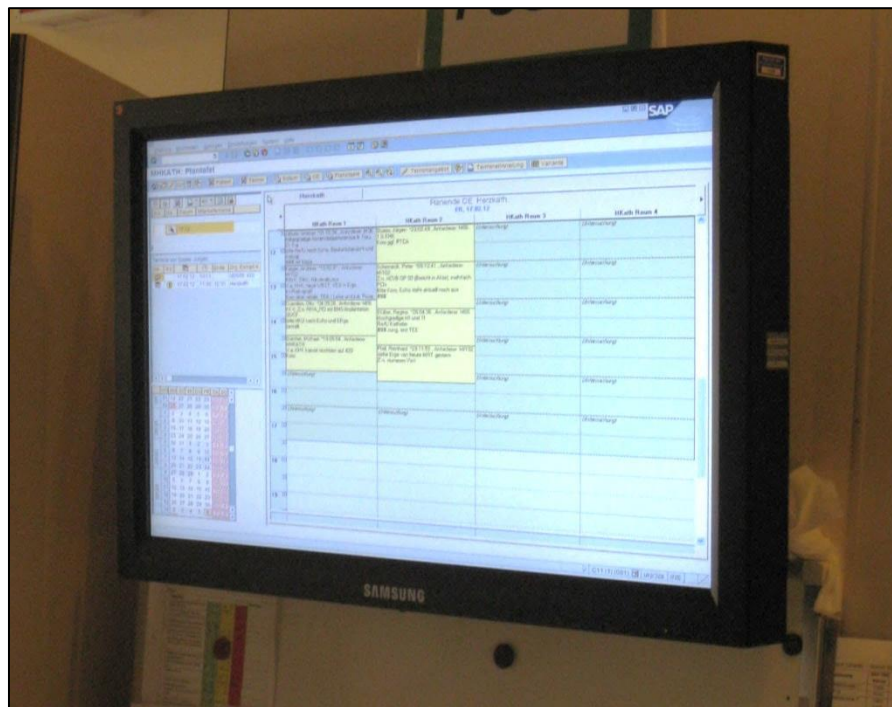


Abb. 58: Monitor im Vorraum der HKL mit der OP-Planung für den jeweiligen/kommenden Tag –
Einrichtung 3

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

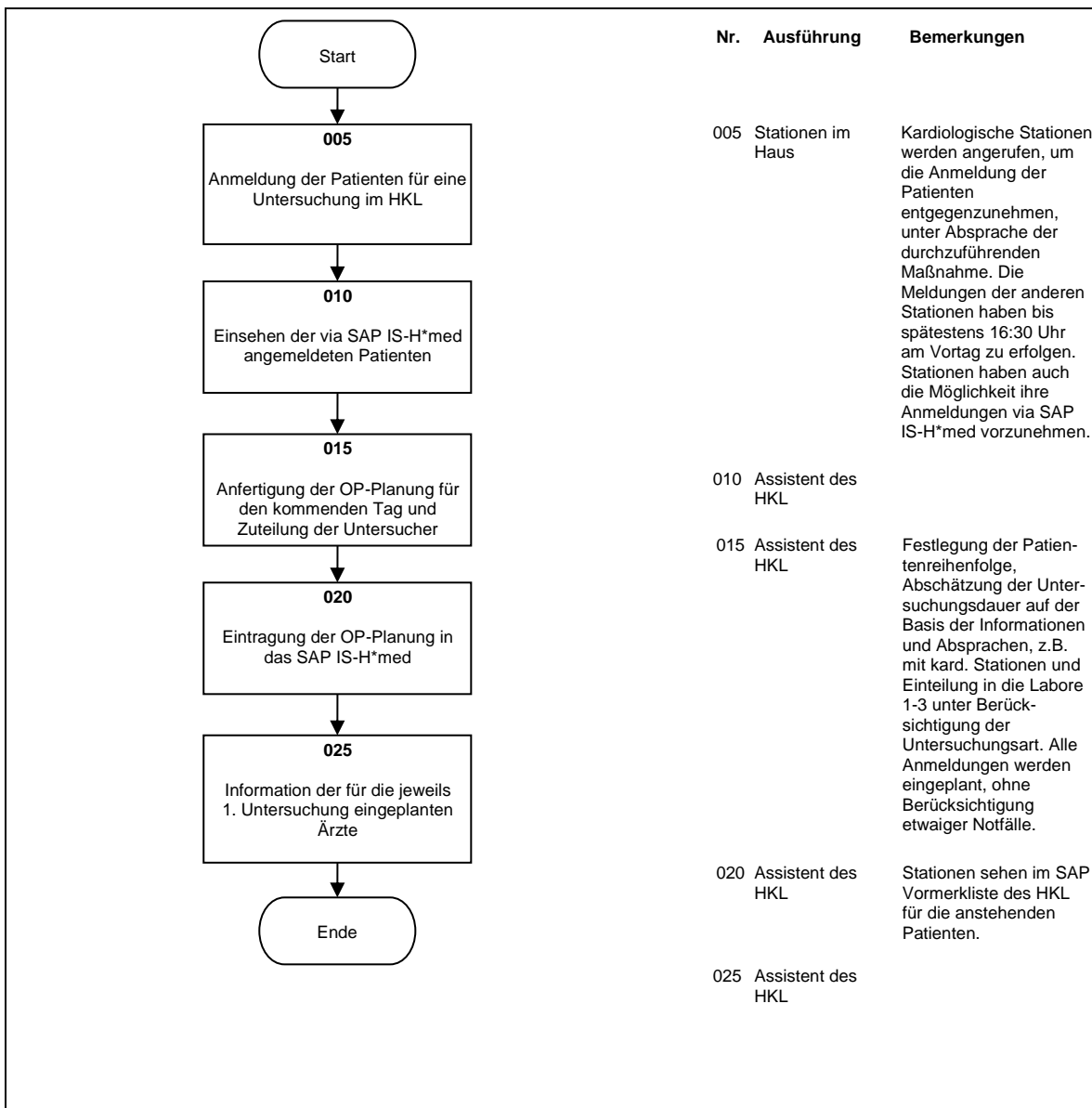


Abb. 59: Prozessablauf Planung der Patientenreihenfolge für das HKL1-3 – Einrichtung 3

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

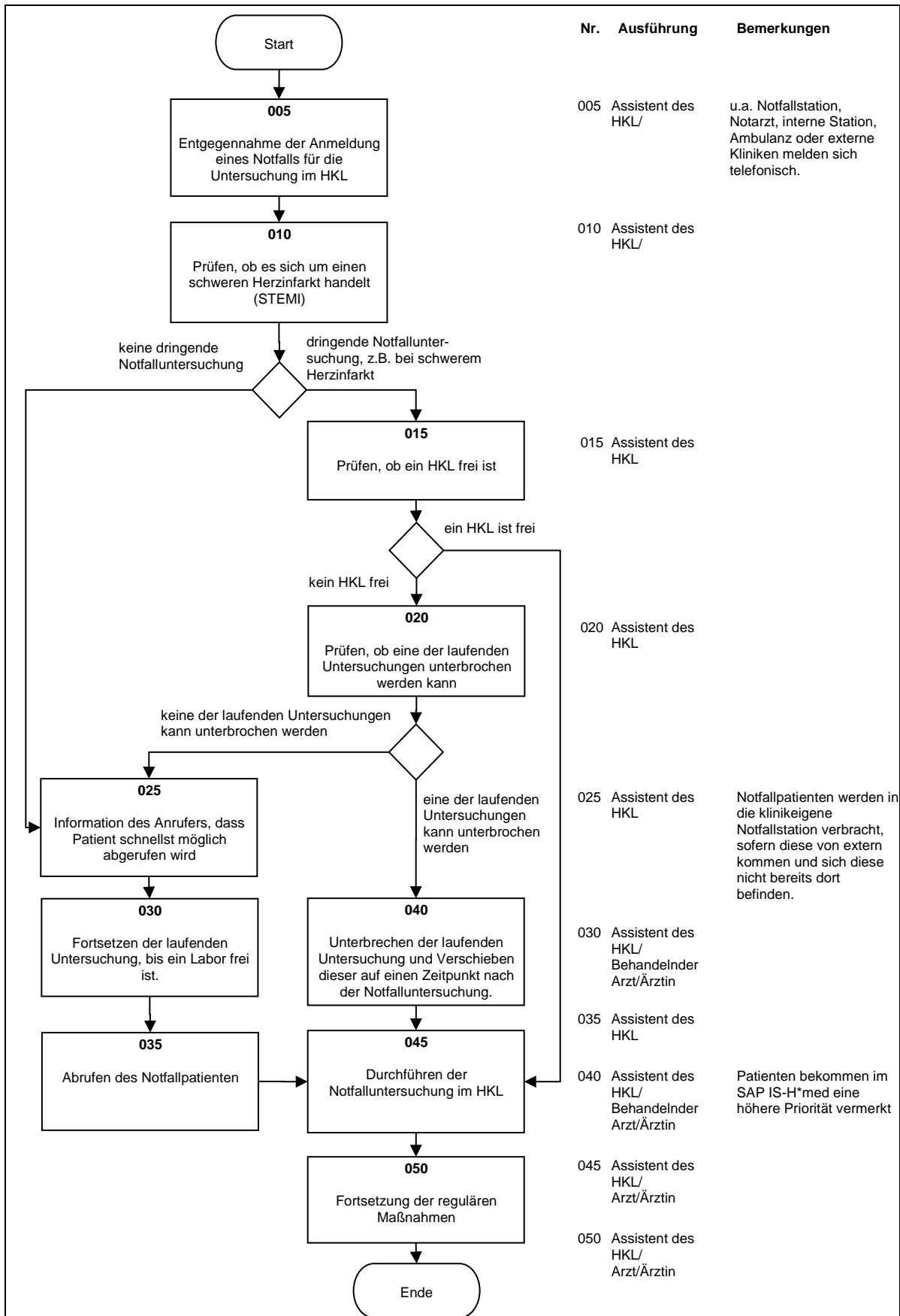


Abb. 60: Prozessablauf bei dem Auftreten von Notfällen im HKL – Einrichtung 3

6.2.4 Gegenüberstellung und Zusammenfassung der vorgefundenen Einbestellungs- und Planungsmethodik

Wie bereits an den bisherigen Ausführungen zu ersehen ist, sind die Einbestellprozesse in den drei Referenzeinrichtungen, in der Art der Einbestellung, den Ressourcen, die mit der Einbestellung befasst sind, und dem Umfang der Termin- und Reihenfolgeplanung, unterschiedlich, auch wenn durchaus Parallelen zu sehen sind. Die nachfolgende Gegenüberstellung bezieht sich auf die in diesem Kapitel bisher aufgeführten Schilderungen und Prozessbeschreibungen hinsichtlich der Patienteneinbestellung und Reihenfolgeplanung sowie der Prozessbeschreibungen im Anhang A9-A32 (siehe Tab. 14, Tab. 15).

Beschreibung des Vergleichskriteriums	Einrichtung 1	Einrichtung 2	Einrichtung 3
Wer ist regulär mit der Vergabe von Terminen für das HKL betraut?	OA des HKL / Pflegeleitung des HKL	eingeteilte Pflegekräfte / MTA des HKL	HKL-Assistent (Arzt)
Wer ist regulär mit der Vergabe von Terminen für die stationäre, elektive Aufnahme auf den kard. Stationen betraut (keine internen Verlegungen)?	Sekretariat des leitenden OA/ OA des HKL/ Pflegeleitung des HKL	eingeteilte Pflegekräfte / MTA des HKL Sekretariat der kard. Ambulanz	Sekretariat des leitenden OA
Gibt es eine zentrale Anlaufstelle für Terminanfragen an das HKL?	Nein, Sekretariat des leitenden OA und HKL	Nein, HKL 1+2 / HKL 3 jeweils für sich und das Sekretariat der kard. Ambulanz	Ja, Sekretariat des leitenden OA
Werden stationäre Aufnahmen mit Bezug auf vorhandene Ressourcenkapazitäten auf den kard. Stationen/im HKL geplant?	Indirekt, feste Vorgabe von den Stationen, wie viele freie Betten verfügbar sind (Erfahrungswert).	Indirekt, feste Vorgabe von den Stationen, wie viele freie Betten verfügbar sind (Erfahrungswert)	indirekt, feste Vorgabe von den Stationen, wie viele freie Betten verfügbar sind (Erfahrungswert)
Wird ein zentrales EDV-System eingesetzt zur Verwaltung der Termine hinsichtlich der stationären Aufnahmen und Termine im HKL?	Nein, Termine werden im SAP IS-H*med hinterlegt, zudem gibt es diverse MS- Outlook-Kalender und Handzettel zur Verwaltung der Termine.	Nein, es werden diverse MS-Outlook- Kalender zur Dokumentation und Verwaltung der Termine eingesetzt.	Ja, Termine werden in einem elektronischen Kalender im SAP IS-H*med verwaltet und dokumentiert.
Werden HKL-Untersuchungen am Tag der Einbestellung geplant?	Ja, für kurzstationäre Patienten	nein	nein
Werden Termine für Voruntersuchungen bei angedachten HKL-Patienten in den Fach-/Funktionsbereichen bei der Aufnahme eingeplant?	Nein, Terminanfragen betreffend erforderlicher Untersuchungen und Maßnahmen erfolgen erst bei Aufnahme der Patienten. Ambulante Patienten werden ohne Termin in die Fach- /Funktionsbereiche zur gesendet.	Nein, Terminanfragen betreffend erforderlicher Untersuchungen und Maßnahmen erfolgen erst bei Aufnahme der Patienten. Ambulante Patienten werden ohne Termin in die Fach- /Funktionsbereiche gesendet.	Nein, Terminanfragen betreffend erforderlicher Untersuchungen und Maßnahmen erfolgen erst bei Aufnahme der Patienten. Ambulante Patienten werden ohne Termin in die Fach-/Funktionsbereiche gesendet
Werden Termine für Nachuntersuchungen bei HKL-Patienten in den Fach-/Funktionsbereichen eingeplant?	nein	Nein, nur nachgelagerte Ambulanztermine werden bei der Entlassung abgeklärt.	Nein, nur nachgelagerte Ambulanztermine werden bei der Entlassung abgeklärt.
Wird eine zeitliche Planung der Patientenreihenfolge für das HKL vorgenommen?	Ja, die Reihenfolge der Patienten wird mittels Schätzwerten der Behandlungsdauer geplant	Teilweise, lediglich erster Patient wird vorselektiert. Zeitliche Planung lediglich für Patienten von externer Klinik (ambulant)	Ja, die Reihenfolge der Patienten wird mittels Schätzwerten der Behandlungsdauer geplant.
Wann erfolgt die Reihenfolgeplanung für die Behandlung der Patienten im HKL?	am Vortag	keine Reihenfolgeplanung / Reihenfolge ergibt sich am Tag der Untersuchung, lediglich 1. Patient wird am Vortag festgelegt	am Vortag
Werden den Patienten Termine mit Uhrzeit für die Behandlung im HKL mitgeteilt?	Nein, nur geplanter Tag der Behandlung und Tendenz (vormittags, mittags, nachmittags)	1. Patient bekommt eine feste Uhrzeit, ansonsten nur geplanter Tag der Behandlung (Ausnahmen stellen ambulante Behandlungen dar, welche feste Termine erhalten häufig 8:00 Uhr)	Nein, nur geplanter Tag der Behandlung und Tendenz (vormittags, mittags, nachmittags)

Tab. 14: Gegenüberstellung Einbestellpraxis in den Referenzeinrichtungen (Teil 1/2)

Beschreibung des Vergleichskriteriums	Einrichtung 1	Einrichtung 2	Einrichtung 3
Erfolgt die Planung der HKL-Termine EDV gestützt?	nein	nein	Ja, SAP IS-H*med.
Wird bei der Planung für einen Termin im HKL die Verfügbarkeit der Ärzte einbezogen?	Ja, Ärzte melden Verfügbarkeit an das Sekretariat des leitenden OA, zudem ist 1 OA fest dem HKL zugeteilt.	Nein, Pool an Untersuchern + 3 OA sind dem HKL zugeteilt (auf Abruf verfügbar).	Ja, Ärzte melden sich lediglich beim HKL-Assistenten ab. Zudem ist 1 OA fest dem HKL zugeteilt.
Wird bei der Planung im HKL die Dauer der anstehenden Behandlung berücksichtigt?	Ja, Dauer wird basierend auf Erfahrungswerten abgeschätzt.	Nein, keine derartige Planung.	Ja, Dauer wird basierend auf Erfahrungswerten abgeschätzt.
Werden Notfälle in der Tagesplanung des HKLs berücksichtigt?	nein	nein	nein
Gibt es eine ad-hoc Planung / Neuplanung am Tag der Einbestellung, bei Änderungen im Behandlungsablauf im HKL, z.B. durch Notfälle?	Nein, geplante Patienten werden nach hinten verschoben, teilweise auch abgesagt.	Nein, eine Planung ist nicht vorhanden die Suche nach dem nächsten zu behandelnden Patienten erfolgt i.d.R. ad-hoc.	Nein, geplante Patienten werden nach hinten verschoben, teilweise auch abgesagt.
Werden Patienten über Terminverschiebungen informiert?	Nein, werden am Abend informiert, dass Untersuchung am nächsten Tag stattfindet.	Nein, werden am Abend informiert, dass Untersuchung am nächsten Tag stattfindet	Sobald klar ist, dass sich der Termin auf den nächsten Tag verschiebt, sonst keine Info über Verschiebungen am laufenden Tag.
Erfolgt auf den Stationen eine Planung der Zu- und Abgänge von Patienten?	Ja, geplanten Zugängen werden geplante Abgänge gegenübergestellt. Abgänge werden zur Erreichung teilweise darauf hin „getrimmt“.	Teilweise, Vorgaben an Zugängen je Tag, Abgänge werden zur Erreichung darauf hin „getrimmt“.	Teilweise, Vorgaben an Zugängen je Tag, Abgänge werden zur Erreichung darauf hin „getrimmt“.
Wird der Zufluss von Patienten aus der Notfallstation in der Planung von Zugängen/Abgängen auf den Stationen berücksichtigt?	nein	nein	nein
Werden Voruntersuchungen bei HKL-Patienten im Vorfeld, z.B. in der kardiologischen Ambulanz, vorgenommen?	Ja, bei kurzstationären Patienten	nein	nein

Tab. 15: Gegenüberstellung Einbestellpraxis in den Referenzeinrichtungen (Teil 2/2)

Zusammenfassend lässt sich die klinische Praxis bei der Einbestellung und Planung von Patienten wie folgt charakterisieren:

- Die Einbestellung der Patienten erfolgt in den betrachteten Referenzeinrichtungen maßgeblich von Hand. Eine Unterstützung elektronischer Systeme findet nur in Form der Termindokumentation und der Informationsübertragung, z.B. an die Stationen und die behandelnden Ärzte, statt.
- Es erfolgt keine Planung zum Umfang der einzubestellenden Patienten. Es wird flächendeckend mit nicht validierten Vorgabewerten gearbeitet. Diese werden von den behandelnden Ärzten (in der Ambulanz) oder von den leitenden Ärzten (zu der Anzahl stationärer Aufnahmen) vorgegeben.
- Die Terminvergabe für die stationären Aufnahmen beinhaltet den Tag des Zugangs. Eine konkrete Uhrzeit (Zeitspanne) wird nur in Einrichtung 3 festgelegt, wobei diese für alle Patienten gleich ist. Es gibt keine Einbestellungsfolge, um den Zustrom zeitlich zu verteilen. Nachgelagerte Kapazitäten werden in der Einbestellung nur eingeschränkt berücksichtigt⁵⁸.
- Bisherige Einbestellungs- und Planungsverfahren weisen Medienbrüche auf. So finden sich diverse Kalender und Listen, welche zur Terminvergabe und -dokumentation geführt werden. Dies birgt die Gefahr von Fehlern in der Übertragung der Informationen und Informationsrückständen.
- Bei der Terminplanung in den Funktionsbereichen werden nur teilweise der zu erwartende Behandlungsablauf, die Behandlungsdauer oder verfügbarere Ressourcen berücksichtigt. Die der Planung zugrunde gelegten Behandlungsdauern basieren auf nicht validierten Schätzungen. Die Qualität der Planung ist damit wesentlich von der Erfahrung der planenden Ressource abhängig.
- Voruntersuchungen für eine HKL-Maßnahme werden nur in Einrichtung 1 im Vorfeld der stationären Aufnahme durchgeführt.
- Termine für erforderliche Voruntersuchungen der stationären Patienten werden erst angefragt, wenn diese bereits stationär aufgenommen wurden.
- In der kard. Ambulanz werden nur Aufnahmetermine vergeben. Nachgelagerte Ressourcenerfordernisse werden nicht berücksichtigt. Termine für im Zuge des

⁵⁸ Teils erfolgt die Planung ausgehend von dem HKL für stationäre Aufnahmen (Einrichtung 2). Damit sind die Bettenkapazitäten als nachgelagerte Ressource berücksichtigt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

ambulanten Aufenthaltes erforderliche Maßnahmen werden nicht angefragt. Die Patienten treffen ohne Termin, ungeplant auf die Funktionsbereiche.

- Ein Priorisieren betreffend ambulanter oder stationärer Patienten (keine Notfälle) wird in keiner Einrichtung praktiziert. Lediglich Patienten ohne Termin, die aufgrund des weiteren Ablaufes (z.B. HKL-Maßnahme) vorzuziehen sind, werden als dringend eingestuft.
- Patienten werden über den Ablauf und die Termine nicht ausreichend informiert und werden mit teils hohen Wartezeiten konfrontiert (z.B. im HKL).
- Es erfolgt im HKL überwiegend (bis auf Einrichtung 3) keine Planung mit festen Uhrzeiten. Wenn, dann nur für den ersten Patienten oder bei ambulanten Patienten von externen Kliniken. Einrichtung 1 arbeitet mit Pseudo-Uhrzeiten zur groben Orientierung.
- In allen betrachteten Einrichtungen ist man sich durchaus bewusst, dass im Schnitt während der Dienstzeit im HKL 1-2 Notfälle am Tag anfallen. Sofern im HKL eine Planung des Tagesablaufes im Voraus erfolgt (Einrichtung 1 und 3) erfolgt jedoch keine Berücksichtigung der möglichen Notfälle bei der Aufstellung des Tagesplans. Daher führen Notfälle beim Auftreten nahezu immer zu Verschiebungen der geplanten Patienten.
- Betten werden auf den Stationen durch die Notfallstation unkoordiniert abgegriffen. Die Notfallstation hat die Maßgabe, die eigenen Betten binnen einer zeitlichen Frist, z.B. 6 Stunden in Einrichtung 2, freizubekommen. Dies bedeutet, dass die Patienten stationär aufgenommen werden müssen, wenn deren Zustand eine Entlassung nicht ermöglicht. Somit ergibt sich eine kontinuierliche Einwirkung auf die Bettenressourcen, u.a. auf den kardiologischen Stationen. Diese Einwirkung wird bisher in keiner Planung berücksichtigt. Auch gibt es in den betrachteten Einrichtungen keine zentrale Stelle zur Steuerung und Verwaltung der Bettenkapazitäten für die Aufnahmestationen.

Eine abteilungsübergreifende Termin- und Reihenfolgeplanung in Bezug auf die einzubestellenden oder einzuplanenden Patienten gibt es in den betrachteten Referenzeinrichtungen nicht. Bei den Aufnahmetermeninen handelt es sich nur um Aufnahmezeitpunkte. Nachgelagerte Ressourcenerfordernisse werden in der Planung i.d.R. nicht berücksichtigt. Der Tagesablauf der Kliniken ist zudem geprägt von Unsicherheiten, welche eine verlässliche Planung erheblich erschweren.

6.3 Weitere Prozessdokumentation, Datenerhebung und -validierung

In diesem Abschnitt wird die Prozessaufnahme fortgesetzt und entlang der Prozesse die Umsetzung der Datenerhebung sowie die Validierung und Aufbereitung der erhobenen Daten in den Referenzeinrichtungen beschrieben (siehe Unterabschnitt 4.8.3 zu den Grundlagen). Sofern die Beschreibungen nicht auf alle drei Referenzeinrichtungen in gleicher Weise zutreffen, wird dies im Text ausgeführt.

Im Ergebnis dieses Abschnittes steht eine valide Datenbasis. Diese wird zwei geteilt, wovon je ein Teil im Weiteren zum Modellaufbau und ein Teil zur späteren Modellvalidierung genutzt wird (siehe Unterabschnitt 4.8.3).

6.3.1 Datenquellen und Vorgehen bei der Erhebung

Grundsätzlich bezieht sich die Erhebung auf folgende Datenquellen, welche sich in der Art der Erhebung unterscheiden und im Weiteren kurz umrissen werden:

- Aufnahme von Strukturen und Ressourcen,
- Datenextraktion aus dem zentralen EDV-System (SAP IS-H*med),
- Datenextraktion aus lokalen EDV-Systemen,
- lokale Datensammlungen,
- Arztbriefe und Patientenakten sowie
- empirische Datenerhebungen.

(a) Aufnahme von Strukturen und Ressourcen vor Ort

Zunächst wurden in den einzelnen Bereichen und Stationen (gemäß der Modellabgrenzung) die Strukturen (örtliche Gegebenheiten), der Umfang an Ressourcen (technische, personelle, räumliche) sowie deren Verfügbarkeiten (Öffnungszeiten, Dienstzeiten, Pausenzeiten etc.) erfasst. Dies geschah beispielsweise durch Abzählen der Anzahl an Patientenbetten. Der zahlenmäßige Umfang an Pflegekräften und Ärzten wurde anhand der Dienstpläne ermittelt und stichprobenweise vor Ort zu den einzelnen Diensten im Rahmen der Validierung nachgezählt. Als Basis der Erhebung wurden die Dienstpläne gewählt, da für das Modell die effektiv vorhandene Ressourcenbasis erforderlich ist. Eine Erhebung auf der Basis der insgesamt verfügbaren Personen, inkl. z.B. derer in Mutterschaftsurlaub oder jene die gerade keinen Dienst haben, erschien nicht sinnvoll. Krankenstände und Fehlzeiten wurden hierbei nicht erhoben. Es wird von einer regulär besetzten Schicht ausgegangen. Somit steht am Ende der Erhebung eine Übersicht der regulären Ressourcenverfügbarkeit zu den jeweiligen Schichten, differenziert nach den Berufsgruppen.

(b) Datenextraktion aus dem zentralen EDV-System (SAP IS-H*med)

Die wesentlichste Datenquelle stellt das SAP IS-H*med dar. Mit Hilfe dessen können die Patientenbewegungen über den gesamten klinischen Aufenthalt hinweg nachvollzogen werden (Aufnahme bis Entlassung). Zur Selektion wurden alle Patienten gewählt, mit deren gesamten Verlauf, welche mit einem der betrachteten Stationen oder Bereiche (gemäß der Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes) im Laufe des Aufenthaltes Kontakt hatten. Zur Identifizierung der Patienten und unter Berücksichtigung des Datenschutzes wurden nur die Fallnummern in der Auswertung geführt (siehe Anhang A33 zur Struktur der Bewegungsdaten). Um die Stichprobe ausreichend groß zu gestalten und etwaige Schwankungen, z.B. innerhalb einzelner Wochen oder einzelner Monate, auszugleichen, wurden Daten über zwei volle Jahre hinweg, inklusive der Wochenenden und Feiertage, aus dem SAP IS-H*med extrahiert. Die gewonnenen Bewegungsdaten geben u.a. Auskunft über zeitliche Verläufe, über Art und Umfang durchgeführter Maßnahmen sowie über Aufenthalts- und Liegedauern. Zur Speicherung, Validierung und späteren Auswertung der extrahierten Daten wird eine MySQL-Datenbank eingesetzt.

(c) Datenextraktion aus lokalen EDV-Systemen

Speziell in den Funktionsbereichen wurden in den betrachteten Einrichtungen dezentrale EDV-Systeme, u.a. zum Zwecke der Dokumentation oder Altsysteme, geführt. Diese beinhalteten zum Teil Daten, welche über die Dokumentation im SAP IS-H*med hinausgehen (z.B. HKL-Messplatz). Entsprechend wurden die Daten aus diesen Systemen extrahiert und über die Referenz der Fallnummer (in Ergänzung der SAP-Daten) der MySQL-Datenbank zugeführt.

(d) Lokale Datensammlungen

Teilweise wurden auch handschriftliche (redundante) Dokumentationen (z.B. HKL-/Stations-/Notaufnahmebücher) oder Statistiken geführt. Auch diese Datenbestände wurden hinzugezogen und sofern sie sich als dienlich erwiesen, z.B. im Zuge der Datenvalidierung, eingesetzt.

(e) Arztbriefe und Patientenakten

Speziell zur Validierung der SAP Daten, wurden die Patientenakten und die Arztbriefe herangezogen. Arztbriefe werden von den Stationsärzten am Ende des stationären Aufenthaltes ausgestellt. Der Arztbrief von den Stationen beinhaltet u.a.:

- Name des Patienten,
- Geburtstag,
- Aufnahmedatum,
- Entlassungsdatum,
- Diagnosen und Auszüge aus den Befundungen,
- Durchlaufene Untersuchungen,

- Therapieempfehlungen bei Entlassung.

Die Patientenakte beinhaltet u.a. Befunde und kann damit Auskunft darüber geben ob und wann eine spezifische Maßnahme durchgeführt wurde. Dabei spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob die Patientenakte elektronisch oder in Papierform geführt wird.

(f) Empirische Datenerhebungen

In allen Bereichen die direkter Betrachtungsgegenstand sind erfolgten für die einzelnen Prozessschritte, wie auch für komplette Patientenaufenthalte/ -verläufe, empirische Erhebungen. Dieser Teil der Datenerhebungen war mit viel Aufwand verbunden und dient zum einen der Erhebung von in den bisherigen Datenbeständen nicht geführten Daten, wie z.B. die Dauer einer Blutentnahme, zur Art einer durchgeführten elektrokardiografischen Untersuchung oder der Durchlaufzeit eines Ambulanz-patienten. Darüber hinaus sollen diese Erhebungen dazu dienen, die aus dem EDV-System extrahierten Daten zu validieren. Die Dauer der manuellen Erhebungen wurde, auch bedingt durch die erforderliche Mitwirkung des klinischen Personals vor Ort, auf ca. 6-9 Wochen beschränkt. Die hierbei verwendeten Erhebungsbögen sind im Anhang A34 - A42 aufgeführt. Involvierte Mitarbeiter wurden im Vorfeld der Erhebungen über die Bedeutung und Hintergründe der einzelnen Felder in den Erhebungsbögen informiert. Zudem wurde speziell in der Anlaufzeit bei der Erhebung persönlich unterstützt, um auf etwaige Fragen oder Probleme schnell reagieren zu können und zugleich die Wichtigkeit der Maßnahme zu unterstreichen.

(g) Datenplausibilität und -validierung

Die Gesamtheit der erhobenen Daten wurden gegeneinander abgeglichen. Dies erfolgte auf der Basis von aufgestellten Kennzahlen, wie z.B. Anzahlen von Patienten, Wartezeiten oder Durchlaufzeiten. Anzumerken sei noch, dass die betrachteten Prozessschritte und damit einhergehend auch die Kennzahlen einer statistischen Streuung unterliegen. Daher werden Kennzahlen, z.B. zur Dauer und zu Durchlaufzeiten, mit Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Medianwert (0,5-Quantil) ermittelt.

Ohne valide Daten können keine validen Aussagen getätigt werden. Zur Plausibilisierung und Validierung der gesammelten und erhobenen Daten wurden u.a. nachfolgende Maßnahmen durchgeführt:

Datenplausibilität:

- Überprüfung, ob die dokumentierten Daten tatsächlich die Prozessabschnitte betreffen, deren Durchlaufzeiten oder Patientengruppen erhoben werden sollten.
- Überprüfung der Daten mit den Mitarbeitern, um der Frage nachzugehen, ob die dokumentierten Werte grundsätzlich in deren Ausprägung so möglich sind. Im Speziellen, Prüfung von extremen Werten (extrem groß, extrem klein).
- Prüfung der Daten auf Inkonsistenzen und doppelten Einträgen.

Datenvalidierung:

- Überprüfung von Art und Zeitpunkt der Dokumentation der Daten (mit den Mitarbeitern und mittels Beobachtungen im Realsystem), mit der Fragestellung, ob die Datenerhebung mit den Abläufen korreliert oder evtl. losgelöst davon erfolgte.
- Probemessungen im Realsystem zum Abgleich der dokumentierten Daten.
- Überprüfung, ob eine nachträgliche Veränderbarkeit der Daten erfolgen kann und wenn ja, ob dies erfolgt ist und in welcher Weise.
- Direkter Abgleich redundanter Datenquellen gegeneinander (z.B. Verlaufsbücher mit SAP-Daten).

An ausgewählten Beispielen werden im Folgenden die in den betrachteten Bereichen und Stationen durchgeführten Maßnahmen zur Erhebung der Daten und speziell zur Validierung geschildert. Es sei betont, dass diese Beispiele nur einen Auszug in Bezug auf die tatsächlich durchgeführten Erhebungs- und Validierungsmaßnahmen darstellen. Eine vollständige Darlegung für jede Referenzeinrichtung, jeden Fachbereich, inkl. der einzelnen Funktionsbereiche und Stationen, wäre teils sehr redundant und würde zudem den Rahmen dieser Arbeit übersteigen.

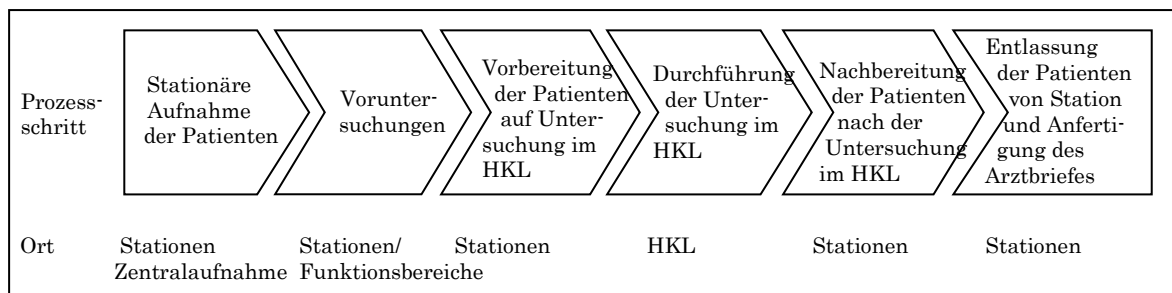
Ferner sei erwähnt, dass im Zeitraum der Datenerhebung es in den betrachteten klinischen Einrichtungen keine strukturellen Änderungen, Verschiebungen in dem Ressourcenaufkommen (z.B. durch Krankheit), den Dienstplänen oder in der Prozesslandschaft gab, die über das Tagesgeschäft hinausgingen und somit die Aussagekraft der erhobenen Daten verfälschen würden.

6.3.2 **Kardiologische Stationen**

Im Nachfolgenden wird die Datenerhebung und -validierung entlang der Prozessabläufe auf den kardiologischen Normalstationen geschildert. Gegenstand der Betrachtung sind die Prozesse, welche, wie in Abb. 61 dargestellt, ineinander

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

einwirken und einen typischen stationären Aufenthalt mit einem Eingriff im HKL als zentrales Element haben.⁵⁹



Datenquelle: Prozesserhebung vor Ort

Abb. 61: Prozesskette stationärer Aufenthalt

Zunächst wurden die Ressourcen entlang der Prozesskette und die lokalen (Struktur-) Gegebenheiten aufgenommen und validiert. Hierzu zählten die Ärzte, Pflegekräfte, Stationsbetten und Spezialressourcen wie Untersuchungszimmer oder EKG-Geräte. Darüber hinaus gibt es Zeiten auf den Stationen, wo die Ressourcen blockiert oder nur eingeschränkt verfügbar sind, z.B. Dienstbesprechungen, Pausenzeiten oder Visiten. Die Zeiträume dieser wurden bei den Ärzten und Pflegekräften abgefragt und dokumentiert.

Bezogen auf die extrahierten Bewegungsdaten aus dem SAP IS-H*med, können diese hinsichtlich der Anzahl, Zeitpunkte, Art der Aufnahmen, Bewegungen zwischen den Stationen wie auch in Bezug auf die Entlassung ausgewertet werden. Im Zuge der Aufnahme auf den kard. Stationen wird für jeden Patienten im SAP IS-H*med ein Eintrag angelegt. Dies stellt den ersten Eintrag in die Bewegungsdaten des Patienten dar.

Auffällig war, dass, betrachtet man die fortlaufende Nummerierung der Bewegungsdaten, diese teils nicht vollständig war. Die Gegebenheit ist darin begründet, dass bei dem Datenexport nicht durchgeführte Untersuchungen, welche systemseitig bereits eine fortlaufende Nummer erhalten hatten, nicht berücksichtigt wurden. Es wurden nur die tatsächlich durchgeführten Untersuchungen exportiert und ausgewertet. Darüber hinaus entsprach die Reihenfolge in der fortlaufenden Nummerierung im Datenexport der Bewegungsdaten nicht immer dem tatsächlichen zeitlichen Ablauf. So war u.a. der letzte Eintrag nicht immer die stationäre Entlassung. Der Sachverhalt tritt nicht in Bezug auf Stationsverlegungen auf. Die zeitliche Aneinanderreihung bei stationären Verlegungen war durchgängig

⁵⁹ Die detaillierten Abläufe sind im Anhang A9-A32 aufgeführt.

konsistent. Häufigstes Vorkommen war bei Konsilbehandlungen⁶⁰. Diese werden mit einem Konsilschein angefordert, erbracht und danach von der erbringenden Abteilung im SAP IS-H*med nachgemeldet. Dabei kommt es oft vor, dass die Nachmeldung im SAP zeitlich versetzt und damit nach einer Patientenentlassung erfolgt. Somit entspricht die fortlaufende Nummerierung nicht mehr der korrekten zeitlichen Reihenfolge. Die Auswertung erfolgte entsprechend dieser Erkenntnis nach der tatsächlichen zeitlichen Abfolge. Die tatsächlichen Zeitpunkte der jeweiligen Bewegung konnten den Bewegungsdaten entnommen werden (siehe Anhang A33 zur Struktur der Bewegungsdaten).

Teils wiesen die Bewegungsdaten fehlende Werte in Bezug auf Stationsbewegungen auf. Diese waren u.a. in der Spalte „Bewegungsart“ vorzufinden. Da die restlichen Felder gepflegt waren, konnten die fehlenden Bereiche abgeleitet und ausgefüllt werden.

Bei der Datenvalidierung ist ferner aufgefallen, dass beim Wechsel von der Notfallaufnahme zu einer beliebigen Station häufig statt dem Wechsel der Fachabteilung als Bewegungsart der Stationswechsel eingetragen wurde. Im Anbetracht dieser Umstände wurden die Auswertungen stattdessen auf der Basis der Werte im Feld „Organisationseinheit Pflege“ (ORGPF) vorgenommen. Dieses Feld gab verlässlich Auskunft über die betreffenden Fach-/Funktionsbereiche.

Die erhobenen Daten konnten dennoch grundsätzlich als sehr verlässlich angesehen werden, da es z.B. einer Aufnahme bedarf, um ein Bett zugeteilt zu bekommen. Im Rahmen der Aufnahme wird ein Eintrag im SAP System angelegt. Die Daten aus dem SAP wurden stichprobenartig geprüft. Hierzu wurden 57 Fälle zufällig ausgewählt und anhand der Arztbriefe die hinterlegten Aufnahme- und Entlassungsdatum überprüft. Diese stimmten in allen betrachteten Fällen überein. Es gab hier keine Abweichungen. Auch sonst wurden keine weiteren Auffälligkeiten wie z.B. doppelte Einträge oder andere Inkonsistenzen, in den Aufnahmedaten entdeckt. Auch das Pflegepersonal auf den Stationen wurde dahingehend befragt. Von fehlenden oder nachgetragenen Patientenaufnahmen im System war bisher nichts bekannt geworden.

In den Einrichtungen 1 und 3 verfügten die kard. Stationen über ein Stationsbuch, welches Informationen über die aufgenommenen Patienten beinhaltet. Jeder Patient erhält bei seinem Aufenthalt einen Eintrag im Stationsbuch, mit Name des Patienten,

⁶⁰ Konsiliarius: „vom behandelnden Arzt zur Beratung (>>Konsilium<<) über Diagnose/Behandlung eines Krankheitsfalles hinzugezogener Arzt“ [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 930].

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

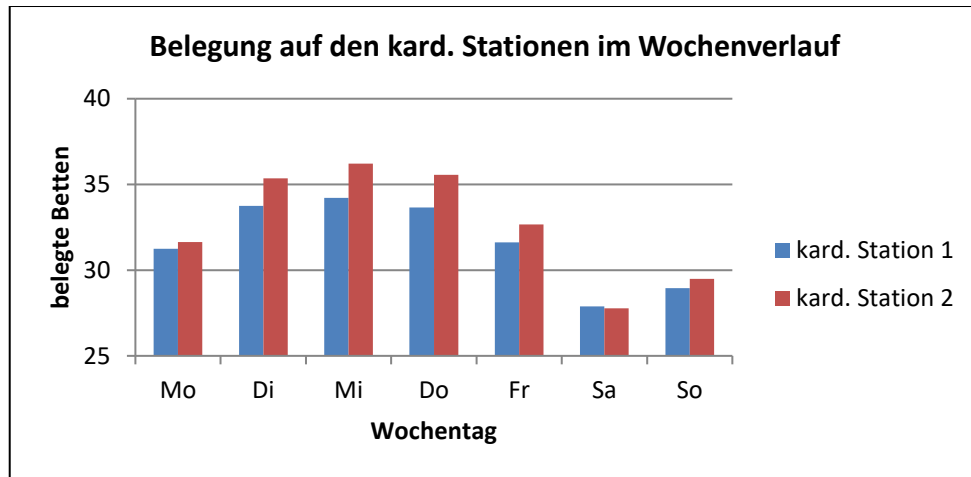
Geburtstag und dem Tag der Aufnahme. Nur in Einrichtung 1 wird zudem ein Outlook-Kalender auf den Stationen geführt. Dieser dient dazu, die Patientenaufnahmen und Entlassungen gegenüberzustellen und eine Art Planung dahingehend vorzunehmen, wann wie viele Entlassungen vorzunehmen sind. In Einrichtung 3 wird zum Zweck der Übersicht ein Handzettel genutzt, den jede Pflegekraft auf den Stationen bei sich führt. Diese Daten konnten genutzt werden um die Aufnahmen und Entlassungen zu validieren.

Während eines stationären Aufenthaltes können Patienten diverse fachspezifische und fachfremde Untersuchungen durchlaufen. Die Maßnahmen sind im Patientenverlauf in den SAP Bewegungsdaten enthalten und können danach ausgewertet werden. Für die durchzuführenden Maßnahmen verlassen die Patienten i.d.R. die Station und kehren anschließend wieder auf die entsendende Station zurück⁶¹. Während dieser Zeit bleibt das Zimmer durch den Patienten belegt. Für Untersuchungen, wie z.B. zur Blutentnahme oder für ein Ruhe-EKG, verbleiben z.B. die Patienten der Einrichtung 3 auch physisch auf der Station, da dies vor Ort ausgeführt wird. Darüber hinaus können beispielsweise Patienten von einer kard. Station zu einem anderen nicht kard. (Fach-)Station verlegt werden, z.B. bei multimorbiden Patienten, wenn eine andere Erkrankung einer Behandlung bedarf. Auch diese Bewegungen lassen sich anhand der extrahierten Bewegungsdaten aus dem SAP IS-H*med nachvollziehen und quantifizieren.

Anhand der Zu- und Abgänge auf den kard. Stationen, wie diese in den Bewegungsdaten dokumentiert sind, ergaben sich, im Vergleich zu dem Umfang der gegebenen Bettenressourcen, dass an Arbeitstagen die verfügbaren Bettenkapazitäten im Maximum teils überschritten werden. Dies wird durch die Einbringung von Betten in die Untersuchungsräume versucht zu kompensieren, welche damit aber blockiert sind. Oder, die Patientenbetten stehen für die Zeit der fehlenden Kapazitäten auf dem Flur. Beides wurde in den Referenzeinrichtungen beobachtet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Bettenbelegung auf den kardiologischen Stationen der Einrichtung 3 im Wochenverlauf (siehe Abb. 62).

⁶¹ Sofern keine Komplikationen aufgetreten sind, die eine Verlegung erforderliche machen oder der Patient nicht verstorben ist.



Datenquelle: SAP IS-H*med

Abb. 62: Übersicht Bettenbelegung auf den kardiologischen Stationen im Wochenverlauf – Einrichtung 3

Die Abbildung zeigt einen für die drei betrachteten Einrichtungen vergleichbaren Verlauf, welcher zum Wochenende hin abnimmt und die maximale Auslastung zur Mitte der Woche erreicht. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass die kard. Station 1, entsprechend der geringeren Anzahl an Bettenplätzen, auch eine geringere Belegung ausweist. Zum Wochenende hin nimmt die Belegung auf den Stationen ab, entsprechend der Maßgabe, die Anzahl der Patienten am Wochenende bei reduziertem Personal möglichst gering zu halten. Zum Sonntag hin werden die Belegungen wieder mehr, was durch den Zufluss von der Notaufnahmestation hervorgerufen wird. Die Daten wurden mit dem Stationsbuch/Outlook-Kalender der Zu-/Abgänge abgeglichen und konnten damit ebenfalls bestätigt werden.

Bezogen auf den Entlassungszeitpunkt wurde festgestellt, dass die Angaben zu den Bettenfreigaben im SAP IS-H*med nicht den tatsächlichen Zeitpunkten (Uhrzeit) entsprechen, zu denen die Patienten das Bett räumen. Dies ist darin begründet, dass die Einträge im SAP IS-H*med je nach dem getätigt werden, wie es den Pflegekräften auf den Stationen zeitlich gelegen ist oder systemseitig die Betten wieder beansprucht werden. Um den konkreten Zeitpunkt der Ressourcenfreigabe festzustellen, wurde eine Erhebung durchgeführt. Der Erhebungsbogen ist im Anhang A34 aufgeführt.

Für den Aufbau des Modells benötigt es detailliertere Werte zu den Aktivitäten auf der Station, im Speziellen vor der HKL-Untersuchung. Im Folgenden werden nun, ausgehend von dem Ablauf in Abb. 61, die einzelnen Prozessschritte näher betrachtet, welche bis zur Durchführung der HKL-Untersuchung durchlaufen werden (siehe hierzu Anhang A10-A12, A17-A19, A27-A29). Hierzu wurde eine empirische Erhebung der zeitkritischen und im Sinne der dokumentierten Prozessabläufe relevanten Prozessschritte durchgeführt. Dabei galt es, die Zeitverbräuche sowie die

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

beteiligten Ressourcen festzuhalten. Unter anderem wurden die folgenden Prozessschritte betrachtet und die Ausführungsdauer erhoben:

- Krankenhausaufnahme (ambulant/stationär)
- Vorbereiten der Patientenunterlagen
- Einweisung im Zimmer
- Pflegerische Anamnese
- Ärztliche Anamnese
- Nachbereitung ärztliche Anamnese
- Kurvenvisite
- Patientenvisite
- Befundung der Proben im Labor
- Ruhe-EKG auf der kard. Station
- Aufstellen eines Maßnahmenplans durch Ärzte (Anordnung des weiteren Ablaufes)
- Aufklärung des Patienten
- Allgemeine Vorbereitung auf HKL (z.B. Rasur, Vormedikation etc.)

Es wurde in der Erhebung seitens der Visite in Kurvenvisite (ohne Patient) und die reguläre Visite (mit Patient im Patientenzimmer) unterschieden. Die Zeiten bei der Kurvenvisite sind teils sehr kurz ausfallen. Dies konnte damit begründet werden, dass wenn für einen Patienten der Arztbrief bereits gefertigt und im Zuge dessen der Patient intensiv besprochen wurde, für den Patienten entsprechend der bevorstehenden Entlassung, keine oder kaum mehr medizinisch relevante Informationen abzufragen oder zu geben sind. Ebenso kann die reguläre Visite nur einige Sekunden dauern, wenn der Patient nicht im Zimmer ist, z.B. weil dieser zu einer Maßnahme im Haus unterwegs ist. Die Visite wird für diesen Fall nicht nachgeholt, wie von den Stationsärzten ausgeführt wurde. Diese Werte wurden somit beibehalten und in der Datenbasis nicht bereinigt.

6.3.3 Elektrokardiografie

Der erhobene Prozessablauf zur stationären Aufnahme und zur Vorbereitung der Patienten auf die Untersuchung im HKL zeigt, dass bei jedem kardiologischen Patienten im Rahmen der präoperativen Abklärung u.a. ein EKG (Voruntersuchung) erforderlich ist (siehe Anhang A10-A12, A17-A19, A27-A29). Voruntersuchungen, wie das EKG, sind von Bedeutung, da die Wartezeit bis zu diesen die Liegezeit der Patienten direkt beeinflusst. Umso eher die Voruntersuchungen durchgeführt sind, umso eher könnte der Patient die nachfolgende HKL-Maßnahme erhalten, sofern diese dann weiterhin erforderlich erscheint. Auch für Ambulanzpatienten ist die Terminverfügbarkeit wichtig, da diese nach Anordnung kurzfristig einer Umsetzung der Maßnahme (noch am selben Tag) bedürfen. Patienten von den Ambulanzen in

Einrichtung 2 und 3 werden unangemeldet zum EKG gesendet. Patienten von den Stationen werden hingegen für das Belastungs-EKG angemeldet.

Zunächst wurden auch hier die vorhandenen technischen, personellen und räumlichen Ressourcen, Öffnungs-, Dienst- und Pausenzeiten sowie die strukturellen Gegebenheiten aufgenommen. In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass im EKG-Bereich der Einrichtung 2 keine Ärzte fest zugeteilt sind. Die EKG-Maßnahmen werden durch Pflegekräfte umgesetzt. Sofern ein Arzt erforderlich ist, wird dieser im Haus angefordert.

Im Zuge der Prozess- und Datenerhebung wurden die Maßnahmenarten erfasst, welche vom Funktionsbereich EKG erbracht werden und diese erforderlichen Ressourcen zugeordnet. Folgende Maßnahmenarten wurden identifiziert (siehe Glossar zur Erklärung dieser):

- Ruhe EKG,
- Belastungs-EKG und Spiroergometrie,
- Mobiles-EKG,
- Langzeit-EKG und
- Kipptisch.

Elektrokardiographischen Untersuchungen werden in der Referenzeinrichtung nicht in den Bewegungsdaten des SAP-Systems dokumentiert (Einrichtung 2) oder die Dokumentation beinhaltet lediglich einen Zeitpunkt in den Bewegungsdaten als Referenz zur Maßnahme (Einrichtung 3). Wohin gehend in Einrichtung 3 auch die Art der Maßnahme nicht in den Bewegungsdaten ersichtlich war. Alle Maßnahmen im Funktionsbereich EKG wurden bei Einrichtung 3 im SAP unter ein und demselben Kürzel geführt. Auch gab es in den Referenzeinrichtungen keine Daten über die Dauer der Untersuchungen oder Detailangaben, von welchen Stationen oder Fachbereichen die Patienten entsandt wurden. Sofern Maßnahmen dokumentiert waren, konnte über die aufnehmende Einheit resp. über die Station (zur Liegezeit), von wo der Patient entsandt wurde, dieser Bereich als Entsender zugeordnet werden. Die Patienten können von den Ambulanzen - im Speziellen der kardiologischen Ambulanz - oder den Stationen kommen. In seltenen Fällen kommen diese von externen Kliniken. Um die Entsender, die Art der durchgeführten Maßnahme, Maßnahmendauern, Wartezeiten und Terminabweichungen zu ermitteln wurde eine empirische Erhebung durchgeführt und die Ergebnisse mit den im SAP-System dokumentierten Verteilungen (sofern vorhanden) abgeglichen. Für die Erhebung wurde je nach Gegebenheiten vor Ort, ein Erhebungsbogen verwendet (siehe Anhang A35 und A36 zu den Erhebungsbögen). Die Erhebung lief über 6 Wochen. Für die Einrichtung 3 wurde eine Vor-/Nachbereitungszeit erhoben, da es hier separate

Kabinen zur Vorbereitung gab. Sofern die pflegerische Ressource in die Vor- und Nachbereitungszeit eingebunden war, wurde dies zur Untersuchungszeit gezählt. In diesen Fällen ist die separate Vor- und Nachbereitungszeit mit 00:00 Minuten bemessen. Grundsätzlich werden Vorbereitungszeiten zur Wartezeit gezählt, sofern diese nicht im Untersuchungszimmer erfolgen resp. die Pflegekraft eingebunden ist.

Zur Validierung der mittels Erhebungsbogen erfassten Daten wurden stichprobenweise die am Ende jeder Maßnahme ausgestellten Befunde herangezogen. Diese lagen in Papierform vor und konnten über die Art der Maßnahme, das Datum der Durchführung und den Untersuchungsverlauf (evtl. Komplikationen) Auskunft geben. Da die Erhebung weitestgehend von den Pflegekräften in dem Funktionsbereich übernommen wurde, wurde stichprobenweise eine parallele Erfassung vorgenommen und diese mit den vom Funktionsbereich dokumentierten Werten abgeglichen.

6.3.4 Echokardiografie

In der Echokardiografie wird für Patienten mit entsprechender ärztlicher Anforderung ein Echokardiogramm (Echo) angefertigt. Auch dies erfolgt z.B. in Vorbereitung der Herzkatheteruntersuchung zur Abklärung z.B. einer Klappenerkrankung. Die Echokardiografie ist von Bedeutung, da die Wartezeit bis zur Untersuchung die Liegezeit der stationären und die Durchlaufzeit der ambulanten Patienten direkt beeinflusst.

Zunächst wurden auch in der Echokardiografie die technischen, personellen und räumlichen Ressourcen, Öffnungs-, Dienst- und Pausenzeiten sowie die strukturellen Gegebenheiten aufgenommen.

Darüber hinaus wurden die Maßnahmenarten erfasst, welche vom Funktionsbereich ECHO erbracht werden und diese erforderlichen Ressourcen zugeordnet. In der Echokardiografie wird in drei Maßnahmenarten differenziert. Das „normale“ Echo (TTE), welches von außen (auf dem Brustkorb) durchgeführt wird. Darüber hinaus wird in Schluckecho (TEE) und in Stressecho (TSE) unterschieden. Ersteres bezeichnet das Echo, bei dem die Echosonde in die Speiseröhre eingeführt wird. Bei Letzterem wird der Patient einer Stresssituation, durch Medikamentengabe oder Bewegung, ausgesetzt.

Die Pflegekräfte führen normale Echokardiogramme (TTE) durch. Sofern diese mit keiner Echo-Untersuchung gebunden sind, unterstützen sie den Arzt beim Durchführen des Schluckechos oder Stressechos. Ebenso obliegen vorbereitende und nachbereitende Tätigkeiten, im Speziellen die Terminorganisation, den Pflegekräften.

Schluckechos und Stressechos sind grundsätzlich durch ärztliches Personal durchzuführen. Entsprechend sind dem Funktionsbereich auch ärztliche Ressourcen fest zugeteilt. Im Vorfeld einer Echo-Maßnahme bedarf es einer Aufklärung des Patienten, um die damit verbundenen Risiken zu vermitteln. Die Aufklärungen erfolgen z.B. auf den Stationen oder in der kard. Ambulanz.

Patienten für eine echokardiografische Untersuchung kommen überwiegend aus der Klinik selber, von den Stationen oder der Ambulanz. In sehr seltenen Fällen kommen die Patienten von einer anderen (externen) Klinik. Die Einrichtungen oder Bereiche melden das Echo im Funktionsbereich an und erhalten hierfür einen Termin. Diese werden im Abstand von 15 Minuten für ein TTE und im Abstand von 30 Minuten für ein TEE vergeben (variable-interval). Jedes Echogerät wird hierbei einzeln geplant. Jedem Termin kann somit ein Patient zugeteilt werden (single-block). Die Vergabe erfolgt elektronisch gestützt durch die Anforderungen über ein lokales EDV-System (CARDAS) in Einrichtung 2 und durch das SAP IS-H*med gestützt in Einrichtung 3. Hier werden, entsprechend der Art der Untersuchung, Datum und Uhrzeit dokumentiert. In Einrichtung 3 werden die Echo-Maßnahmen im SAP-System vermerkt, aber in den Bewegungsdaten unter einem Kürzel zusammengefasst. Beginn und Ende der einzelnen Maßnahmen werden im SAP-System nicht geführt. Daher waren in allen Referenzeinrichtungen empirische Erhebungen notwendig. Ziel der Erhebungen war: Die Anzahl der Patienten je Tag zu ermitteln, welche diesen Funktionsbereich durchlaufen und quantitative Auswertungen vorzunehmen, wie viele stationäre/ambulante Patienten hier untersucht werden, von welchen Stationen/Fachbereichen die Patienten kommen, resp. wie lange die einzelnen Untersuchungen dauern und wie groß etwaige Wartezeiten oder Terminabweichungen sind. Über einen Zeitraum von jeweils 6 Wochen wurde eine Erhebung mit dem angehängten Erhebungsbogen durchgeführt (siehe Anhang A37).

Zur Validierung der mittels Erhebungsbogen erfassten Daten wurden die am Ende jeder Maßnahme durch den untersuchenden Arzt ausgestellten Befunde herangezogen. Diese lagen in Papierform vor und konnten über die Art der Maßnahme, das Datum der Durchführung und den Untersuchungsverlauf (evtl. Komplikationen) Auskunft geben. Es wurde festgestellt, dass es in den SAP Leistungsaufschlüsselungen vorkam, dass zur selben Zeit ein Schluckecho (TEE) und ein normales Echo (TTE) durchgeführt wurden. Dies kann damit begründet werden, dass der Funktionsbereich zunächst ein normales Echo durchführt, bevor die Schluckechountersuchung durchgeführt wird. Für die weitere Betrachtung wurde dies als eine Schluckechountersuchung gewertet, da dasselbe Gerät Verwendung findet (ohne Unterbrechung). Die Messwerte der empirischen Datenerhebung zur Maßnahmendauer beziehen sich in diesem Fall auf die Dauer beider Untersuchungen

und wurden ebenso als Schluckechountersuchung gezählt. In gleicher Weise wurde dies mit dem Stressecho (TSE) gehandhabt in Bezug auf gleichzeitig dokumentierte normale Echountersuchungen (TTE). Dies kam in den Jahren 2010 + 2011 lediglich einmal vor.

6.3.5 Herzkatheterlabor

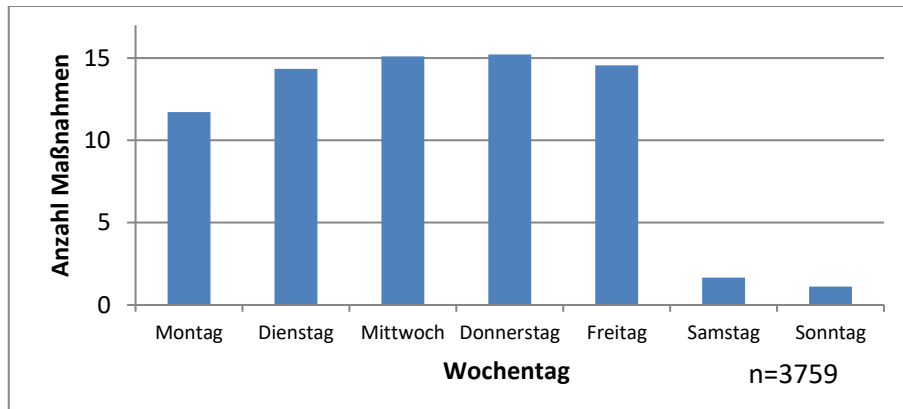
Das Herzkatheterlabor stellt den zentralen Funktionsbereich für die stationären, kard. Patienten dar. 53-57 %⁶² der stationären Patienten weisen zur Liegezeit einen Kontakt zum HKL auf. Daher bedarf das HKL einer detaillierten Betrachtung.

Zu Beginn der Erhebung wurden auch hier die technischen, personellen und räumlichen Ressourcen, Schichtpläne, Öffnungs-/Bereitschaftszeiten, Pausenzeiten und strukturellen Gegebenheiten aufgenommen. Jede der Referenzkliniken verfügt über zwei reguläre Herzkatheterlabore und ein elektrophysiologisches Labor, welches mit speziellen Elektrodenkathetern ausgestattet ist. Darüber hinaus verfügt Einrichtung 3 über ein weiteres reguläres Katheterlabor, welches gemeinschaftlich mit zwei weiteren Abteilungen, u.a. mit der Chirurgie, genutzt wird. Die Kardiologie kann dies immer montags, mittwochs, donnerstags (halbtags) und am Freitag nutzen. Alle aufgeführten Behandlungsplätze sind in der vorliegenden Arbeit direkter Betrachtungsgegenstand.

Um den genauen Umfang der Patienten zu bestimmen, welche Kontakt zum HKL hatten, und um zu ermitteln, von wo diese entsendet wurden (Station, Notaufnahme, externe Klinik), können die SAP-Daten herangezogen werden. Der Detailgrad der elektronisch im SAP-System verfügbaren Bewegungsdaten war jedoch auch hier begrenzt. So wurde im SAP-System zwar der Kontakt zum HKL vermerkt, dies aber lediglich in Form des Datums und eines Zeitpunktes (Untersuchungsbeginn – „Stich“). In diesem Umfang sind die Daten im SAP-System jedoch sehr verlässlich. Wie sich herausstellte, werden diese elektronisch über eine Schnittstelle aus dem Kathetermessplatz an das SAP übergeben. Somit konnten aus den Bewegungsdaten im SAP zunächst eine Übersicht der Anzahl an HKL-Fälle wie auch eine Verteilung innerhalb der Woche abgeleitet werden (siehe Abb. 63).

⁶² Datenquelle SAP IS-H*med, Einrichtung 3 für die Jahre 2010 (n=4637) und 2011 (n=4452). In den anderen Referenzeinrichtungen ist das Verhältnis ebenfalls im Bereich von 50-60%.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

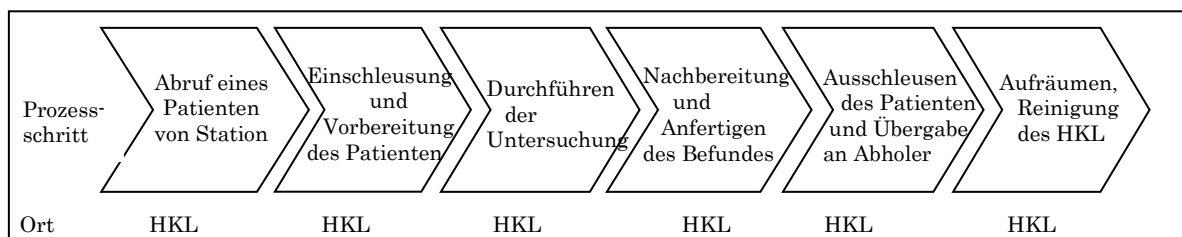


Datenquelle: SAP IS-H*med inkl. Notfälle und Bereitschaftsdienst
 Abb. 63: Übersicht der HKL-Maßnahmen im Wochenverlauf – Einrichtung 3

Wie sich hieran zeigt, ist die Verteilung der Aufkommen unter der Woche volatil. Eine ähnliche Verteilung zeigte sich auch in den anderen beiden Referenzeinrichtungen.

Hinsichtlich genauerer Angaben, z.B. zur Art oder Dauer der Maßnahme, konnte das SAP-System nicht dienen. Daher musste in allen drei Referenzeinrichtungen auf spezifische Erfassungssysteme, schriftliche Dokumentationen und empirische Erhebungen zurückgegriffen werden.

Zum Aufbau einer validen Datenbasis wurden über einen Zeitraum von 9 Kalenderwochen, mittels eines Datenerhebungsbogens Werte in den HKLs erhoben (siehe Anhang A38 zum Erhebungsbogen). Der Erhebungsbogen orientiert sich an dem Prozessablauf im HKL (siehe Abb. 64) und wurde mit dem zuständigen OA in Einrichtung 1+2 entwickelt und in der Form in den Referenzkliniken zur Erhebung eingesetzt. Er bildet den grundsätzlichen Ablauf im HKL ab und wird je Patient befüllt (siehe Anhang A39 zur Erläuterung des Erhebungsbogens).



Datenquelle: Prozesserhebung vor Ort
 Abb. 64: Überblick Prozessablauf im HKL

Die Erhebung wurde vom Pflegepersonal und den Medizinisch-technischen Assistenten (MTA) vor Ort durchgeführt. Die Verantwortung oblag der jeweiligen Schichtleitung. Leider konnte jedoch nicht in allen Fällen sichergestellt werden, dass die Daten vollständig sind. Zum Beispiel sind Notfälle aufgetreten, in denen das

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Leben des Patienten wichtiger war und keine Zeit zum Ausfüllen eines Erhebungsbogens blieb. Um die erhobenen Daten zu validieren und ggf. zu vervollständigen, wurden punktuell parallele Erhebungen durchgeführt sowie weitere Datenquellen in Anspruch genommen, welche nun näher erläutert werden.

Das HKL verfügt in allen Referenzeinrichtungen über ein Dokumentationsbuch („HKL-Buch“), welches von dem Funktionsbereich selber geführt wird. Für jeden Patienten wird ein handschriftlicher Eintrag im HKL-Buch angelegt (siehe Abb. 65).

Lin. Nr.	Datum	Name	Station	Station	Station
607	2022				
608	2022				
609	2022				
610	2022				
611	2022				
612	2022				
613	2022				
614	2022				
615	2022				
616	2022				
617	2022				
618	2022				
619	2022				
620	2022				
621	2022				
622	2022				
623	2022				
624	2022				
625	2022				
626	2022				
627	2022				
628	2022				
629	2022				
630	2022				
631	2022				
632	2022				
633	2022				
634	2022				
635	2022				
636	2022				
637	2022				
638	2022				
639	2022				
640	2022				

Station	Untersucher	Dauer
Judkins	AS Dr.	1,1
Judkins	AS Dr.	22,3
Judkins	AS Dr.	8,0
Judkins	AS Dr.	9,6
Judkins	AS Dr.	5,7
Judkins	AS Dr.	20,7
Judkins	AS Dr.	2,5
Judkins	AS Dr.	45,0
Judkins	AS Dr.	3,3
Judkins	AS Dr.	2,3
Judkins	AS Dr.	0,9
Judkins	AS Dr.	19,7
Judkins	AS Dr.	2,0
Judkins	AS Dr.	6,8
Judkins	AS Prof.	16,1
Judkins	AS Dr.	13,9
Judkins	AS Dr.	13
Judkins	AS Dr.	4,3
Judkins	AS Dr.	3,7
Judkins	AS Dr.	2,3

Abb. 65: HKL-Buch – Einrichtung 2

Das HKL-Buch beinhaltet für ein Jahr alle durchgeführten Behandlungen mit nachfolgenden Informationen zu jeder Behandlung:

- Katheternummer (fortlaufende Nummer auf Jahresbasis),
- Name des Patienten und Geburtsdatum,
- Fallnummer,
- in welchem HKL die Untersuchung durchgeführt wurde,
- ob es sich um einen Notfall handelte,
- ob die Untersuchung außerhalb der regulären Dienstzeit erfolgte,
- von welcher Station der Patient gekommen ist,
- auf welche Station der Patient nach der Behandlung gebracht wurde,
- durchgeführte Untersuchungen,
- Befunde,
- ob eine Schleuse eingesetzt wurde und Art der Schleuse (z.B. AS),
- Anzahl und Namen der behandelnden Ärzte und
- die Durchleuchtungsdauer.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Die im HKL-Buch enthaltenen Daten wurden im Speziellen genutzt, um den erhobenen Datenbestand hinsichtlich folgender Punkte zu vervollständigen und zu validieren:

- von welcher Station / welchem Krankenhaus der Patient gekommen ist,
- wohin die Patienten anschließend gebracht wurde,
- Anzahl der bei der Untersuchung tätigen Ärzte und
- Umfang an Patienten je Tag.

Neben dem HKL-Buch gab es weitere Datenquellen wie den Arztbrief (HKL-Befund) und das Untersuchungsprotokoll (siehe Abb. 66), welche ebenfalls für jeden Patienten im Anschluss an die jeweilige Maßnahme vom untersuchenden Arzt angefertigt wurden.


Universität		Bereich Humanmedizin	
Zentrum Innere Medizin			
Abteilung Kardiologie und Pneumologie			
Direktor: Professor Dr. med.			
Daten zu HK-Nr. 2953/09 vom 31.12.2009			
Patient: 		geboren: 22.10.1925	
		Station: TN	
Uhrzeit	Ereignis		
15:35:44	Eingeschleust		
16:35:42	Untersuchungsbeginn		
16:35:46	Punktion: Art. fem. re.		
16:36:49	Materialverbrauch: Schleuse Avanti 5F		
16:36:53	Materialverbrauch: Diagnostikkatheter JL 4/5F		
16:36:57	Materialverbrauch: Diagnostikkatheter JR 4/5F		
16:36:57	Judkins ohne LV-Angio, Echo		
16:40:36	Medikation NTG Bolus i.c. 0.1 mg		
16:55:57	Kontrastmittel Gesamt 40 ml		
17:12:56	Punktion: Ven. fem. re.		
17:13:49	Materialverbrauch: Schleuse Avanti 5F		
17:13:49	Schleuse angenäht		
17:22:50	Materialverbrauch: Schleuse Obturator 5F (art.)		
17:22:54	Materialverbrauch: Schleuse Obturator 5F (ven.)		
17:23:14	Untersuchungsende		
Durchleuchtung Diagnostik: 1.5 min 38 Gy*cm ²			
Medikation während HK:			
NTG Bolus i.c.			
Kontrastmittel Gesamt: 40 ml			
Medizinischer Direktor			

Abb. 66: Untersuchungsprotokoll des HKL – Einrichtung 2

Das Untersuchungsprotokoll entstammt einem elektronisch gestützten Kathetermessplatz und dokumentiert diverse Zeitstempel während der Untersuchung. U.a. konnten hieraus nachfolgende Informationen zu der Behandlung gewonnen werden:

- Katheternummer,
- Fallnummer,

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

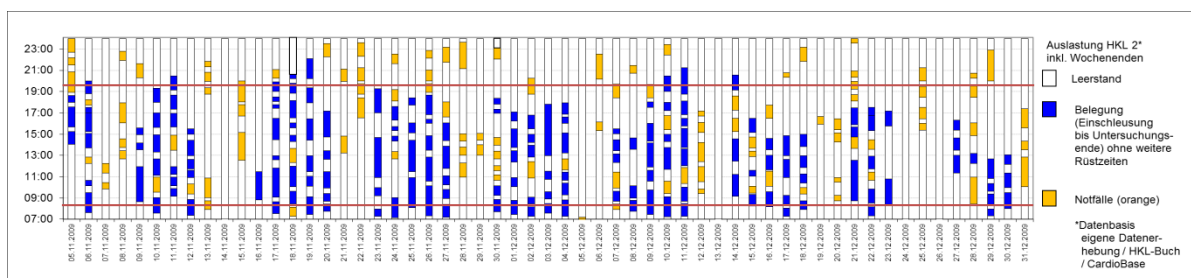
- in welchem HKL die Untersuchung durchgeführt wurde,
- ob es sich um einen Notfall handelte,
- von welcher Station der Patient gekommen ist,
- auf welche Station der Patient nach der Behandlung gebracht wurde,
- Art der durchgeführten Untersuchungen und Befunde,
- ob eine Schleuse eingesetzt wurde und Art der Schleuse (z.B. AS),
- wer die Schleuse gezogen hat (Arzt/Pflegkraft),
- Durchleuchtungsdauer,
- Zeitpunkt der Einschleusung des Patienten und
- Zeitpunkte von Stich und Naht.

Auch mit Hilfe des Untersuchungsprotokolls konnten die bisher erhobenen Daten überprüft, vervollständigt und validiert werden. Insbesondere die im Untersuchungsprotokoll dokumentierten Stich- und Nahtzeiten sind sehr verlässlich. Dies ist darin zu begründen, dass im vorgelagerten Schaltraum der HKL eine Pflegekraft oder MTA damit betraut ist die Untersuchung zu dokumentieren. So werden neben der Stich- und Naht-Zeit, welche per Knopfdruck sekundengenau elektronisch eingespielt werden, auch Materialverbräuche und der Zeitpunkt des Materialeinsatzes dokumentiert. Somit konnten die Stich-Naht-Zeiten hieraus in den Datenbestand einfließen und bereits erfasste Werte bestätigen oder ergänzen. Lediglich hinsichtlich des Zeitpunkts der Einschleusung des Patienten ist diese Art der Erfassung ungenau und konnte nur bedingt zum Aufbau einer Datenbasis herangezogen werden. Der Grund liegt darin, dass beim Eintreffen des Patienten, welches zugleich häufig auch der Zeitpunkt der Einschleusung des Patienten ist, die Patientenakte an die Pflegekraft im Schaltraum übergeben wird. Bis ein Vorgang im Messplatz angelegt und die Patientendaten eingegeben sind, vergehen bis zu zehn Minuten, bis der Zeitstempel für die Einschleusung gesetzt wird. Bei der späteren Erfassung der Schnitt- und Nahtzeiten war dies nicht mehr problematisch, da der Vorgang dann angelegt und offen war. Jedoch betrifft dies auch Notfälle, wo der Patient unter Umständen hereingebracht wird und die Behandlung direkt beginnt, die Vorbereitungen nahezu parallel verrichtet werden. Hier kam es häufig vor, dass der Zeitpunkt von Stich und Einschleusung aufeinander gefallen sind und der dokumentierte Untersuchungsbeginn um ca. 10 Minuten abweicht.

Zur weiteren Datenvalidierung wurden die gesammelten Daten mit den Mitarbeitern im Gespräch vor Ort in der Art überprüft, dass nach Schätzwerten für die einzelnen Behandlungsschritte abgefragt wurden. Diese wurden ebenfalls mit den erhobenen Daten verglichen um Abweichungen festzustellen. Stichprobenweise wurde überprüft, ob die Patienten tatsächlich von/zu den dokumentierten Stationen kamen/gebracht wurden. Hierbei kam es zu keinen Auffälligkeiten.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Im Ergebnis stand ein Datenbestand an validierten Werten. Hieraus konnten nun Kennzahlen für die Dauer der einzelnen Prozessschritte, den verschiedenen Maßnahmen, zu Wartezeiten und Durchlaufzeiten ermittelt werden (siehe Anhang A40). Es wird u.a. die Verteilung der Patienten zwischen den jeweiligen Laboren in den Referenzeinrichtungen aufgezeigt. Ferner zeigt sich in den Kennzahlen, dass in den HKL der Einrichtung 2 deutlich mehr Notfallpatienten im täglichen Ablauf zu integrieren sind. Trotz des nahezu gleichen Aufkommens an Patienten, hat die Einrichtung 2 eine um ca. 1 Stunde längere Öffnungszeit des HKLs bis 19:00 Uhr, woraus zum Teil der erhöhte Leerstand bezogen auf das Ende der letzten Maßnahme und dem Ende der regulären Laborbereitschaftszeit resultiert. Es zeigt sich an den aufgestellten Kennzahlen, dass bei den Referenzkliniken die Belegungszeiten, wie auch die Schnitt-Naht-Zeiten, im Mittelwert nah beieinanderliegen. Das Spektrum zwischen Minimum und Maximum ist hingegen bei allen Referenzkliniken recht groß. Dies liegt u.a. an den unterschiedlichen Maßnahmen, welche im HKL durchgeführt werden, den entsprechend unterschiedlichen Zeit- sowie Ressourcenerfordernissen dieser Maßnahmen sowie der jeweiligen Konstitution der Patienten. Speziell in Bezug auf die Maßnahmen bedarf es daher einer genaueren und ggf. differenzierten Betrachtung. Als Kennzahlen wurden ferner die Auslastungswerte aufgeführt. Konkret: die Mehrarbeit nach dem regulären Ende der Laborbereitschaftszeit (Überstunden des Personals), der Leerstand bis zum Ende der regulären Laborbereitschaftszeit (Leerzeit) und die gesamte Leerzeit (zur Dienstzeit, exkl. Wartungsarbeiten und Reparaturen). Bei letzterem weist die Einrichtung 3 einen deutlich geringeren Prozentsatz als die Referenzeinrichtung 1 oder 2 auf. Die nachfolgende Grafik zeigt beispielhaft die Auslastung (Patientenbelegung) über einen ausgewählten Zeitraum im HKL2 der Einrichtung 2 (siehe Abb. 67).



Datenquelle: Erhebungsbogen HKL

Abb. 67: Übersicht Patientenbelegung im HKL2 – Einrichtung 2

Die Zeiten zwischen 24:00 und 7:00 Uhr wurden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet. In dieser Zeit finden nur wenige Untersuchungen, im Rahmen von Notfällen durch den Bereitschaftsdienst, statt. Die horizontalen Linien zeigen die reguläre Laborbereitschaftszeit von 8:00 – 19:00 Uhr für das hier gewählte

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

HKL auf. Die hellen Balken sind Leerstände. Diese können u.a. auftreten, wenn der geplante Patient nicht verfügbar ist, kein Arzt verfügbar oder nicht rechtzeitig verfügbar ist oder kein Patient eingeplant wurde. In diesen Leerständen ist das fest eingesetzte Personal trotzdem vor Ort. Die dunklen (blauen) Balken kennzeichnen eine Belegung. Orangefarbene Bereiche beziehen sich auf Behandlungen, welche als Notfälle eingestuft wurden. Die dargestellten Belegungszeiten sind die dokumentierten Schnitt-Naht-Zeiten (inkl. hinzugerechneter Wechselzeiten). Weitere Auswertungen zur Belegung der HKL-Labore sind im Anhang A43-A44 angefügt.

Die Art der Maßnahme wird, wie bereits aufgeführt, im Erhebungsbogen erfasst (siehe Anhang A38). Im Weiteren wurde betrachtet, welche Zeiterfordernisse und Häufigkeit die unterschiedlichen Untersuchungen aufweisen (siehe Anhang A45 für die Einrichtung 2). Wie sich zeigt, ist „Coro“ (PCA) die in den drei Referenzeinrichtungen häufigste Untersuchungsart. Hierunter ist die Koronarangiografie⁶³ zu verstehen. Es ist darauf hinzuweisen, dass häufig bei einer PCA erkannte Verengungen im Zuge der laufenden Untersuchung behoben werden, somit eine PTCA direkt angeschlossen wird. Diesbezüglich war eine Trennung in den Daten nicht möglich. Die Gruppierung erfolgt in diesem Fall nach der Art der Untersuchung, mit welcher begonnen wurde, hier PCA. Beide genannten Gruppen finden überwiegend in den regulären Laboren statt. Dem entgegen finden die EPU-Stimulation⁶⁴, Kardioversion⁶⁵ und die Ablation⁶⁶ ausschließlich in dem Speziallabor der Elektrophysiologie statt. Notfälle wurden sehr selten in dem elektrophysiologischen Labor behandelt.

Bezogen auf die ermittelten Maßnahmendauern war zu berücksichtigen, dass die jeweiligen Maßnahmen auch unterschiedlich zeitintensive Vorbereitungen am Patienten bedürfen. Daher wurde als zeitlicher Bezug der Beginn der Einschleusung des Patienten bis zum Setzen der Naht zugrunde gelegt. Deutlich zu sehen ist der höhere Zeitbedarf bei einer Ablation im direkten Vergleich zu einer PCA (siehe Anhang A45).

Wie bereits ausgeführt wurde, gibt es speziell in Einrichtung 2 (elektive) ambulante Patienten im HKL, welche von externen Kliniken kommen und nach der HKL-Maßnahme dahin zurückgebracht werden. Dieser Zulauf von externen Kliniken

⁶³ Es handelt sich dabei um eine Angiografie der Herzkranzgefäße. Gefäßverengungen werden so im Röntgenbild sichtbar gemacht.

⁶⁴ Spezielle Untersuchung zur Stimulation des Herzens bei Patienten mit Herzrhythmusstörungen.

⁶⁵ Wiederherstellung des normalen Herzrhythmus (Sinusrhythmus) beim Vorliegen von Herzrhythmusstörung mittels Stromstoß von außen

⁶⁶ Behandlungsart bei Vorhofflattern oder Vorhofflimmern zur dauerhaften Heilung der Rhythmusstörung mittel Hochfrequenzstrom

wurde mit Hilfe des HKL-Buches, dem Erhebungsbogen, den SAP-Daten sowie dem Outlook-Kalender des HKLs bemessen und validiert. Im Ergebnis sind in Einrichtung 2 in 2009 4,77 % der Patienten ambulante, elektive Fälle von externen Kliniken. Die Häufigkeit wurde im Gespräch mit den Ärzten bestätigt. Als Grund wurde ein Rahmenvertrag mit einer naheliegenden Klinik angeführt, welche selber kein eigenes Herzkatheterlabor führt.

Nachdem eine HKL-Maßnahme durchgeführt wurde, werden die Patienten auf die entsendende Station zurückgebracht. Von diesem Vorgehen wird in Ausnahmefällen bei gesonderter Anordnung des HKL-Arztes abgewichen. So können Patienten bei Bedarf auf die Überwachungsstation oder Intensivstation verlegt werden und kehren somit nicht auf die entsendende Station zurück. Dies konnte mit Hilfe der SAP-Bewegungsdaten und der HKL-Bücher nachvollzogen werden.

Da die Referenzeinrichtungen nur bedingt mit konkreten Terminen planen, wurde als Kennzahl für die Terminabweichung die Anzahl der Verschiebungen (auf Tagesbasis) herangezogen. Für die Einrichtung 3 wurden bei 1357 Maßnahmen die Differenz zwischen geplantem Tag und dem Tag, zudem die Untersuchung tatsächlich durchgeführt wurde, ermittelt.⁶⁷ Im Ergebnis gab es bei diesem Stichprobenumfang eine Verschiebung von 366 Tagen (inkl. Wochenenden) bei 238 Terminverschiebungen (ca. 17,54 %). 2 weitere Termine wurden nach der Terminverschiebung abgesetzt und kamen nicht mehr in das HKL. Anders ausgedrückt heißt dies, dass auf der kardiologischen Station ein Bett über ein volles Jahr belegt war, allein durch verschobene Untersuchungen im HKL. Hochgerechnet auf den Jahresumfang von ca. 3500 – 4000 Fällen im HKL, bedeutet dies 2,5 - 3 Betten, welche allein auf Grund dessen kontinuierlich belegt sind.

Da Notfälle für die Planung der HKL-Kapazitäten einen besonderen Störfaktor bedeuten, wurde der Zulauf für das HKL detailliert betrachtet. Es wurde danach differenziert, von wo die Notfälle gekommen sind. Ferner wurde in Arbeitstage und in Wochenende/Feiertage unterschieden, um evtl. Unterschiede im Aufkommen zu identifizieren. Zur Erhebung und Validierung wurden wieder die SAP-Bewegungsdaten, die HKL-Bücher und lokal Dokumentation in der Notaufnahme, wie das Notaufnahmebuch herangezogen.

⁶⁷ Zum Zweck der Erhebung wurden durch den planenden HKL-Arzt entsprechende Kennzeichnungen im Kalender vorgenommen, welche die Anzahl der Verschiebungen aufzeigten.

6.3.6 Notaufnahme

Bei der Notaufnahmestation handelt es sich um eine interdisziplinäre Abteilung für Notfallpatienten (auch Notaufnahme, TNA oder ZNA genannt). Die Hauptaufgabe liegt in der Versorgung von Notfällen. Damit eng verbunden sind die Aufgaben der Patiententriage, Leitung von Patientenströmen und das Bettenmanagement.

Bei der Patiententriage handelt es sich um einen Begriff aus der Katastrophenmedizin für die Bestimmung der Reihenfolge der Patienten unter Berücksichtigung der Schwere des Traumas und der Überlebenschance [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 1663]. Damit verbunden ist, die Leitung der Patientenströme zu den entsprechenden Fach- und Funktionsbereichen, gegebenenfalls auch eine stationäre Aufnahme und interne Verlegung. Zur ambulanten Behandlung von Patienten verfügt die Notaufnahme ihrerseits über Behandlungsräume mit entsprechenden Bettenkapazitäten.

Für die Notaufnahme ergibt sich, aus der Natur der Sache heraus, eine 24-stündige Öffnungszeit über das ganze Jahr hinweg. Eine Einbestellung von Patienten gibt es, ebenfalls aus der Natur der Sache heraus, nicht. Entsprechend können sich die Patienten auch ausgehend von deren Eintreffen in der Notaufnahme, über den ganzen Tag hinweg auf nachgelagerte Bereiche der Klinik verteilen. Im Speziellen sind dies die kard. Stationen und das Herzkatheterlabor (siehe Beispiel zum Ablauf eines akuten Herzinfarktes „STEMI“ im Anhang A46). Unter diesem Gesichtspunkt liegen der Fokus bei den Erhebungen in der Notaufnahme auf den Patientenströmen und deren weitere Verteilung auf die hier gegenständlichen Engpassbereiche.

Patienten, welche in der Notaufnahme behandelt werden, kommen von extern u.a. von externen Kliniken, als Einweisung z.B. von Hausärzten, als Selbsteinweiser oder werden mittels Rettungswagen oder Hubschrauber in die Klinik gebracht. Die sich anschließende Prozesskette ist in Abb. 68 dargestellt. Der detaillierte Ablauf zur Patientenannahme, -aufnahme und -entlassung in der Notaufnahme ist als Prozessbeschreibung beispielhaft für die Einrichtung 2 im Anhang A23-A25 aufgeführt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

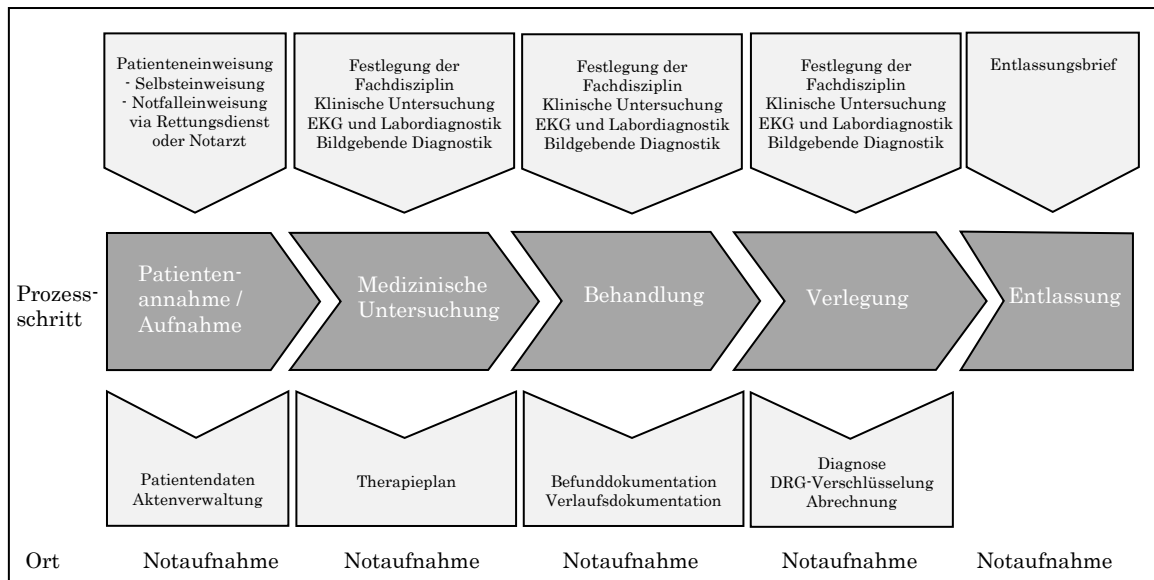


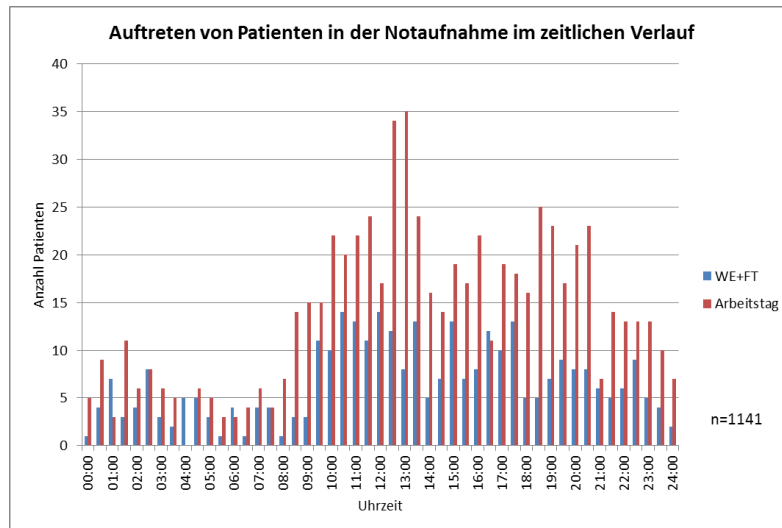
Abb. 68: Prozesskette Notaufnahmestation – Einrichtung 2 [interne Dokumente der Klinik]

Als Datenquelle konnte das SAP IS-H*med herangezogen werden. Hierüber konnte aufgeschlüsselt werden, ob ein Patient als Erstkontakt die Notaufnahme hatte und wie sich dessen Aufenthalt im Weiteren ausgestaltete. Darüber hinaus konnten den Bewegungsdaten auch die erforderlichen Zeitangaben des Auftretens (Zeitpunkt der Anmeldung) entnommen werden.

Als weitere Datenquelle konnte ein Notaufnahmebuch herangezogen werden. Ähnlich wie das Stationsbuch oder das HKL-Buch, wird dies genutzt um handschriftlich die Patientenzugänge zu dokumentieren. Einrichtung 2 führte hierin sogar die Zeitpunkte der Entlassung, resp. Verlegung, und das Ziel der Verlegung (interne Station/externes Krankenhaus). Ebenso wurde die Symptomatik/Diagnose festgehalten und speziell bei kard. Patienten vermerkt, ob diese direkt in das HKL gebracht wurden. Diese Informationen waren sehr hilfreich für die Validierung der SAP Daten.

Die nachfolgende Darstellung zeigt beispielhaft für Einrichtung 2 die Ankunft der Patienten im Tagesverlauf. Hierbei wurden die ankommenden Patienten in Gruppen von jeweils 30 Minuten unterteilt (siehe Abb. 69). Die Auswertung differenziert nach Arbeitstagen und Wochenenden/Feiertagen.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen



Datenquelle: Notaufnahmebuch

Abb. 69: Auftreten von Patienten in der Notaufnahme im zeitlichen Verlauf – Einrichtung 2

Wie sich zeigte, stellt sich der Ankunftsstrom im zeitlichen Verlauf an regulären Arbeitstagen und an Wochenenden/Feiertagen annähernd gleich dar. Der Umfang an Patienten ist, bedingt durch das Verhältnis von Arbeitstagen zu Wochenendtagen, an den Arbeitstagen entsprechend höher. In der Zeit zwischen 20:30 Uhr und 8:00 Uhr (nachts) nimmt der Umfang an Patienten, im Vergleich zu der verbleibenden Zeit (tagsüber), deutlich ab.

In der Erhebung zur Weiterverteilung der Patienten aus der Notaufnahmestation auf andere Stationen wurden nur Fälle berücksichtigt, welche als stationär eingestuft waren. Ambulante Fälle werden, entsprechend der Definition, direkt aus der Notaufnahme entlassen oder in eine externe Klinik verlegt. Diese Patienten werden in der Klinik als stationäre Patienten betrachtet, durch die Verlegung in eine andere Klinik sind diese aus der hier geltenden Sicht ambulant. Ein Teil der Patienten wird direkt in das Herzkatheterlabor verlegt. Signifikant für eine Untersuchung im HKL sind Patienten mit akutem Koronarsyndrom (ACS), welches ein Spektrum von Herz-Kreislauf-Erkrankungen definiert. Zur Validierung dieser direkt angeschlossenen HKL-Maßnahmen wurde ein Abgleich mit den lokalen Dokumentationen wie den HKL-Büchern und dem Notaufnahmebuch vorgenommen.

6.3.7 Kardiologische Ambulanz

Die kardiologischen Ambulanzen unterteilen sich in den Referenzkliniken in verschiedene Spezialambulanzen, u.a. Schrittmacherambulanz, Privatambulanz und die allgemeine kard. Ambulanz. Direkter Betrachtungsgegenstand ist in der vorliegenden Arbeit die allgemeine kard. Ambulanz (im Rahmen dieser Arbeit als kardiologische Ambulanz oder kurz Ambulanz bezeichnet). Hier finden sich das größte Patientenaufkommen und die meisten Wechselwirkungen mit den

Funktionsbereichen und Stationen der Kardiologie. Die verbleibenden Ambulanzen werden in der Betrachtung und der Datenerhebung zu den „Sonstige Funktionsbereiche/Stationen/ Ambulanzen“ zusammengefasst (siehe Kapitel 5) und beanspruchen in der Weiteren auf diesem Wege nachgelagerte Ressourcen wie das EKG oder das ECHO.

In den Referenzeinrichtungen kommen die Patienten der kard. Ambulanz ausschließlich von extern, werden z.B. von den Hausärzten überwiesen (siehe 6.1.1 zum detaillierten Ablauf). Es treten somit i.d.R. keine stationären Patienten in Erscheinung⁶⁸. Unter den Ambulanzpatienten können u.a. Fälle verstanden werden, welche erstmalig eine kardiologische Untersuchung beanspruchen und die genaue Ursache der Beschwerden noch ungeklärt ist. Des Weiteren können hierunter aber auch Patienten gesehen werden, welche zum wiederholten Male über einen längeren Zeitraum die allgemeine kardiologische Ambulanz aufsuchen, welche nicht direkt einer anderen Spezialambulanz zugeordnet werden können, z.B. zur Kontrolle oder Beobachtung eines Behandlungsverlaufes. Speziell in Einrichtung 1 wird der Ambulanzdienst auch zur prästationären Abklärung und Durchführung von Voruntersuchungen bei einer angedachten Herzkatheteruntersuchung genutzt.

Zu Beginn der Datenerhebung wurden wieder die technischen, personellen und räumlichen Ressourcen, Schichtpläne, Öffnungs- und Pausenzeiten sowie strukturellen Gegebenheiten aufgenommen.

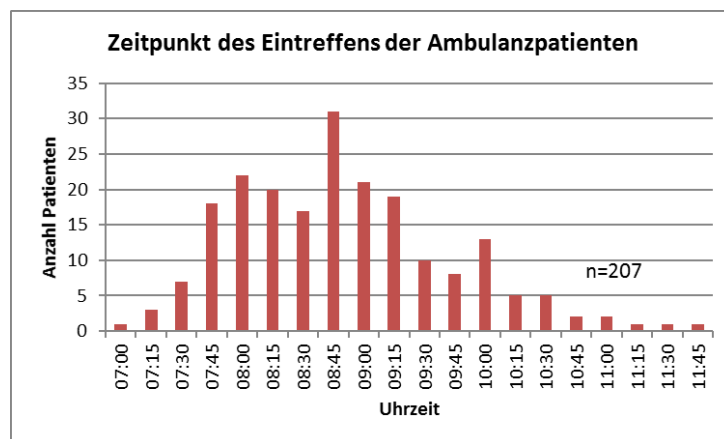
Als Datenquelle konnten in der kard. Ambulanz von Einrichtung 1 und 3 zunächst wieder das SAP-System genutzt werden. Patienten melden sich am Empfang der Ambulanz und eine Empfangsdame nimmt einen Eintrag im SAP-System vor. Auch nachfolgende Behandlungsschritte wurden in den jeweiligen Bereichen im SAP dokumentiert. Auf der Basis existierten Bewegungsdaten, welche extrahiert und ausgewertet werden konnten. Hieraus konnten der Zeitpunkt der Anmeldung, die Anzahl an Patienten am jeweiligen Tag und den weiteren Verlauf des jeweiligen Patienten zum Ambulanztermin ermittelt werden, z.B. nachfolgende Untersuchungen in kard. Funktionsbereichen. Wie bereits ausgeführt wurde, waren die Maßnahmen im System teils nicht oder nur mit einem einheitlichen Vermerk versehen, unabhängig von der Art der durchgeführten Maßnahme. Dies betrifft auch die Ambulanzpatienten, was eine empirische Erhebung erforderlich machte.

⁶⁸ Bei der Validierung der Daten fiel auf, dass 21 Fälle in den SAP-Bewegungsdaten (Einrichtung 3) gleichzeitig als ambulant, wie auch als stationär vermerkt waren. Hierbei handelte es sich um Ambulanzbesuche von stationären Patienten (kard. Stationen und sonstige Stationen) im Sinne einer Konsiluntersuchung. Auch die SAP Daten weisen in dem Bemerkungsfeld „Konsil...“ aus. Entsprechend wird der Besuch als Ambulanzbesuch gewertet, obwohl zugleich ein stationärer Aufenthalt vorliegt.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Einrichtung 1 und Einrichtung 3 nutzen das SAP System zur Dokumentation (Einrichtung 1), resp. zur Verwaltung (Einrichtung 3) der Ambulanztermine. Mit Hilfe dessen konnten Informationen zum geplanten Zeitpunkt des Termins und nicht in Erscheinung getretenen Patienten (no-show) gewonnen werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Patientenankünfte im zeitlichen Verlauf über einen Tag (siehe Abb. 70). Die Ankunftszeiten sind in Gruppen im Abstand von 15 Minuten zusammengefasst.



Datenquelle: Laufzettel

Abb. 70: Ankunftsstrom der Ambulanzpatienten im Tagesverlauf - Einrichtung 3

Einrichtung 2 nutzte für die Terminverwaltung einen Outlook-Kalender. Aus diesem konnten Informationen zur Anzahl der Patienten am jeweiligen Tag, zum Zeitpunkt der Anmeldung und zu dem geplanten Termin gewonnen werden. Darüber hinausgehende Informationen hinsichtlich der Durchlaufzeit, der Dauer des Arztgesprächs oder der Wartezeiten konnten aus den Datenquellen nicht ermittelt werden.

Zum Zweck der Ermittlung fehlender Informationen, wie z.B. der Art der Maßnahmen in den Funktionsbereichen, der Reihenfolge der Durchführung, der Wartezeiten, Terminabweichungen und Durchlaufzeiten, wurden in den Referenzeinrichtungen empirische Erhebungen durchgeführt. Diese liefen über einen Zeitraum von 6-9 Wochen. Die Erhebungsbögen ist im Anhang A41 und A42 angefügt. Ersterer wurde von den Ärzten/Pflegekräften der Ambulanz befüllt, der zweite Bogen wurden den Patienten als Laufzettel mitgegeben. Mit Hilfe dieser Bögen konnten die SAP-Daten in dem Patientenaufkommen und den Verteilungen unter der Woche validiert werden. Ferner konnten die in den Erhebungsbögen ermittelten Werte untereinander in Bezug auf die Dauer des Arztgesprächs abgeglichen werden.

Im Anschluss an die Untersuchung in der allgemeinen kard. Ambulanz wird für jeden Patienten ein Arztbrief ausgestellt, welcher die Befunde der angeordneten Untersuchungen enthält. Entsprechend konnte auch der Arztbrief als Datenquelle herangezogen werden, um Informationen hinsichtlich des Tags des Ambulanztermins und durchgeführter Untersuchungen zu erhalten. Diese wurden genutzt um den bis dato vorliegenden Datenbestand zu ergänzen und zu validieren.

6.3.8 Erhebung von Planwerten

Für die im Modell durchzuführende Terminplanung in den Funktionsbereichen bedarf es der Planwerte zu den einzelnen Maßnahmen. In der Literatur wird nach der Herkunft in drei Arten von Planwerten differenziert [Magerlein & Martin 1978, S. 429]:

- Schätzungen der durchführenden Personen (z.B. Operateure),
- Schätzungen der planenden Personen (wenn diese die Maßnahme nicht selber durchführen) und
- historische Mittelwerte.

Im Rahmen der Datenerhebung wurden auch die Planwerte der einzelnen Maßnahmen erhoben, welche die planenden Personen nannten. Überwiegend waren dies bei den vorliegenden Prozessen auch die Personen, welche die Maßnahme durchführen (z.B. HKL, Echo). Zudem wurden, wie ausgeführt, Erhebungen zur Dauer der Maßnahmen durchgeführt. Die hieraus errechneten Mittelwerte sind den im Realsystem verwendeten Planwerten in Tab. 16 für die Einrichtung 3 gegenübergestellt.

Die Unterschiede in den Planungswerten und den Mittelwerten sind zum Teil darauf zurückzuführen, dass von den Auskunft erteilenden Stellen bei den angegebenen Planwerten die Vor- und Nacharbeiten nicht berücksichtigt wurden, resp. die Planwerte Schätzwerte darstellen. Die angegebenen Mittelwerte spiegeln die tatsächlich erhobene Raumbellegung wider, inkl. evtl. Vor-/Nachbereitung und eventuell auftretender Komplikationen/Verzögerungen. Teils ist nur ein sehr geringer Stichprobenumfang aufgeführt, von z.B. zwei Echo-TSE. Im Erhebungszeitraum wurde diese Maßnahme entsprechend nur selten durchgeführt. Die Aufstellung zeigt somit auch die Häufigkeitsverteilung der Maßnahmen innerhalb der Funktionsbereiche. Validiert wurden die Werte im Rahmen der bereits ausgeführten Validierung der empirischen Erhebungen in den Funktionsbereichen.

6. Prozessaufnahme und Datenerhebung in den Referenzeinrichtungen

Benennung der Maßnahme	Mittelwerte Realsystem*	Stichprobenumfang	Planwert Realsystem
stationäre/ambulante Aufnahme (Verwaltung)	00:04	84	keine
EKG-Belastung	00:17	296	00:10
EKG-Spiro	00:31	45	00:20
Echo-TTE	00:18	202	00:15
Echo-TEE	00:21	48	00:30
Echo-TSE	00:38	2	00:45
HKL-Notfall	01:37	47	keine
HKL-Coro inkl. evtl. enthaltener PTCA, Biopsie etc.	01:05	195	01:00
HKL-Re-/Li-Katheter	01:19	14	01:00
HKL-PTCA	01:26	19	01:30
HKL-PTA	01:52	117	01:00
HKL-TAVI	03:01	8	02:30
HKL-EPU Stimulation	01:36	24	01:30
HKL-MitraClip	07:22	5	03:30
HKL-Ablation (einfach)	01:31	6	01:00
HKL-Ablation (komplex)	03:18	10	03:00
HKL-Sonstige (PFO-/LAA-Okkluder, ICD)	01:56	17	02:00

*inkl. evtl. Vor- und Nachbereitung (Raumbelegung) in Einrichtung 3; Angaben in Stunden und Minuten (hh:mm)

Tab. 16: Gegenüberstellung Erhebung Planwerte und Mittelwerte der Maßnahmen

6.3.9 Erhebung von Wegezeiten

Wegezeiten können den zeitlichen Ablauf der Patienten beeinflussen. Dies im Speziellen, wenn ein Transportdienst erforderlich ist. Daher wurden bereits in den Erhebungsbögen vereinzelt Wegezeiten für Patiententransporte abgefragt. Darüber hinaus wurden die Wegezeiten der Patienten in einer eigens darauf abgestellten Erhebung erfasst. Die Erhebung erfolgte der Art, dass den Patienten oder Pflegekräften/Transportdiensten, welche das Bett verschoben haben, gefolgt und die Zeit für den Transport gestoppt wurde. Darüber hinaus wurde die Dauer vom Abruf bis zum Eintreffen des Transportdienstes bemessen, sofern der Transport mit diesem erfolgte.

6.4 Zusammenfassung der Prozess- und Datenerhebung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die in den Kliniken vorliegenden Datenbestände, insbesondere für den vorliegenden Zweck der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung (z.B. Behandlungsverläufe, Wartezeiten, Häufigkeiten von Terminverschiebungen, Dauer einer Maßnahme) sowie allgemein für den Modellaufbau, sehr lückenhaft sind. Sofern die Daten vorlagen, waren diese nicht zentral verfügbar, waren unvollständig und/oder enthielten Fehler. Teils wurden unterschiedliche Systeme in den einzelnen Funktionsbereichen einer Fachabteilung eingesetzt. Krankenakten werden teils bereichsbezogen geführt, teils gab es gemeinsam genutzte Papierakten. Nur in einer Referenzeinrichtung wurde eine elektronische Patientenakte geführt. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ausführungen von Rink [2011] bzgl. eines Peer-Review-Verfahrens im Rahmen der „Initiative Qualitätsmedizin“:

- In zwei Dritteln der 21 Kliniken es keine ausreichende Dokumentation der Krankheitsverläufe gab. Besonders betroffen hiervon waren die ärztliche Dokumentation von Arbeitsdiagnosen und die logische Darstellung von Therapieentscheidungen.
- "recht häufig" widersprachen sich Pflege- und ärztliche Dokumentation oder es wurde irrelevantes dokumentiert.
- In 57 % aller untersuchten Kliniken ist die Überprüfung von Schnittstellen im diagnostischen wie therapeutischen Bereich dringend erforderlich. Es ist zu hinterfragen, wer an welcher Stelle für den Prozess verantwortlich ist.

Um den hier erforderlichen Datenbestand aufzubauen wurde zu großen Teilen auf empirische Erhebungen zurückgegriffen und eine zeitlich sehr aufwendige Datenvalidierung betrieben. Im Ergebnis steht ein ausreichend großer Datenbestand, welcher bis auf wenige Ausnahmen⁶⁹, zweigeteilt werden kann (siehe hier Unterabschnitt 4.8.3). Im Sinne des aufzubauenden Simulationsmodells können nun die erforderlichen Verteilungen und Kennzahlen zum Aufbau und zur Validierung ermittelt werden.

⁶⁹ Ausnahmen stellen seltene Ereignisse dar oder Prozessschritte, die nur in geringem Umfang oder nicht eindeutig bemessen werden konnten.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Nachdem nun die Prozesse und erforderlichen Daten erhoben wurden, wird im Folgenden auf die identifizierten Herausforderungen eingegangen, welche direkt oder indirekt das Ziel der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung sowie deren Optimierung tangieren. Dies erfolgt zunächst allgemein und im Weiteren konkret bezogen auf die Patienten und die gegenständlichen Bereiche.

7.1 Allgemeine themenbezogene Herausforderungen der weiteren Arbeit

Im Folgenden werden themenbezogene Herausforderungen aufgeführt, welche nicht bereichsspezifisch zu sehen sind, sondern die vorliegende Arbeit übergreifend oder als Gesamtes betreffen. Die Ausführung ist nicht abschließend. Es wird lediglich auf eine Auswahl der wichtigsten Sachverhalte eingegangen. Hierzu zählen:

- Gefährdung von Patienten,
- Ressortdenken,
- Expertenorganisation,
- Beherrschung der gesammelten Daten,
- Stochastische Einflussgrößen,
- Komplexität und Dynamik der betrachteten Prozesse sowie
- Substitution stationärer durch ambulante Leistungen.

(a) Gefährdung von Patienten

Wie bereits festgehalten wurde, sind Krankenhäuser Erbringer von Dienstleistungen. Die größte Gefahr in diesem Zusammenhang ist darin zu sehen, dass der Patient durch die Dienstleistung dem Risiko ausgesetzt ist, geschädigt zu werden oder diese gar das Leben des Patienten beeinträchtigen und gefährden könnte. Dies ist bei der Inanspruchnahme von Dienstleistungen sonst eher nicht vorzufinden [Olandt 1998, S. 11]. Bezogen auf eine Optimierung dessen bedeutet es, dass Veränderungen in der Termin- und Reihenfolgeplanung durchaus Einfluss auf den Gesundheitsstatus des Patienten haben können. Eine Optimierung muss daher validiert sein und etwaige Versuche der Verbesserung dürfen das Wohl des Patienten, im Idealfall auch den Klinikalltag nicht beeinflussen. Ferner dürfen medizinische Anordnungen bei der hier angestrebten Optimierung nicht gegenständlich sein. Eine Ausnahme stellt die Reihenfolge in der Durchführung von Maßnahmen dar, sofern dies medizinisch unbedenklich ist.

(b) Ressortdenken

Eine große Herausforderung stellt die nach wie vor vorherrschende Trennung zwischen den Ressorts Pflege, Medizin und Verwaltung dar (siehe Abschnitt 2.1). Mit dieser Aufbauorganisation gehen differierende Interessen einher, welche in den Fach- und Funktionsbereichen aufeinandertreffen. So ist die Verwaltung weitestgehend den

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Interessen des Trägers obliegen, z.B. zur Wirtschaftlichkeit. Wohingegen die Pflege auf eine möglichst optimale Versorgung und Betreuung der Patienten ausgerichtet ist. Dazwischen bewegen sich die Ärzte im medizinischen Ressort, welche auf Grund der oft vielfältigen Aufgaben und Verantwortungen die Pflicht gegenüber dem Patienten auf eine möglichst optimale medizinische Versorgung mit einem möglichst minimalen Zeitaufwand sehen. Dem gegenüber stehen nun noch die Interessen der Patienten. Bereichsübergreifende Optimierungen sowie Bestrebungen der Standardisierung von Abläufen werden häufig durch die streng funktionale Organisation und das vorherrschende Bereichsdenken behindert [Siepermann 2004, S. 55] (vgl. [Schwartz et al. 2003, S. 712]).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Befragungen bei den Mitarbeitern und Patienten in den Referenzeinrichtungen durchgeführt, welche die unterschiedlichen Ausprägungen aufzeigen (siehe Abschnitt 6.1 zur Erhebung). Die Befragungen haben ergeben, dass sich speziell die Pflegekräfte über etwaige Mehrkosten, auf Grund von unstrukturierten und teils nicht optimalen Prozessabläufen, durchaus bewusst waren und die kritischen Punkte bei den Patientenströmen sehr gut im Arbeitsablauf aufzeigen konnten. Die Effizienz allgemein und im Speziellen die Kosteneffizienz⁷⁰ wird überwiegend als Qualitätsmerkmal empfunden. Signifikant war, dass die Wichtigkeit einer abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit im Mittel als eher hoch eingestuft, der Erfüllungsgrad aber mit eher gering angegeben wurde. Die nachfolgenden Kennzahlen führen einige Kennzahlen der Auswertung auf:

- 37,5 % der befragten Mitarbeiter antworteten auf die Frage, wie die Zusammenarbeit zwischen HKL, Ambulanz, Stationen und umliegenden klinischen Fachbereichen wie Sonografie oder Radiologie beurteilt wird, mit befriedigend oder ungenügend.
- 58,9 % der befragten Patienten empfinden die Wartezeit auf den Stationen, im HKL und in der Ambulanz als befriedigend oder ungenügend.
- 38,3 % der befragten Patienten gaben an nur teilweise bis gar nicht über den Ablauf ihres Aufenthaltes informiert worden zu sein.
- 30,5 % der befragten Patienten gaben an, dass Untersuchungen teilweise bis gar nicht pünktlich stattgefunden hätten.

⁷⁰ Kosteneffizienz bezeichnet den Sachverhalt, wenn es keine anderen Instrumente gibt, welche die gleichen Ziele bei gegebener Technologie mit niedrigeren Kosten ermöglichen [Roberts et al. 2010, S. 1797].

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Wie sich in den gesamten Umfrageergebnissen gezeigt hat, besteht Unzufriedenheit des Klinikpersonals speziell im Bereich der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit. Patienten äußerten ihre Unzufriedenheit bezogen auf die Termintransparenz, die Wartezeiten und die Termintreue. Speziell die Wartezeit wird von den Patienten als sehr wichtig empfunden. Auf Seiten des klinischen Personals wurde hingegen eine signifikante Untergewichtung bezüglich der Priorität der Wartezeiten der Patienten festgestellt, wenngleich dies als Dienstleistungsqualität ausgelegt werden kann. Die Herausforderung besteht darin, Transparenz und Termintreue zu schaffen, Wartezeiten und Durchlaufzeiten zu reduzieren ohne anderen Kriterien wie die Behandlungsqualität zu beeinflussen.

(c) Expertenorganisation

Eine besondere Herausforderung stellt die Expertenorganisation an sich dar (siehe hierzu Abschnitt 2.1). Die Experten zeichnen sich durch langjährige Ausbildung und eine hohe fachliche Qualifikation, gebündelt mit hoher Eigenverantwortlichkeit und einer darauf basierenden Selbstorganisation, aus (siehe [Mintzberg 1992, S. 256 f.]). Daraus ergibt sich ein Selbstverständnis im Verhalten der Experten, welches in Bezug auf leitende Ärzte teils als autoritär und aggressiv wahrgenommen werden kann [Kühnle 2000, S. 233]. Dies kann Optimierungsbestreben fördern, aber auch hemmen [Braun von Reinersdorff 2007, S. 82]. Tendenziell kann ein Festhalten der Ärzte an alten Strukturen und Prozessen beobachtet werden [Braun von Reinersdorff 2007, S. 82]. Darüber hinaus werden Bedürfnisse der Organisation in Bezug auf deren Ausgestaltung von den Ärzten (Experten) nicht als deren Aufgabe verstanden [Kühnle 2000, S. 202], obwohl die sonst damit betraute Technostruktur auf Basis der vorliegenden Expertenorganisation nur gering ausgeprägt ist (siehe Abschnitt 2.1). Das sich hieraus ergebende Konfliktpotential zeigt Kühnle auf (siehe [Kühnle 2000, S. 115-120, 205-208] zu diesen⁷¹).

(d) Beherrschung der gesammelten Daten

Angestrebte Verbesserungen stehen vor der Hürde der Ist-/Problemanalyse. Bezogen auf den Patientenstrom, den großen Fallzahlen einer Klinik (im Speziellen bei einer Klinik der Maximalversorgung (siehe Tab. 13 in Kapitel 5 zu den Fallzahlen) in Verbindung mit den vielen unterschiedlichsten Eigenschaften der Patienten und ihren Behandlungsverläufen bedarf es einer Methodik zur Beherrschung der erhobenen Daten. Die Herausforderung besteht neben der Sammlung der erforderlichen Menge an Daten in der Gewinnung der erforderlichen Informationen aus diesen. Für den nutzenstiftenden Einsatz bedarf es einer geeigneten Klassifizierung (siehe Unterabschnitt 2.4.7), um den Umfang der gewonnenen Daten

⁷¹ Siehe Kühnle [2000, S. 228–267] zu Beispielen der Wirkungsweise in Praxisprojekten.

und Informationen beherrschbar sowie einer Planung, Steuerung oder Optimierung zugänglich zu machen. Darüber hinaus bedarf es dem richtigen Medium zu Speicherung und Verwaltung der Daten⁷².

(e) Stochastische Einflussgrößen

Eine weitere Herausforderung des Optimierungsbestrebens und der Planbarkeit stellen stochastische Einflussgrößen dar. Hierzu zählen insbesondere Notfälle. Ein Notfall ist im medizinischen Rettungswesen definiert als:

„...schwere Verletzung, akuter lebensbedrohlicher Erkrankungszustand oder Vergiftung, häufig mit Störung der vitalen Funktionen. Ohne sofortige Hilfeleistung sind erhebliche gesundheitliche Schäden oder der Tod des Patienten zu befürchten.“
[Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 1204]

Wie ausgeführt wird, ist nicht jeder Unfall und jede Erkrankung als Notfall einzustufen. Vielmehr bedarf es zusätzlich eines medizinisch akuten (plötzlich, heftig), potentiell lebensbedrohlichen Charakters. Hier ist die Zielfunktion zu Gunsten des Patienten und zu Ungunsten der Wirtschaftlichkeit bewusst verschoben (z.B. Bereitschaftsdienst). Ein Notfall stellt im Auftreten ein nicht geplantes akutes Ereignis dar. Für gewöhnlich ist eine Einrichtung zur Notfallversorgung, wie z.B. eine Notaufnahmestation, die erste Anlaufstelle, wo die Notfallpatienten entsprechend der Schwere eingestuft, versorgt, stabilisiert und der weitere Behandlungsablauf definiert wird. Um die Einflussnahme von Notfällen auf die einzelnen Bereiche einer Klinik zu verdeutlichen, wird im Anhang A46 der Ablauf am Beispiel eines ST-Hebungsinfarkts „STEMI“ veranschaulicht. Notfälle wie diese treten zufällig auf (stochastische Größe), können von außerhalb der Klinik einströmen oder auch innerhalb der Klinik auftreten (z.B. während der Liegezeit auf einer Station). Mit dem Auftreten beeinflussen Notfälle vorliegende Planungen in Bezug auf die Termine anderer Patienten, eingesetzter Ressourcen und Material. Wie die Darstellung ebenfalls zeigt, wirken Notfälle bereichs- und abteilungsübergreifend, z.B. im Falle einer weiterführenden Behandlung im Herzkatheterlabor oder einer Verlegung auf eine Bettenstation.

Neben dem stochastischen Auftreten von Notfällen besteht die Herausforderung, dass fast alle patientenbezogenen Tätigkeiten mit Ungewissheiten behaftet sind. Eine Behandlungsdauer im Herzkatheterlabor ist z.B. stark abhängig vom individuellen Zustand des Patienten, dem Alter, Unverträglichkeiten auf Medikamente. Allein

⁷² In der vorliegenden Arbeit dient eine MySQL Datenbank für die erhobenen Daten und informale Prozessbeschreibungen für die Dokumentation der Prozesse (siehe Kapitel 6).

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

schon eine Blutentnahme kann zeitlich stark variieren, in Abhängigkeit der Güte der Gefäße wie auch der Qualifikation der durchführenden Ressource. Selbst schon eine Diagnose kann mit ungewissen Faktoren behaftet sein. Der diagnostizierende Arzt trifft eine Entscheidung auf der Basis seines Fachwissens und der ihm vorliegenden Schilderungen des Patienten sowie der vorliegenden Befunde und Symptome. Eine Gewissheit, alle entscheidungsrelevanten Informationen zu haben, gibt es nicht.

Ebenso unterliegt das Patientenaufkommen einer Varianz. Es kann abhängig sein von saisonalen Schwankungen, z.B. einer erhöhten Anzahl an Erkältungen im Herbst- und Wintermonaten, wie Schwankungen an Feiertagen oder Wochenenden, wo Patienten tendenziell zu Hause bleiben und am Montag erst den Arzt oder die Klinik aufsuchen. Erhalten Patienten keine Termine bei der Einbestellung, so ist auch hinsichtlich der Uhrzeit eine ungewisse Größe zu sehen, wann der Patient letztlich an der einbestellenden Stelle in Erscheinung tritt. Selbst bei Patienten, denen ein konkreter Termin zugewiesen wurde, unterliegt das tatsächliche Auftreten einer Schwankung in Form eines zu frühen, pünktlichen oder verspäteten Eintreffens. Im Extremfall kann der Patient auch ganz ausbleiben oder der Klinik entlaufen, ohne dass der zuständige Bereich hierüber informiert ist. Damit sind sämtliche im Weiteren zum Tragen kommenden logistischen und dispositiven Planungen beeinträchtigt oder vorausschauend erschwert.

Wie im Rahmen der Datenerhebung festgestellt wurde beeinflussen Ausfallzeiten wie Störungen die technischen Ressourcen in der Verfügbarkeit. Diese sind im Auftreten stochastisch und zeigten sich insbesondere bei den Herzkatheterlaboren. Dies wird als Herausforderung insbesondere für die OP-Planung gesehen.

Auch der Patienten-Mix (Schweregrad, Reihenfolge) ist ein Einflusskriterium auf die Planung. Der Patienten-Mix kann aber nur bedingt beeinflusst werden. Das Patientenaufkommen ist unter realitätsnaher Betrachtung als gegeben anzusehen, sofern nicht Patienten abgelehnt werden können. Bei einer Klinik der Maximalversorgung besteht z.B. die Verpflichtung zur Annahme aller Patienten. Somit beschränken sich die Freiheitsgrade auf die Reihenfolge und die Dispositionsfähigkeit der Patienten. Nur planbare Patienten können in gewissen Rahmen zeitlich verschoben oder in der Reihenfolge variiert werden. Wird der zeitliche Rahmen überzogen, kann der Patient zu einem Notfall werden und die Dispositionsfähigkeit geht verloren [Mazier et al. 2010, S. 793].

(f) Komplexität und Dynamik der Prozesse

Viele Herausforderungen und Schwächen in der Termin- und Reihenfolgeplanung sind zu großen Teilen auch der hohen Komplexität der zu beherrschenden Prozesse anzulasten. Hierbei bezieht sich Komplexität auf die Vielzahl der an den Prozessen beteiligten Ressourcen, Abteilungen und wechselseitigen Beziehungen derer untereinander sowie der Dynamik und den einwirkenden Unsicherheiten in den Prozessen (vgl. [Rosemann 1996, S. 16] zu Komplexität im Allgemeinen). Auf Grund der hohen Komplexität in den über diverse Bereiche hinweg vernetzten und dynamischen Abläufen, den teils unsicheren und unterschiedlichsten Diagnosen, aufgrund des individuellen Zustandes der Patienten, saisonaler Schwankungen sowie der Abhängigkeit der Willensbildung der Patienten und nicht zuletzt durch die Notwendigkeit der Ressourcenvorhaltung ist die Termin- und Reihenfolgeplanung der Patienten, nach wie vor als eine große Herausforderung zu sehen.

(g) Substitution stationärer durch ambulante Leistungen

In der Praxis gilt nach § 39 Abs. 1 S. 2 SGB V der Grundsatz ambulant vor stationär [Bundesministerium der Justiz 2013a]. Das heißt, dass ein Patient, dessen medizinischer Zustand dies erlaubt, vorzugsweise ambulant untersucht und behandelt wird, anstelle einer stationären Aufnahme. Damit stellt die Substitution stationärer durch ambulante Leistungen eine weitere Herausforderung dar. In der Einrichtung 1 werden z.B. punktuell die Voruntersuchungen bei Patienten mit avisierter HKL-Maßnahme durch den Ambulanzdienst vorgenommen, statt wie in Einrichtung 2+3 erst nach der stationären Aufnahme zur Liegezeit.

7.2 Spezifische, bereichsbezogene Herausforderungen und Optimierungsziele

Jeder Fach-, Funktionsbereich und jede Station weisen individuelle wie auch übergreifende Ziele auf. Teils verhalten sich die Ziele nicht linear. Zudem haben Patienten bereichsbezogene und auch übergreifende Ziele. Nicht zuletzt hat die Klinik - geprägt durch die Klinikleitung und die Trägerschaften - ihre eigenen Ziele (siehe Abschnitte 2.1 und 7.1). Im Nachfolgenden werden die hier gegenständlichen Planungsziele konkretisiert und die damit verbundenen Optimierungsprobleme aufgeführt.

(a) Krankenhausführung und Trägerschaften

Wie bereits festgehalten wurde, wird eine wirtschaftlich orientierte Trägerschaft zugrunde gelegt. Im Krankenhaus machten im Jahr 2011 in Deutschland durchschnittlich 59,31 % der Betriebskosten die Kosten für Personal aus [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016c]. Unter diesem Gesichtspunkt erscheinen die Personalressourcen sehr wesentlich und es ergibt sich das grundsätzliche Ziel, sowohl der Krankenhausleitung wie auch für die vorliegende Arbeit, diese möglichst effizient einzusetzen. Das bedeutet, die Auslastung möglichst

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

hoch, gleichmäßig verteilt und die Leerzeiten möglichst gering zu halten (siehe Abschnitt 2.3). Diese Grundbestrebung trifft auf alle eingesetzten Ressourcen⁷³ der klinischen Einrichtung zu und steht vor dem Hintergrund, dass die DRG-Vergütung die Kosten nicht nur auf Fallebene decken muss.

(b) Patienten

Patienten haben sowohl bereichsbezogene, wie auch übergreifende Ziele. Auf die bereichsbezogenen Zielsetzungen und Erwartungen, wie kurze Wartezeiten bei einem Termin, wird im Folgenden im Zuge der Betrachtung auf Bereichsebene eingegangen. Zunächst werden jedoch die übergreifenden Ziele betrachtet. Hierbei ist festzuhalten, dass ein Patient die Klinik als eine Einheit wahrnimmt, mit der dieser in Kontakt tritt und in dessen Obhut er sich begibt, z.B. bei einer stationären Aufnahme. Das Ziel des Patienten ist es, für den gesamten Behandlungsverlauf und evtl. verbundenen Aufenthalt eine medizinisch korrekte und für ihn (subjektiv) ausreichende sowie verständliche Beratung und Aufklärung hinsichtlich seines Zustandes, der Behandlungen und des Behandlungsablaufes zu erhalten. Dies beinhaltet auch über etwaige Termine oder Verschiebungen derer adäquat informiert zu werden. Daneben erwartet ein Patient eine medizinisch korrekte und zur Verbesserung seines Zustandes beitragende Behandlung sowie eine Betreuung und Pflege, inkl. Verpflegung (bei stationärer Aufnahme) für die Dauer des Aufenthaltes. Darüber hinaus streben Patienten auch in Bezug auf den Gesamtablauf möglichst kurze Wartezeiten und damit verbunden einen möglichst kurzen Aufenthalt in der Klinik an (Durchlaufzeit). Dies ist aber verbunden mit der Einschränkung, dass der Aufenthalt, z.B. auf den Stationen, zum Auskurieren oder Stabilisieren ausreichend lang ist. Speziell die Restriktion der ausreichenden Liegezeit gestaltet sich, als Nebenbedingung der Optimierung, schwer umsetzbar, da diese subjektiv vom Patienten wahrgenommen und medizinisch/subjektiv durch einen Arzt festgelegt wird.

⁷³ EDV-Anlagen und -Systeme werden hier nicht ausgeklammert. Auch EDV-Systeme haben begrenzte Kapazitäten, sind kostenintensiv in der Anschaffung und sind im Betrieb mit Kosten verbunden, nicht zuletzt für die Energie zum Betrieb der Anlagen.

(c) Kardiologische Normalstationen

Das Ziel der Normalstationen besteht darin, zur richtigen Zeit genügend Bettenplätze für die einbestellten Patienten verfügbar zu haben, um einen ausreichenden Zufluss zu den Funktionsbereichen, z.B. dem Herzkatheterlabor, zu gewährleisten. Darüber hinaus sollten fachzugehörige Notfälle z.B. aus der Notaufnahmestation sowie geplante Verlegungen von externen Kliniken ebenfalls zeitnah einen Bettenplatz erhalten können. Dies vor dem Hintergrund einer bestmöglichen, fachbezogenen Versorgung und um dem Problem des „Verstopfens“ der Notaufnahme („overcrowding“) vorzubeugen. In den Zusammenhang besteht das Ziel und die Herausforderung der (Ärzte auf den) Stationen darin, die Liegezeiten der Patienten so gering wie möglich, aber so lange wie nötig auszugestalten (keine blutige Entlassung im Sinne der Entgeltregelungen).

Bei der Aufnahmeplanung der Stationen ergeben sich folgende Planungsprobleme:

- Es liegt Ungewissheit vor, wie viele Patienten mit welchen Beschwerden oder Erkrankungsbild zu welcher Uhrzeit aus anderen Fachbereichen oder von der Notaufnahmestation an die kardiologischen Normalstationen verwiesen werden und damit ggf. die Kapazitäten für geplante Patienten beanspruchen.
- Zum Zeitpunkt der Aufnahme der Patienten besteht weitestgehend Ungewissheit hinsichtlich des Behandlungsverlaufs (z.B. Aufnahme wegen Schmerzen in der Brust).
- Die Liegezeit der Patienten ist im Voraus unbestimmt, da jeder Patient anders auf Behandlungen reagiert und eine andere Vorgeschichte mit entsprechenden weiteren Erkrankungen haben kann (Multimorbidität). Darüber hinaus können Verzögerungen im zeitlichen Verlauf der Maßnahmen (schlechte Terminverfügbarkeiten) zu längeren Liegezeiten führen.
- Es besteht im Voraus Ungewissheit dahingehend, welche Patienten welche über den Standard hinausgehenden (Vor-)Untersuchungen bedürfen und zu welchem Zeitpunkt die Abklärungen und Vorbereitungen abgeschlossen sind. Wann welche Fachuntersuchungen, Behandlung erfolgt, wird von den Ärzten der Station festgelegt (Aufstellung des Maßnahmenplans) und terminlich zum Zeitpunkt des Bedarfs angefragt. Dies betrifft sowohl elektive wie auch nicht-elektive Patienten.
- Auch besteht z.B. in Einrichtung 2 Unklarheit hinsichtlich des Zeitpunkts, zu welchem die für das HKL erforderlichen Voruntersuchungen abgeschlossen sein müssen, da keine zeitliche Vorausplanung im HKL erfolgt⁷⁴.

⁷⁴ Zum HKL-Termin müssen alle Voruntersuchungen und Vorbereitungen am Patienten abgeschlossen sein, um keine Verzögerungen im Ablauf des HKLs und damit ggf. Leerstände im HKL zu erzeugen.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

- Am Wochenende werden die Personalkapazitäten auf den Normalstationen reduziert, in Verbindung mit der Vorgabe, die Anzahl der Patienten auf der Normalstation über das Wochenende zu minimieren.

Im Folgenden wird das planerische Problemumfeld basierend auf den verschiedenen Patientenquellen aus Sicht der kard. Stationen grafisch dargestellt und nach den Planbarkeiten differenziert (siehe Abb. 71).

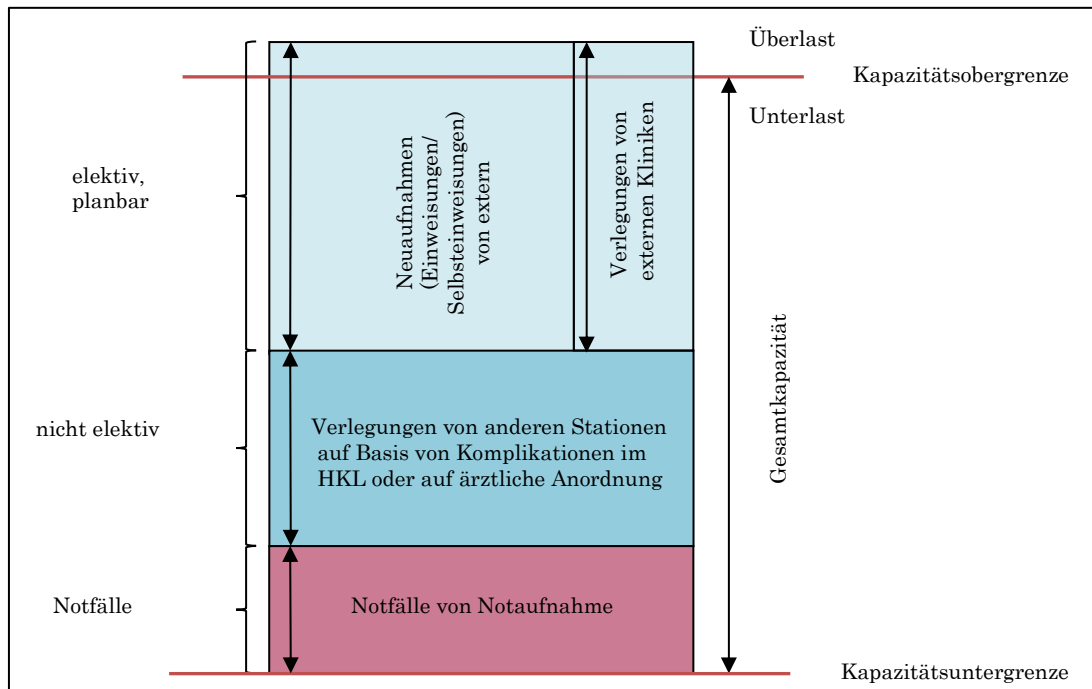


Abb. 71: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen auf den Stationen

Grundsätzlich gibt es neben den im Voraus planbaren Patienten auch nicht geplante Fälle auf den Stationen. Diese treten bei Verlegungen im Haus auf, im Speziellen aus der Notaufnahme und aus dem HKL. Gemessen an den Bewegungsdaten⁷⁵ sind auf den kard. Stationen in Einrichtung 2 allein 43,34 % der Aufnahmen Verlegungen aus der Notaufnahme. In 53,17 % der Fälle wurden interne Verlegungsanfragen abgelehnt. Eine Ablehnung der Verlegung ist, bei freien Bettenressourcen auf der betreffenden Station, kaum möglich. Hintergrund ist das Ziel der Notaufnahmestation, die dortigen Behandlungsplätze zeitnah freizubekommen und dem Ziel einer adäquaten Weiterversorgung der Patienten. Dies wiegt höher als das Bestreben der kard. Aufnahmestationen, Betten für elektive Patienten freizuhalten. Hierunter ist zu verstehen, dass kardiologische Patienten auch auf einer kardiologischen Station aufgenommen und betreut werden sollen. Nur hier sind

⁷⁵ Kennzahlen auf Basis der durchgeführten Datenerhebung. Auswertung über 99 Tage bei 521 dokumentierten Anfragen.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

sowohl das Fachwissen als auch die entsprechenden Geräte, z.B. zur Monitorüberwachung, vorhanden. Wie sich zeigt, ist bei fachfremder Pflege das Risiko von Fehlern höher und damit verbunden steigt die Liegezeit der Patienten [Brownson & Dowd 1997, S. 10 f.]. Dies wird auf die fehlende fachspezifische Qualifikationen zurückgeführt [Brownson & Dowd 1997]. Das Ziel ist demnach, eine verlässliche Planung hinsichtlich der elektiven Aufnahmen und Entlassungen, welche die nicht-elektiven Aufnahmen von Notfällen und Zugängen durch Verlegungen ermöglicht sowie die Kapazitätsobergrenze nicht überschreitet. Darüber hinaus bedarf es einer Wissensbasis hinsichtlich dessen, wann welcher Patient im HKL zur Untersuchung vorgesehen ist. Anhand dieser kann eine zeitlich verlässliche Vorbereitung und Abklärung des Patienten erfolgen.

Der typische Verlauf der Auslastung auf den kardiologischen Stationen ist, wie dies auch im HKL festgestellt wurde, zum Wochenanfang eher geringer und nimmt zur Wochenmitte zu (teilweise mit Überlastung). Zum Wochenende hin nimmt die Auslastung, bedingt durch mehr Entlassungen, wieder ab (siehe Abb. 62 in Unterabschnitt 6.3.2 und Abb. 74 im Abschnitt 7.2 (e)).

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, werden für die kard. Normalstationen, als wesentliche Optimierungsziele gesehen:

- Maximierung der Anzahl elektiver Patientenaufnahmen,
- Minimierung der Wartezeit elektiver Patienten auf ein Bett (am Aufnahmetag),
- Minimierung von Wartezeit bedingten Liegezeiten der Patienten,
- Minimierung abgelehnter Verlegungen, z.B. von der Notaufnahmestation,
- Minimierung der Patientenzahlen am Wochenende,
- eine gleichmäßige Auslastung der Stationsbelegung im Wochenverlauf und
- die Einbeziehung nachgelagerter Ressourcen (z.B. ECHO, EKG, HKL) bei der Aufnahmeplanung.

(d) Funktionsbereiche Elektro- und Echokardiografie

Das Ziel der Funktionsbereiche Elektro- und Echokardiografie besteht darin, die eintreffenden Patienten so schnell wie möglich der angeordneten Untersuchung zu unterziehen.⁷⁶ Die Patienten kommen von allein zum Funktionsbereich oder werden mit dem Transportdienst dahin gebracht. Notfälle treten hier i.d.R. nicht auf. Sofern von Notfällen gesprochen werden kann, handelt es sich hierbei um kurzfristig

⁷⁶ Wie sich in der Prozess- und Datenerhebung gezeigt hat, steht die Termineinhaltung aus Sicht der Funktionsbereiche Echo/EKG nicht im Vordergrund.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

durchzuführende Untersuchungen (nicht-elektiv), welche auch aus der Notaufnahme kommen können.

Die (Termin-)Anforderungen zur Durchführung einer Fachuntersuchung kommen i.d.R. von den Ärzten der Stationen oder den Ambulanzärzten, verbunden mit dem Wunsch einer möglichst zeitnahen Umsetzung.

Das Problem dieser Funktionsbereiche in der Planung besteht darin, dass nicht vorhergesagt werden kann:

- wie viele elektive Anforderungen / nicht-elektive Patienten (speziell aus der kard. Ambulanz) zu welchem Zeitpunkt im EKG/Echo eintreffen.
- welcher Patient welchen weiteren Behandlungsverlauf hat, um evtl. eine Priorisierung abzuleiten.
- wie lange eine EKG-/ Echo-Maßnahme dauert, da es jederzeit zu patientenbezogenen Abweichungen (z.B. Komplikationen) kommen kann.

So ergab sich z.B. für die Einrichtung 3, dass mittels einer Stichprobe⁷⁷ von 1209 Patienten über einen Zeitraum von 34 Arbeitstagen, im Mittel pro Tag 29,94 % der Untersuchungen erst am Tag der Untersuchung (nicht-elektiv) zum ECHO angemeldet wurden. Bei diesen Patienten handelt es sich nicht um Notfälle. Als Ursache wurde aufgeführt, dass der nächst mögliche Termin aus Sicht der Anforderer zu spät sei und mit Nachfolgeterminen, z.B. im HKL, nicht zu vereinbaren gewesen wäre. Auch bei der Elektrokardiografie zeigte sich z.B. in Einrichtung 3, bei einer Stichprobe⁷⁸ von 305 Patienten über 35 Arbeitstage waren 82,9 % der Untersuchungen am Tag der Untersuchung angefordert wurden. Da diesen aber weitestgehend ein Termin am selbigen Tag zugeteilt werden konnte, kann damit das EKG grundsätzlich nicht als Engpass gesehen werden. Die Auswertung der Stichprobe ergab ferner, dass 51,8 % der Patienten von den Ambulanzen entsendet wurden und damit als nicht-elektive Patienten (ohne Termin) zu sehen sind. Da deren Dauer des Aufenthaltes befristet ist (keine Übernachtung in der Klinik), kollidiert diese Masse an ambulanten Patienten zu den Stoßzeiten der kard. Ambulanzen mit den stationären Patienten. Damit ist auch hier eine Vorausplanung erforderlich. Erschwerend für die Planung kommt hinzu, dass in den Funktionsbereichen unterschiedliche Ressourcen (Echo-/EKG-Geräte) vorhanden sind, welche je nach durchzuführender Maßnahme eingesetzt werden. Die jeweiligen Erfordernisse wurden bereits erhoben.

⁷⁷ Mittels einer geführten Strichliste im Funktionsbereich.

⁷⁸ Mittels Erhebungsbogen EKG (siehe Anhang A36).

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Das planerische Problemumfeld ist in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht (siehe Abb. 72).

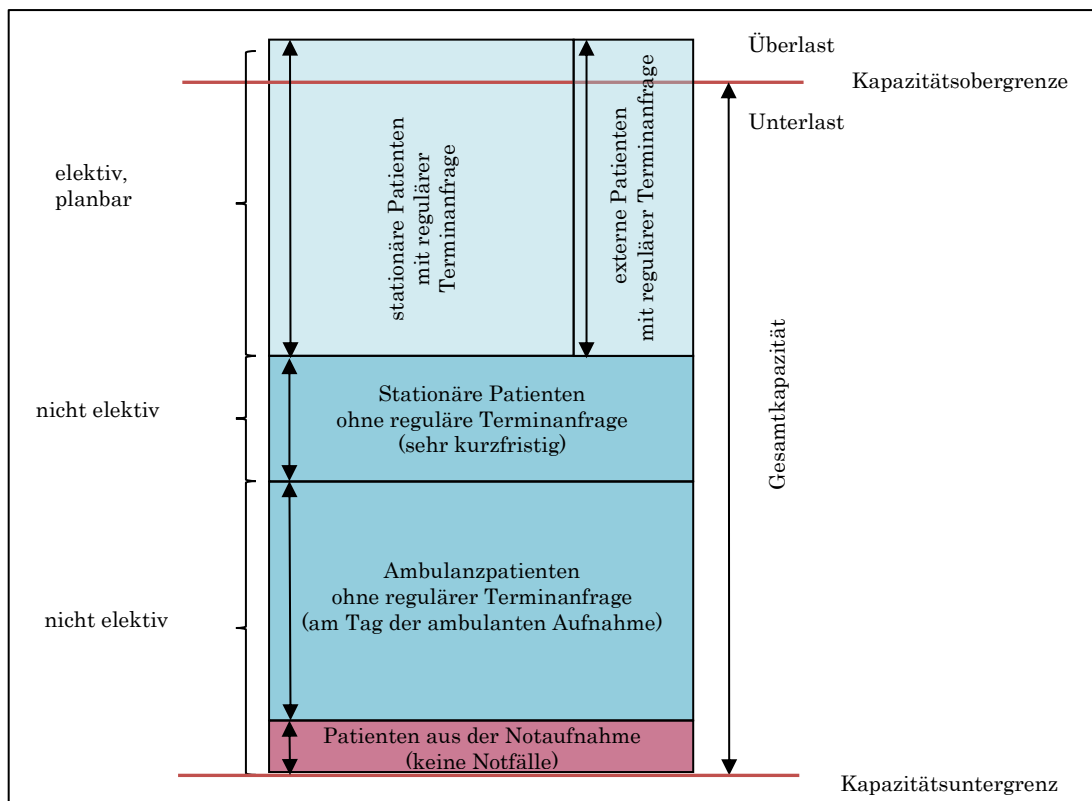


Abb. 72: Planerisches Problemumfeld bezogen auf die Elektro- und Echokardiografie

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, werden für die Funktionsbereiche EKG und ECHO als wesentliche Optimierungsziele festgehalten:

- Maximierung der Gesamtanzahl durchgeführter Maßnahmen,
- Minimierung der Wartezeit nicht-elektiver Patienten,
- Minimierung der Terminabweichungen elektiver Patienten und
- eine gleichmäßige Auslastung in den Funktionsbereichen über den Tag und im Wochenverlauf.

(e) Herzkatheterlabore (OP-Bereich)

Das Herzkatheterlabor verfolgt das Ziel, alle erforderlichen Untersuchungen und Behandlungen medizinisch erfolgreich und im Sinne der Verbesserung des Wohlergehens der Patienten durchzuführen. Hierzu wird ein reibungsloser Ablauf angestrebt, welcher auch die vorbereitenden Maßnahmen in vorgelagerten Fach- und Funktionsbereichen beinhaltet (z.B. Laboruntersuchungen, EKG-, ECHO-Maßnahmen). Bezogen auf die Reihenfolge der Patienten, wird eine verlässliche Vorausplanung und Transparenz von den Stationen gewünscht. Verschiebungen von Untersuchungen, im Speziellen auf einen anderen Tag, sollten nach Möglichkeit nicht vorkommen.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Das zugrunde liegende Problem ist in allen betrachteten Einrichtungen darin zu sehen, dass das HKL mit diversen Einflussfaktoren und Störfaktoren konfrontiert wird, welche den reibungslosen Ablauf, eine verlässliche Vorausplanung und eine optimale Auslastung erschweren oder gar verhindern. Dies führt zu unnötigen Wartezeiten bei den Patienten resp. Leerständen im HKL. Zu diesen Störfaktoren zählen u.a.:

- Art, Umfang und Zeitpunkt des (stochastisches) Auftretens von Notfällen, die aus der Notaufnahme eintreffen oder von anderen internen Stationen gemeldet werden, sind unbekannt.
- Es gibt teilweise unbestimmte Zustände der für die Behandlung im HKL vorgesehenen elektiven Patienten (in Bezug auf körperliche Zustände sowie Stand der Durchführung erforderlicher Voruntersuchungen/Vorbereitungen).
- Es gibt teils kurzfristige Anmeldungen unter dem Tage.
- Es gibt teilweise große Abweichungen in der Dauer der Maßnahmen. Die Dauer einer Untersuchung ist im Voraus nicht bekannt, es gibt lediglich Schätzwerte, die auf der Erfahrung des ärztlichen Personals beruhen. Es können jederzeit Komplikationen auftreten, welche die zeitliche Dauer der Maßnahme beeinflussen.
- Zusätzlich können ggf. elektiv ambulante Patienten von ext. Kliniken auftreten (Einrichtung 2). Hierbei handelt es sich um HKL-Fälle, welche nur zum Zweck der HKL-Maßnahme fertig vorbereitet, teils mit eigenem Katheterarzt, an die Klinik überstellt werden. Im Anschluss an die Maßnahme werden die Patienten an die entsendende Klinik zurückgeführt, sofern es zu keinen Komplikationen kam und diese stationär aufgenommen werden müssen. Diese treten zwar elektiv auf, wirken aber dennoch erschwerend für die Planung.
- Hinzu kommt, dass die Herzkatheterlabore unterschiedlich ausgestattet sind und maßnahmenspezifisch genutzt werden.

Im Folgenden wird das planerische Problemumfeld, basierend auf den verschiedenen Patientenquellen, aus Sicht des HKL grafisch dargestellt und nach Planbarkeiten (elektiv/nicht-elektiv) differenziert (siehe Abb. 73).

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

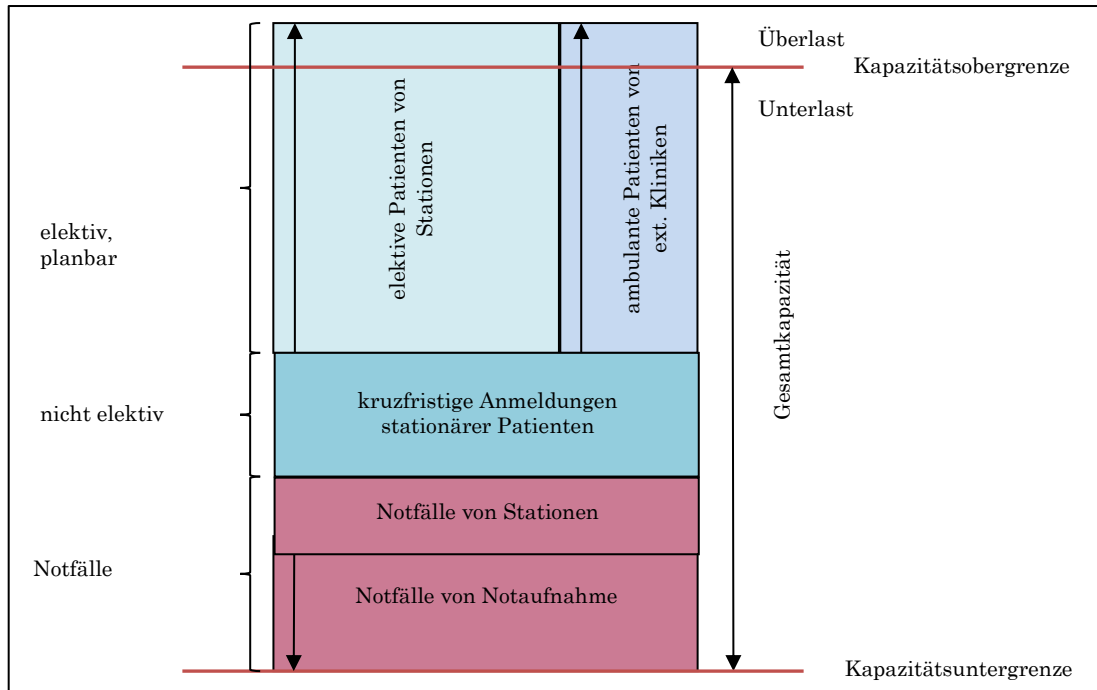
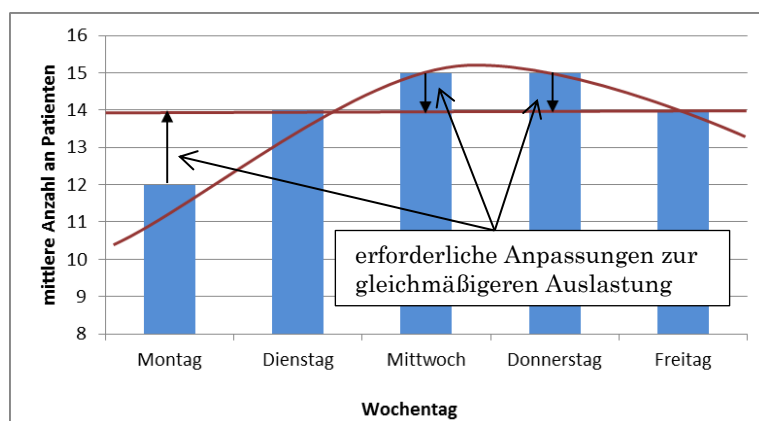


Abb. 73: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen im HKL

Das Ziel ist demnach eine verlässliche Planung zu erreichen, welche die Kapazitätsgrenze nicht überschreitet und gleichzeitig die Behandlung der Notfälle, sofern diese auftreten, ermöglicht, ohne Patienten für den geplanten Tag abzusetzen. Würde diese Planung allein bezogen auf das HKL erfolgen, wäre – wie die Realität zeigt – das HKL der Herausforderung, eine verlässliche Planung zu erstellen, nicht gewachsen. So zeigt die Auslastung der HKLs im Wochenverlauf deutliche Schwankungen, geprägt von einer Delle zum Wochenbeginn und eine Zunahme zur Wochenmitte (siehe Abb. 74).



Datenquelle: Bewegungsdaten des SAP IS-H*med, Patienten im Umfang von 1 Jahr
Abb. 74: Typische Belegung des HKL im Wochenverlauf am Beispiel der Einrichtung 3

Um diesem entgegenzuwirken, muss der Zufluss an elektiven Patienten zu den Stationen an die Kapazitäten im HKL angepasst werden. Zudem bedarf es einer

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

Wissensbasis über den zu erwartenden Umfang an Notfällen und der zu erwartenden die Dauer einer jeweiligen Untersuchung, um eine verlässliche Planung zu erreichen. Ferner bedarf es einer verlässlichen Vorbereitung und Abklärung der Patienten in den vorgelagerten Fach- und Funktionsbereichen, um eine etwaige Planung auch termingerecht umsetzen zu können. Hierzu ist (Termin-)Transparenz erforderlich, wann welcher Patient fertig vorbereitet sein muss.

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, werden für das HKL als wesentliche Optimierungsziele festgehalten:

- Maximierung der Anzahl durchgeführter Maßnahmen,
- Minimierung des Leerstands,
- Minimierung von Mehrarbeit und Überlast,
- Minimierung von Terminabweichungen bei elektiven Patienten,
- Minimierung der Wartezeit bei nicht-elektiven Patienten und Notfällen,
- gleichmäßige Auslastung im Wochenverlauf und
- ambulanten Fälle (von extern) werden in der Anzahl konstant gehalten oder erhöht.

(f) Notaufnahme

Die Notaufnahme verfolgt das Ziel (Versorgungs- und Behandlungsauftrag), die eintreffenden Notfälle zu steuern (Patiententriage), in der dem Notfall erforderlichen Kürze der Zeit adäquat zu therapieren, die Patienten zu stabilisieren und zu betreuen, bis diese wieder entlassen oder verlegt werden können. Hiermit verbunden besteht das ressourcenbezogene Ziel der Notaufnahme darin, zur richtigen Zeit genügend Behandlungsplätze verfügbar zu haben, um dem stochastischen Zufluss an Notfällen gerecht zu werden. Entsprechend dazu ist eine ausreichende Anzahl an verfügbaren, nachgelagerten Stationsbetten erforderlich, um das „Verstopfens“ der Notaufnahme („overcrowding“) zu verhindern. Z.B. verfolgt die Notaufnahmestation der Einrichtung 2 das konkrete Ziel, die Patienten nicht länger als 6 Stunden auf der Notfallstation zu belassen, um den Zulauf an Notfällen gerecht zu werden. Eine Auswertung der erhobenen Daten zeigte, dass bei 32,74 % der Fälle die Vorgabe überschritten wurde. Davon sind 29,08 % mit verspäteter Verlegung (stationäre Fälle). Als Hauptgrund hierfür wird benannt, dass nachgelagerte Stationen belegt sind und eine Verlegung zu diesen nicht möglich war. Dieser Sachverhalt ist insofern problematisch, als das durch die begrenzte Verlegungsmöglichkeit der Patienten im Haus, keine ausreichenden Möglichkeiten zur Aufnahme weiterer akuter Notfälle besteht. Auf dieses Problem weisen auch Helm & van Oyen hin [2014, S. 2]. Kliniken der Maximalversorgung sind jedoch verpflichtet alle Notfälle zu behandeln. Dies

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

mündet darin, dass die Notfallstation gezwungen ist mit sogenannten „Flurbetten“⁷⁹ zu agieren (siehe Abb. 75).



Abb. 75: Flurbetten der Notaufnahmestation – Einrichtung 2

Sofern im Falle der vollständigen Belegung der regulären Behandlungsplätze ein weiterer, überwachungspflichtiger Notfall hinzukommt, besteht für die Notaufnahmestation keine Möglichkeit, diesen adäquat zu behandeln, ohne evtl. einen anderen Patienten zu verlegen oder (ggf. vorzeitig) zu entlassen.

Eine Besonderheit, welche hier noch zusätzlich einwirkt stellen Patientenverlegungen von externen Kliniken dar. Sofern die Bettenkapazitäten auf den Normalstationen eine Aufnahme nicht ermöglichen, wird die Notaufnahme als Puffer genutzt und über derartige Verlegungen im Vorfeld nicht informiert. Entsprechend sollten diese Fälle minimiert resp. komplett vermieden werden.

Die nachfolgende Darstellung veranschaulicht das planerische Problemumfeld bezogen auf die Patientenquellen aus Sicht der Notaufnahmestation (siehe Abb. 76).

⁷⁹ Flurbetten bezeichnen Betten, welche sich auf dem Gang befinden, entsprechend nicht mit Überwachungssystemen ausgestattet sind, wie die regulären Notfallzimmer. Eine Betreuung und Überwachung des Patienten kann hier nur eingeschränkt erfolgen.

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

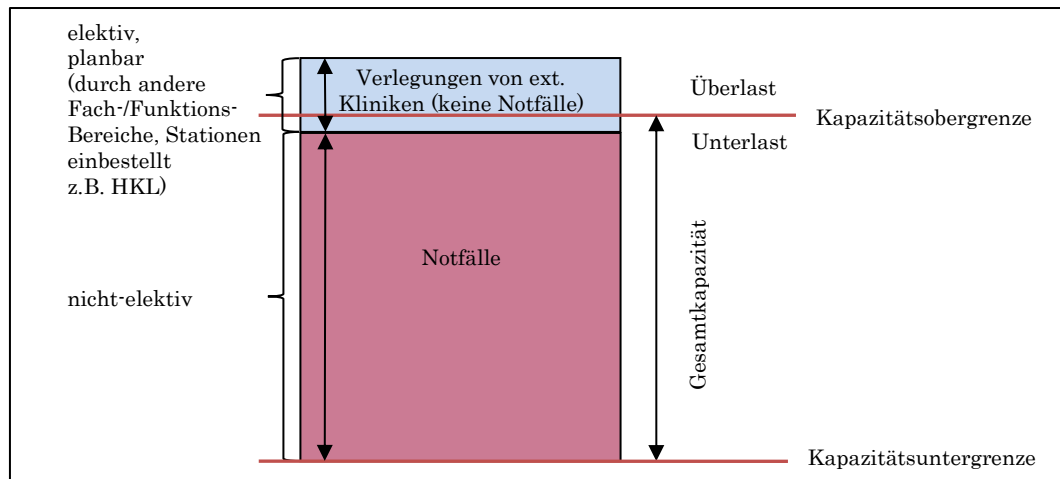


Abb. 76: Planerisches Problemumfeld bezogen auf Patientenquellen in der Notaufnahme

Nachfolgend sind die Planungsprobleme des Fachbereichs zusammengefasst:

- Es besteht Ungewissheit, wie viele Notfälle mit welchen Beschwerden oder Erkrankungsbild zu welcher Uhrzeit auftreten.
- Es besteht Ungewissheit, wie viele Verlegungen von externen Kliniken in der Notaufnahme auflaufen, welche nicht sofort im Haus abgesetzt werden können (Zwischenpufferung).
- Ebenso besteht Unklarheit hinsichtlich der erforderlichen Behandlungsdauer bis zur Stabilisierung oder ausreichenden Versorgung der Patienten.
- Darüber hinaus besteht Ungewissheit hinsichtlich der Möglichkeit und dem Zeitpunkt der Entlassung resp. Verlegung der Patienten auf die Normal-/Intensivstationen, um entsprechende Behandlungsplätze frei zu bekommen.

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, wird für die Notaufnahme als wesentliches Optimierungsziel festgehalten:

- Optimale Verfügbarkeit von Bettenkapazitäten, um erforderliche Verlegungen im Haus zeitnah durchzuführen.

(g) Kardiologische Ambulanz

Als Ziel der kard. Ambulanz kann die medizinische Versorgung, meist in Bezug auf eine unbestimmte Symptomatik, verbunden mit einer Abklärung und Diagnostik, wie auch eine wiederkehrende Überwachung der Patienten in regelmäßigen Terminen, gesehen werden.

In der allgemeinen kardiologischen Ambulanz werden, wie der Name bereits andeutet, nicht spezifische, kardiologische Patienten ambulant untersucht und behandelt. Die kard. Ambulanz, in der hier vorgefundenen Ausprägung, eine rein elektive Patientenversorgung. Notfälle treten nicht auf, sofern sich dies nicht im Behandlungsverlauf eintritt. Nicht-elektive Patienten (z.B. walk-ins) treten nur auf,

7. Überblick bereichsbezogener Optimierungsziele und verbundene Planungsprobleme

wenn ein Patient seinen Termin versäumt hat und am jeweiligen Tag doch noch erscheint.

Planungsprobleme sind darin zu sehen, dass:

- unpünktliches Auftreten oder gar gänzlichliches Ausbleiben des Patienten zum Termin (no-show),
- unbestimmte Länge eines Arztgespräches sowie
- im Voraus i.d.R. unbekannter Umfang an Untersuchungen, die vom jeweiligen Patienten am Tag des Termins noch zu absolvieren sind.

Spezifische Planungsprobleme der ambulanten Patienten sind auch im Gesamtablauf des Aufenthaltes zu sehen. Der jeweilige (ambulante) Aufenthalt sieht i.d.R. eine bis mehrere Untersuchungen im weiteren Verlauf vor. Der Aufenthalt ist zeitlich auf den Aufnahmetag beschränkt, da der Patient nicht stationär aufgenommen wurde. Hieraus ergibt sich das Erfordernis, dass die Patienten nach Möglichkeit alle Untersuchungsmaßnahmen am Aufnahmetag abgeschlossen haben. Zudem sind die Maßnahmenanforderungen sehr kurzfristig (nicht-elektiv) und konkurrieren mit den stationären Patienten um die Ressourcen.

Bezogen auf die vorliegende Arbeit, werden für die kard. Ambulanz als wesentliches Optimierungsziel festgehalten

- Maximierung der Anzahl an Patienten,
- Minimierung der Wartezeiten und der Durchlaufzeiten der Patienten
- Minimierung der Terminabweichungen,
- Abschluss aller angeordneten Untersuchungsmaßnahmen am Aufnahmetag sowie
- die Einbeziehung nachgelagerter Ressourcenerfordernisse (EKG, ECHO) in der Aufnahmeplanung.

8. Auswahl des Optimierungsverfahrens

In diesem Kapitel wird die Auswahl des einzusetzenden Optimierungsverfahrens beschrieben. Weicker [2007, S. 121] und Gerdes et al. [2004, S. 1] führen aus, dass das Wissen über die Struktur des Problems in die Auswahl einfließen muss und sofern problemspezifische Optimierungsverfahren existieren, diese in der Auswahl vorzuziehen sind [Weicker 2007, S. 42; Gerdes et al. 2004, S. 3]. Die Auswahl des Optimierungsverfahrens erfolgt dem folgend hier in Abhängigkeit von:

- der Zielstellung der vorliegenden Arbeit und
- dem Vorhandensein problemspezifischer Optimierungsverfahren.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Termin- und Reihenfolgeplanung, welche abteilungsübergreifend betrachtet wird. Es wurden dahingehend bereits im vorhergehenden Kapitel 7 die Optimierungsziele konkretisiert. Darüber hinaus wurden Prozesse, Strukturen, Ressourcen und Daten im Realsystem erfasst. Es kann somit an dieser Stelle gesagt werden, dass die von Gerdes et al. und Weicker als erforderlich angeführte Wissensbasis zur Auswahl eines Verfahrens vorliegt.

Als Rahmen für die weitere Arbeit wurde bereits die Notwendigkeit festgehalten, dass Patienten keinesfalls im Zuge der Optimierung einer Gefährdung ausgesetzt werden dürfen (siehe Abschnitt 7.1 (a)). Um dem vorzubeugen, wird die durchzuführende Optimierung an einem aufzustellenden Modell ausgeführt. Modelle können rein mathematischer oder grafisch-mathematischer Natur sein (siehe Unterabschnitt 2.4.2). Die Optimierung derer kann auf analytischem (exakt) oder heuristischem Wege (näherungsweise) erfolgen. Wie aufgezeigt wurde, sind Reihenfolgeprobleme, z.B. im Bereich der Belegung einer Maschinenfolge oder in Bezug auf das Beispiel des Handlungsreisenden, nur in begrenztem Umfang exakt analytisch lösbar. Um analytische Lösungsverfahren einsetzen zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden (siehe Abschnitt 4.9 allgemein sowie Abschnitt 2.3 in Bezug auf die Reihenfolgeplanung). Diese werden in der vorliegenden Arbeit, u.a. durch die Vielzahl an zu berücksichtigenden Nebenbedingungen (Detailkomplexität), das hoch dynamische und stochastische Verhalten (Dynamische Komplexität), dem umfangreichen Betrachtungsgegenstand (abteilungsübergreifend) sowie die damit einhergehende Problemstellung der mathematischen Abbildung nicht als gegeben angesehen. Als Möglichkeit zur Lösung wurde auf den Einsatz von Heuristiken sowie die Simulationsmethodik eingegangen (siehe Kapitel 4 zu den Grundlagen der Simulation und Optimierung mit dieser). Die Simulation ist geeignet, um versuchsweise Lösungen und deren Effekte auf das Modell auszutesten, ohne das Realsystem zu beeinflussen oder Patienten zu gefährden. Dies ist ein entscheidender Punkt, warum in der vorliegenden Arbeit die Simulation als Ansatz zur Optimierung gewählt wird. Dennoch könnten auch im Bereich der Heuristiken spezifische

Optimierungsverfahren vorliegen, welche hier vorzuziehen wären. Im Rahmen der Literaturrecherche (siehe Kapitel 3) konnten keine problemspezifischen Optimierungsverfahren identifiziert werden. Mangels exakter Lösungsverfahren, bedienen sich die Ansätze mit zunehmender Komplexität diverser Heuristiken und Metaheuristiken. Hierbei sind mathematische als auch zunehmend grafisch-mathematische Simulationsmodelle gegenständlich. Grafisch-mathematische Modelle bieten sich an, da hiermit eine einfache Modellerstellung einhergeht und diese bereits ebenso erfolgreich zur Reihenfolgeoptimierung im klinischen Umfeld eingesetzt wurden (siehe hierzu beispielhaft [Kühn 2006, 2007; Salzwedel et al. 2007]).

8.1 Probleme beim direkten Vergleich von Optimierungsheuristiken

Bezogen auf das einzusetzende Optimierungsverfahren wird auch in der vorliegenden Arbeit, mangels eines exakten Lösungsverfahrens, auf heuristische Verfahren abgestellt. Diesbezüglich wurden bereits verschiedene Heuristiken und Metaheuristiken vorgestellt (siehe hierzu Abschnitte 2.3, 4.9 und Kapitel 3 in Bezug auf den konkreten Einsatz). Welches Verfahren vorzuziehen ist, lässt sich an dieser Stelle nicht beantworten. Es wurden jedoch bereits die Vorteile der Metaheuristiken ausgeführt, u.a. in Bezug auf die Robustheit und die Fähigkeit auch lokale Optima zu überwinden (siehe Abschnitt 4.9).

Ein direkter Vergleich einzelner Verfahren und eine qualitative Beurteilung sind nicht ohne weiteres möglich. Ist beabsichtigt, verschiedene (Meta-)Heuristiken zur Optimierung hinsichtlich ihrer Merkmale direkt miteinander zu vergleichen, treten unweigerlich einige Probleme und zu erfüllende Voraussetzungen auf. Die problemspezifische Einsetzbarkeit der im Vergleich stehenden Optimierungsverfahren vorausgesetzt, sind diese u.a.:

- im Voraus eindeutig definierte und gleichbleibende Problemstellungen,
- gleichbleibende Abbildung des Problems- und des Problemumfeldes,
- vordefinierte und gleichbleibende Parametrisierung,
- eindeutige Mess- und Vergleichskriterien und
- statistische Streuung der Messergebnisse.

Zunächst ist die Problemstellung eindeutig zu definieren. Dies ist eine unveränderliche Vergleichsgrundlage über alle im Vergleich stehenden Optimierungsverfahren hinweg. Zum Vergleich der Verfahren muss eine repräsentative, vergleichbare und gleichbleibende Ausgangsbasis der Abbildung des Problemfeldes gefunden werden (z.B. ein Optimierungsmodell). Die Schwierigkeit liegt u.a. darin, für die unterschiedlichen Ansätze und Architekturen der Optimierungsverfahren, z.B. in der Art der Abbildung der Umwelt und ihrer Einflüsse, eine einheitliche Ausgangsbasis zu schaffen. Die Art der Abbildung kann die

8. Auswahl des Optimierungsverfahrens

Qualität der Lösung wie auch die Effizienz der verschiedenen Verfahren beeinflussen und u.U. ein Verfahren benachteiligen, weil die Problemformulierung nicht verfahrensspezifisch gewählt wurde. Bei den verschiedenen Optimierungsverfahren treten (Kontroll-) Parameter in Erscheinung, welche sich je Optimierungsverfahren in ihrer Art und Wirkung unterscheiden, was eine gleichbleibende Verwendung weitestgehend unmöglich macht und direkte Vergleiche erschwert. Diese Parameter sind Eingangswerte, welche variiert werden können und so maßgeblich das Ergebnis beeinflussen. Eine Möglichkeit, die Verfahren dennoch einem sinnvollen Vergleich zu unterziehen, besteht darin, diese mit den jeweils besten Parametersets zu vergleichen [Hackl 2000, S. 62]. Bei nichtdeterministischen Verfahren oder bei einer Vielzahl an Parametern stellt dies selbst bereits ein komplexes Optimierungsproblem dar [Hackl 2000, S. 62]. Umso geringer die Einflussnahme durch Parameter ist, umso robuster bezeichnet man einen Algorithmus. Hinsichtlich der Optimierungsdauer (also der Laufzeit der Suche) ist anzumerken, dass auch dies für einen Vergleich bedeutsam ist. So tendiert ein Suchalgorithmus mit zunehmender Zeit zu immer besseren Ergebnissen⁸⁰. Somit gilt es, feste Schranken hinsichtlich der Laufzeit resp. zu erreichender Güte zu definieren. Es wird die erreichte Güte, welche innerhalb der Laufzeit resp. die Laufzeit bis zur Erreichung der definierten Güte, ermittelt. Die Ergebnisse welche vom Optimierungsverfahren erreicht wurden, werden verglichen [Hackl 2000, S. 63]. Das heißt, es werden eindeutige Mess- und Vergleichskriterien benötigt. Hierzu zählt auch der Aufbau gleicher Testszenarien, welche mit den im Vergleich stehenden Verfahren durchlaufen werden. Werden nichtdeterministische Verfahren verglichen, welche auf Zufallsfolgen zurückgreifen, oder beinhaltet das gegenständliche Optimierungsmodell Zufallsgrößen (z.B. Verteilungsfunktionen), ist zu beachten, dass die Ergebnisse statistischen Schwankungen unterlegen sind [Nissen 1997a, S. 114; Kosturiak & Gregor 1995, S. 67; Hackl 2000, S. 63]. Entsprechend sind für verlässliche Aussagen wiederholte Durchläufe erforderlich. Vergleiche können z.B. auf Basis von gemittelten Werten erfolgen [Hackl 2000, S. 63].

Derartige Vergleichsstudien, bezogen auf die hier vorliegende Problemstellung der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung, liegen derzeit nicht vor⁸¹. Eine Aussage dahingehend, welches (heuristische/ metaheuristische) Verfahren in der Anwendung zu empfehlen ist, weil dieses ein performanteres Lösungsverhalten aufweist oder leichter zu implementieren ist, kann unter den soeben aufgeführten Gesichtspunkten nicht pauschal getroffen werden. Auch ist die Problemstellung zu komplex und der Zeitaufwand zu groß, um selbst „nur“ die gängigen Verfahren gegeneinander auszutesten.

⁸⁰ Sofern dieser nicht in einem lokalen Optimum stecken bleibt oder auf einem Lösungsniveau stagniert.

⁸¹ Sind dem Autor zum aktuellen Zeitpunkt nicht bekannt.

8.2 Anforderungen an das heuristische Optimierungsverfahren

Im Folgenden wird versucht grundlegende Anforderungen an das zu wählende Optimierungsverfahren zusammenzutragen, um daran die Menge der einsetzbaren heuristischen Verfahren einzugrenzen.

Das zur Termin- und Reihenfolgeplanung einzusetzende Optimierungsverfahren stellt im vorliegenden Fall einen implementierten (Planungs-)Algorithmus dar, welcher auf das Softwaremodell (Simulationsmodell) angewendet wird und bestrebt sein soll, die gesetzten Zielkriterien möglichst gut zu erfüllen. Was aber macht einen guten heuristischen Algorithmus zur Termin- und Reihenfolgeplanung aus? Mit Blick auf die Ziele der vorliegenden Arbeit lassen sich einige Punkte festhalten, welche bei der Auswahl des Planungsalgorithmus berücksichtigt werden können und damit eine Eingrenzung im Bereich der Heuristiken erlaubt.

Das zur Optimierung heranzuziehende Verfahren soll nachfolgende Anforderungen erfüllen:

- auf kombinatorischen Optimierungsproblemen anwendbar sein,
- auf dynamische Modelle anwendbar sein,
- Fähigkeit zur globalen Optimierung besitzen, lokale Optima sollen überwunden werden können,
- ausschließliche Verwendung von Zielfunktionswerten (direkte Optimierung),
- Robustheit gegenüber stochastischen Zielfunktionen und Einflüssen im Modell,
- möglichst hohe Konvergenzgeschwindigkeit haben und
- möglichst hohe Konvergenzsicherheit besitzen.

Da sich das hier vorliegende Problem als kombinatorisches Optimierungsproblem darstellt (siehe Abschnitt 2.3 zum Wesen der kombinatorischen Probleme), beinhaltet die erste Anforderung, dass das gesuchte Verfahren auf diese Problemklasse anwendbar ist. Die Grundform der Heuristiken geht von statischen Entscheidungssituationen aus [Völkner 1998, S. 74]. Völkner führt diesbezüglich aus, dass diese Voraussetzungen zwar bezogen auf eine Produktionsplanung häufig zutreffen, dies aber für allgemeine Geschäftsprozesse nicht „unbedingt erfüllt ist“ [Völkner 1998, S. 74]. Es liegt keine statische Situation vor, wenn während der Bearbeitung in schwankenden Abständen weitere zu bearbeitende Objekte in das System eintreten oder bei Verzweigungen im Ablauf erst während der Bearbeitung über weitere durchzuführende Aktivitäten entschieden wird [Völkner 1998, S. 74]. Solch ein dynamisches Verhalten ist in der hier vorliegenden Problemstellung gegenständlich. Daher ist die Abbildung der realen Prozesse in einem dynamischen Modell zur Simulation und Optimierung vorgesehen. Das einzusetzende

8. Auswahl des Optimierungsverfahrens

Optimierungsverfahren muss somit auf derartige dynamische Modelle angewendet werden können. Ferner wurde festgestellt, dass einfache Heuristiken, bei komplexen Lösungsräumen mit mehreren Optima, nicht in der Lage sind, ein gefundenes lokales Optimum zu überwinden (siehe Unterabschnitt 4.9.1). Daher wird ein Verfahren gesucht, welches die Fähigkeit zur globalen Optimierung besitzt. Die Anforderung zu direkter Optimierung bezeichnet eine Optimierung, welche ausschließlich an den Zielfunktionswerten ausgerichtet ist [Hammel & Bäck 1998, S. 2]. Dies bedingt, dass sich die problemspezifischen Zielkriterien in einer Zielfunktion (Gütefunktion) abbilden lassen und darüber hinaus keine weiteren analytischen Informationen über die Gütefunktion erforderlich sind. Damit wird die Automatisierung der Optimierung ermöglicht [Hammel & Bäck 1998, S. 2]. Unter dem Gesichtspunkt der Möglichkeit zur automatisierten Suche nach dem Optimum, wird dies als Anforderung an das Optimierungsverfahren aufgenommen, wenn gleich die Bedingung der Abbildung der Zielkriterien auf eine Gütefunktion daran geknüpft ist. Bei dem avisierten Modellaufbau sind stochastische Elemente gegenständlich. Nichtdeterministische Simulationsmodelle führen zu stochastischen Optimierungsaufgaben [Hammel & Bäck 1998, S. 19]. Eine stochastische Optimierung toleriert Ungewissheit als Modellbestandteil. Auf der Basis können dann realistische und verlässliche Entscheidungsgrundlagen und Erkenntnisse über das Realsystem gewonnen werden. Dahingehend bedarf es robuster Verfahren, welche eine möglichst geringe Einflussnahme der Parameter und Zielfunktionen auf das Optimierungsverhalten haben. Umso geringer die Einflussnahme, umso robuster bezeichnet man einen Algorithmus [Hackl 2000, S. 62]. Eine weitere Anforderung stellt die Konvergenzgeschwindigkeit dar. Hierbei handelt es sich um den „Erwartungswert der Veränderung des Abstands zum Optimum“ [Hammel & Bäck 1998, S. 15] und kann als „Maß für die lokalen Sucheigenschaften eines Algorithmus verstanden werden“ [Hammel & Bäck 1998, S. 15]. Konvergenzsicherheit liegt vor, wenn für einen Algorithmus „theoretisch nachgewiesen werden kann, daß der Algorithmus zu gegebener Zielfunktion $F : M \rightarrow \mathbb{R}$ eine global optimale Lösung x^* liefert.“ [Hammel & Bäck 1998, S. 17]. Die Aussagen betreffend der Konvergenzgeschwindigkeit wie auch der Konvergenzsicherheit sind theoretische Größen „...von begrenztem praktischen Nutzen und können den experimentellen Entwurf und die Validierung der Algorithmen nicht ersetzen.“ [Hammel & Bäck 1998, S. 15].

Auf der Basis der aufgestellten Auswahlkriterien, im Speziellen durch die breite Anwendbarkeit und die Fähigkeit zur globalen Optimierung, werden die Metaheuristiken als einzig zielführend angesehen und im Weiteren hinsichtlich der Einsetzbarkeit zur Termin- und Reihenfolgeplanung näher betrachtet. Hierbei wird der Fokus auf die Evolutionären Algorithmen gelegt. Wie bereits gezeigt wurde, gibt

es diverse Arbeiten, welche Metaheuristiken erfolgreich zur Termin- und Reihenfolgeplanung einsetzen (siehe Kapitel 3).

8.3 Evolutionäre Algorithmen zur Termin- & Reihenfolgeplanung

Auf die Gruppe der Evolutionären Algorithmen wurde bereits in Unterabschnitt 4.9.2 eingegangen und im Zuge dessen das Wesen der Metaheuristiken erläutert. An dieser Stelle werden die Evolutionären Algorithmen hinsichtlich der Erfüllung der im vorherigen Abschnitt aufgestellten Anforderungen betrachtet.

(a) Auf kombinatorischen Optimierungsproblemen anwendbar

Evolutionäre Algorithmen sind nicht problemspezifisch. Kombinatorische Optimierungsprobleme sind ein nicht seltener Optimierungsgegenstand. Es finden sich eine Reihe praktischer Anwendungen und anwendungsorientierte Forschungsprojekte [Nissen 1997a, S. 259] (siehe Kapitel 3 zu Beispielen). Die Genetischen Algorithmen finden hierbei am häufigsten Verwendung [Nissen 1997a, S. 259, 1997b, 1995].

(b) Auf dynamische Modelle anwendbar

Evolutionäre Algorithmen sind nicht nur auf dynamische Modelle anwendbar oder können dynamische Sachverhalte abbilden, sie sind auch in der Lage in einer dynamischen Umgebung mit wandernden Optima eingesetzt zu werden [Branke 2001; Nissen 1997a, S. 259]. Die breite Anwendbarkeit der Evolutionären Algorithmen ist somit auch in Bezug auf dynamische Modelle gegeben [Forrest 1993, S. 872, 875, 877].

(c) Fähigkeit zur globalen Optimierung

Evolutionäre Algorithmen zeichnet die Fähigkeit aus, dass diese zur globalen Optimierung eingesetzt werden können. Diese Fähigkeit ist im Wesentlichen darin begründet, dass parallel von mehreren Punkten ausgehend gesucht wird, die Suche durch Rekombination resp. Mutation die Lösungen variiert sowie die Möglichkeit besteht, auch schlechte Lösungen zu akzeptieren. Damit können sich Evolutionäre Algorithmen von einem lokalen Optimum lösen, und dieses überwinden (siehe hierzu im Detail Unterabschnitt 4.9.2).

(d) Ausschließliche Verwendung von Zielfunktionswerten (direkte Optimierung)

Evolutionäre Algorithmen nutzen sogenannte Fitnessfunktionen. Diese setzen sich aus den Zielkriterien zusammen und werden eingesetzt, um die erreichten Lösungen zu bewerten (Gütekriterium) sowie diese untereinander vergleichbar zu machen. Die Gütebewertung ist Grundlage zur Bestimmung der Richtung, in die sich der Algorithmus im Suchraum bewegt, auf der Suche nach dem Optimum (siehe hierzu im Detail Unterabschnitt 4.9.2). Darüber hinausgehende Informationen bezüglich der Zielkriterien werden nicht benötigt. Mittels dieser automatisierten Bewertung, auf

Grundlage der vorgegebenen Zielkriterien in einer Fitnessfunktion (Gütefunktion), ist es den Evolutionären Algorithmen möglich, sich selbständig im Lösungsraum zu bewegen und im Sinne einer automatisierten Optimierung eingesetzt zu werden.

(e) Robustheit gegenüber stochastischen Zielfunktionen und Einflüssen im Modell

Evolutionäre Algorithmen bieten sich an für Optimierungsprobleme, bei denen traditionelle Optimierungsverfahren aufgrund von Nichtlinearitäten, Diskontinuitäten und Multimodalität der Zielfunktionen versagen [Pohlheim 2000, S. 11 f.]. Ihre Robustheit ist darin begründet, dass keine Annahmen über das gestellte Problem getroffen werden und stets mit einer Menge von zulässigen Lösungen (Population von Lösungen) gearbeitet wird [Sedlacek 2010, S. 58]. Hammel & Bäck [1998, S. 19] verweisen diesbezüglich auf die theoretischen und empirischen Arbeiten zur Robustheit der EA von Fitzpatrick & Grefenstette [1988], Beyer [1993], Rechenberg [1994] sowie Hammel & Bäck [1994]. Nissen führt aus, dass vieles darauf hindeutet, dass EA als relativ robust gegenüber stochastischen Einflüssen bei der Lösungsbewertung anzusehen sind und diese einen interessanten Ansatz für stochastische Optimierungsprobleme darstellen [Nissen 1997a, S. 259]. Nissen & Propach [1998] untersuchen in Ihrer Arbeit zwei populationsbasierte Ansätze (Standard Genetischen Algorithmus, Evolutionsstrategien) und zwei punktbasierte Methoden (threshold accepting, pattern search) in Bezug auf ihr Verhalten bei stochastischen Einflüssen (noise). Es wird aufgezeigt, dass die populationsbasierten Verfahren im Vergleich zu den punktbasierten Methoden robuster sind bei stochastischen Einflüssen, selbst wenn nur eine Lösung getestet wird [Nissen & Propach 1998, S. 113 f.], Diesbezüglich wird aber darauf hingewiesen, dass punktbasierte Methoden deutlich schneller sind. Die besseren Lösungen des Genetischen Algorithmus somit durch eine höhere Rechenzeit erkaufte werden. Zu gleicher Erkenntnis kommen Nissen & Biethahn [1999], welche für 1, 10 und 40 Durchläufe je Lösung den stochastischen Einfluss auf die Ergebniswerte untersuchen. Hierbei werden ebenfalls punktbasierte Suchverfahren einem Genetischen Algorithmus mit populationsbasierter Suche gegenübergestellt. Im Ergebnis erweist sich der Genetische Algorithmus als deutlich robuster, selbst bei nur einem Test je Lösung [Nissen & Biethahn 1999, S. 124].

(f) Hohe Konvergenzgeschwindigkeit

Die durch Hammel & Bäck [1998, S. 15 f.] aufgeführten Resultate zeigen, dass „Evolutionsstrategien eine Konvergenzgeschwindigkeit erzielen, die mit spezialisierten lokalen Suchverfahren vergleichbar ist“ [Hammel & Bäck 1998, S. 16]. Sie sehen damit die Effizienz dieser Variante Evolutionärer Algorithmen als nachgewiesen an [Hammel & Bäck 1998, S. 16]. Auch im Bereich der genetischen Algorithmen liegen bereits Ergebnisse in Bezug auf die Konvergenzgeschwindigkeit, „als Resultat der Übertragung des theoretischen Ansatzes der Analyse von

Evolutionstrategien auf diskrete Suchräume“ vor [Hammel & Bäck 1998, S. 16]. Bisher als am besten untersucht führen Hammel & Bäck [1998, S. 16] die „counting ones“ Funktion auf, mit Ergebnissen zu dem Mutations-Selektions Algorithmus (ohne Rekombination) und zu dem Rekombination-Selektions Algorithmus (ohne Mutation). Eine abschließende Aussage liegt jedoch nicht vor.

(g) Hohe Konvergenzsicherheit

Hammel & Bäck führen aus, dass praktische Untersuchungen zur Konvergenzsicherheit müssen „generell auf einem experimentellen Vergleich verschiedener Algorithmen auf einer Vielzahl von multimodalen Zielfunktionen basieren“ [Hammel & Bäck 1998, S. 17], um verlässliche und nutzbare Aussagen zu erhalten. Derartige Resultate zur Konvergenzsicherheit „liegen heute für eine Vielzahl von Varianten evolutionärer Algorithmen vor“ [Hammel & Bäck 1998, S. 17] (u.a. [Suzuki 1995; Rudolph 1994; Bäck et al. 1993]).

8.4 Zusammenfassung und Auswertung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Evolutionären Algorithmen die gestellten Anforderungen an das einzusetzende Optimierungsverfahren grundsätzlich erfüllen, wenngleich Evolutionäre Algorithmen keine universellen Problemlöser und auch heute noch zu großen Teilen in ihrer Wirkungsweise unverstanden sind [Hammel & Bäck 1998, S. 23]. Wie den Ausführungen in Unterabschnitt 4.9.2 entnommen werden kann, gibt es vier Ausrichtungen der Evolutionären Algorithmen, welche sich hinsichtlich der Entstehung, der problembezogenen Ausrichtung, der Repräsentationen und der Art der Suche mehr oder weniger unterscheiden. In der Literatur „wird zwar versucht eine grundsätzliche Überlegenheit des Genetischen Algorithmus zu suggerieren, ...“ [Weicker 2007, S. 116], aber ob und welches Verfahren das geeignete ist, hängt von dem zu lösenden Problem ab [Weicker 2007, S. 116]. Dies vorangestellt, wird nun betrachtet, welche Ausrichtung der Evolutionären Algorithmen sich am ehesten für die Zielstellung der vorliegenden Arbeit eignet und im Weiteren zur Anwendung kommt.

(a) Genetische Algorithmen

Genetische Algorithmen zeichnen sich durch einen sehr flexiblen Einsatz aus, indem sich nahezu jedes Problem in der Repräsentation der Gene abbilden lässt. Darüber hinaus ist auch die Art der Repräsentation sehr flexibel und kann sich u.a. direkt auf reale Sachverhalte (z.B. Montag, Dienstag) oder auf eine dem Sachverhalt entsprechende binäre Kodierung beziehen. [Gonçalves et al. 2002, S. 14] zeigten, dass Genetische Algorithmen auch bei komplexen Problemstellungen sehr schnell sehr gute Lösungen hervorbringen können. Nach Alves et al. [2006] erreichen Genetische Algorithmen gute Ergebnisse in Bezug auf Job-Shop Probleme. Im Speziellen wurden GA erfolgreich bei kombinatorischen Optimierungsproblemen eingesetzt, u.a. auch

8. Auswahl des Optimierungsverfahrens

patientenbezogen, wie dies in der vorliegenden Arbeit gegenständlich ist (siehe [Kühn et al. 2012; Helm et al. 2010; Kerati et al. 2009; Hackl 2000; Rixen 1997]). Jedoch erfolgte der bisherige Einsatz im Vergleich zur vorliegenden Arbeit bei weniger umfangreichen und damit auch weniger komplexen Ausprägungen des Optimierungsgegenstandes.

(b) Evolutionsstrategien

Die Evolutionsstrategien zeichnen sich durch einen flexiblen Umgang mit der Mutationsrate aus, welche je nach Fortschreiten des Algorithmus im Suchraum spezifisch auf ein Individuum angepasst werden kann. Im Unterschied zu den GA werden die ES überwiegend zur Optimierung kontinuierlicher Entscheidungsvariablen verwendet [Nissen 1997a, S. 155]. Darüber hinaus wurde in Unterabschnitt 4.9.2 ausgeführt, dass eine 1/5 oder 1/7 Strategie in Bezug auf die Anzahl der Nachkommen als empfehlenswerte Größe angesehen wird [Gerdes et al. 2004, S. 115; Weicker 2007, S. 134]. Hieraus resultiert ein hoher Rechenaufwand, da zur Auswahl der Nachfolger alle erzeugten Individuen (5 resp. 7 je Elternteil) zunächst bewertet werden müssen. Der Sachverhalt ist speziell bei umfangreichen Simulationsmodellen, mit einem erwarteten hohen zeitlichen Aufwand für einen Durchlauf und ggf. erforderlicher Einschwingzeiten zu Beginn der Simulation, umso bedeutender. In der vorliegenden Arbeit ist von solch einem komplexen und in der Ausführung zeitaufwendigen Simulationsmodell auszugehen.

(c) Evolutionäre Programmierung

Gegenstand der Optimierung mittels der Evolutionären Programmierung sind i.d.R. mehrdimensionale, reellwertige Funktionen mit einem Optimum im Nullpunkt [Gerdes et al. 2004, S. 125]. Diesbezüglich führt Gerdes weiter aus, dass sich hieraus ein grundsätzliches Problem bei der evolutionären Programmierung ergibt. Es wird angenommen, dass das globale Minimum der Zielfunktion bei 0 liegt [Gerdes et al. 2004, S. 127]. In den meisten Anwendungen ist der Wert des globalen Optimums jedoch nicht bekannt [Gerdes et al. 2004, S. 127]. Auch im hier vorliegenden Anwendungsfall ist dies nicht der Fall.

(d) Genetische Programmierung

Wie ausgeführt wurde, liegt der Ursprung der GP in der Entwicklung von Computerprogrammen oder mathematischen Funktionen (siehe Unterabschnitt 4.9.2). Zielstellung in der vorliegenden Arbeit ist eine optimale Parameterkonstellation, weniger ein Programm. Auch wenn es dahingehend Weiterentwicklungen auf Seiten der GP gab, wird dies für das hier vorliegende Problemumfeld nicht als geeignet angesehen.

Die abschließende Wahl für den Einsatz zur abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung in der vorliegenden Arbeit fällt auf die Genetischen Algorithmen.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Allein durch Prozess- und Datenerhebung sowie deren Analyse sind fundierte Aussagen über Systeme mit dynamischem Verhalten nicht zu treffen. Sollen valide Aussagen zu Verbesserungen erzielt werden, muss zunächst eine belastbare Basis geschaffen werden. Es existieren diverse Modelle und Methoden, welche auf theoretischem und praktischem Wege ersuchen, in Teilbereichen des hier vorliegenden Betrachtungsgegenstandes zu verlässlichen Optimierungsergebnissen zu gelangen (siehe Kapitel 3). Es sollen in der vorliegenden Arbeit Abstraktionen und Annahmen, im Vergleich zu bestehenden Arbeiten, weiter abgebaut werden und Störgrößen einfließen, um der Realität so nah wie möglich zu kommen (Detailkomplexität) und damit die Verlässlichkeit der Ergebnisse zu steigern. Die Technologien hierzu sind in Form der ausführbaren Spezifikationen (dynamische Simulationsmodelle) zur Abbildung und (Meta-)Heuristik zur Optimierung vorhanden (siehe Abschnitt 4.9 und Kapitel 8). In Kapitel wird ein dynamisches, ausführbares, zweckbezogenes Systemmodell erstellt, um im Weiteren mittels Simulation das Verhalten der dynamischen Prozesse zu untersuchen und zu optimieren.

Zunächst wird die Frage aufgeworfen, ob die Implementierung eines neuen Simulationsmodells erforderlich ist. Schließlich wurde aufgezeigt (siehe Kapitel 3), dass es bereits modellbezogene Ansätze gibt, deren Simulationsmodelle durchaus wiederverwendet werden könnten. Hierzu wurden ausgewählte Punkte des bereits Vorgetragenen kurz zusammengefasst⁸²:

- Ein Simulationsmodell wird mit Bezug auf das Optimierungsziel aufgebaut.
- Der Ersteller des Simulationsmodells hat direkten Einfluss auf das Abstraktionsniveau des Modells.
- Die Güte des Simulationsmodells ist abhängig vom Wissen und Know-how des Erstellers.
- Die Modellvalidierung erfolgt mit Bezug auf den spezifischen Zweck des Modells.

Allein bezogen auf die bereits getätigten Feststellungen, dass keine der bisherigen Arbeiten den hier vorliegenden Betrachtungsgegenstand gesamtheitlich im Modell abgebildet hat (siehe Kapitel 3), wird es als unausweichlich angesehen, ein Simulationsmodell entsprechend dem hier vorliegenden Zweck, mit dem für die Arbeit entsprechenden Abstraktionsniveau und der spezifischen Anpassung aufzubauen und zu validieren.

⁸² Siehe Abschnitte 1.2 zur Zielsetzung der Arbeit, 4.7 zu den Grenzen der Simulation, 4.8 zur Methodik der Simulation und 4.9 zur Optimierung mittels Simulation.

Im nun Folgenden wird der Aufbau des Simulationsmodells geschildert. Im Zuge dessen wird u.a. das eingesetzte Simulationswerkzeug vorgestellt⁸³, die Ausführungsdomäne ausgewählt und auf vorgenommene Annahmen und Abstraktionen eingegangen. Darüber hinaus wird erläutert werden, warum in Ist- und Soll-Modell differenziert wird und was grundsätzlich darunter zu verstehen ist.

9.1 Das Systementwurfswerkzeug und Simulationssystem MLDesigner

Viele der Problemstellungen aus der Praxis sind recht komplex und es gestaltet sich sehr schwer bzw. sehr zeitaufwendig diese ohne unterstützende Software zu simulieren [Law 2015, S. 85]. Der MLDesigner stellt eine integrierte Plattform zur Modellierung und Analyse der Architektur, Funktion und Leistungsfähigkeit von Systemen, Teilsystemen sowie Szenarios dar [Mission Level Design GmbH 2012]. Mit diesem Funktionsumfang zeichnet der Hersteller das hier zur Anwendung kommende Simulationssystem aus.

Verschiedene Modellierungsansätze werden im MLDesigner durch Domänen repräsentiert und mittels der Spezifikation eines Berechnungsmodells umgesetzt. Das Berechnungsmodell (model of computation)⁸⁴ bestimmt die Semantik der Modellbausteine und Verknüpfungen in der Domäne. Mittels des Berechnungsmodells bestimmen die Domänen, was zur Zeit der Ausführung eines Modells geschieht. Das Resultat ist entweder eine Simulation oder die Generierung von (Programm-)Code [Mission Level Design GmbH 2012, S. 184].

Der MLDesigner erfüllt den für ein Simulationssystem typischen Aufbau in drei Hauptkomponenten: zur Modellbildung, zur Durchführung der Simulation und zur Ergebnisanalyse. Erweitert ist dies um eine umfangreiche Modell- und Methodendatenbank. Folgende Struktur lässt sich feststellen [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 7–8]:

- Benutzeroberfläche (GUI – Graphical User Interface) zur grafisch gestützten Modellbildung, Speicherung und Simulation,
- Programmierumgebung zur spezifischen und individuellen Erstellung bzw. Anpassung von Systemkomponenten,
- System zur Analyse und Auswertung von Simulationsergebnissen sowie Performance-Kennzahlen,
- eine breite Auswahl an integrierten Simulatoren, wie (Discrete Event (DE), Finite State Machine (FSM), Continuous Time/Discrete Event (CTDE), Synchronous Data Flow (SDF), Dynamic Data Flow (DDF) und

⁸³ Bei den Ausführungen zum Simulationswerkzeug handelt es sich um eine überarbeitete Ausführung aus Kühn [2006, S. 41 ff.].

⁸⁴ Siehe Abschnitt 9.2 zu den Berechnungsmodellen.

- mehr als 1400 Bibliotheken und 260 Beispielsysteme.

Bei der Modellerstellung wird dem Anwender die Wahl überlassen, sein Modell als hierarchisches Konstrukt in Form eines Blockdiagramms oder direkt in Programmcode abzubilden. Ein Modell kann folgende Elemente enthalten [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 40 f.]:

- Modellinstanzen (Referenzieren auf ein Modell, welches in einem anderen Modell enthalten ist),
- Primitive Source Code (Programmcode zur Beschreibung des Modellverhaltens),
- Ein-, Ausgabe-Ports (Verbindung zwischen Modellinstanzen zum Austausch von Datenobjekten),
- Relationen (Verbindung zwischen den Ports),
- Argumente (in Form von Parametern zur Kontrolle der Modellfunktionalität bzw. als gemeinsam genutzte Modellelemente, welche Informationen speichern und bereitstellen).

Die folgenden Modelltypen sind im MLDesigner definiert [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 40 f.]:

- Primitive,
- Module,
- Systeme und
- Bibliotheken.

Primitive⁸⁵ stellen die Grundbausteine der Modelle dar (Blöcke). Sie beherbergen in Programmcode (ptlang) formulierte Funktionalitäten und können Argumente sowie Ein- und Ausgabe-Ports zur Kommunikation enthalten. Partikel bezeichnen hierbei die Datenobjekte, welche zwischen den Ports wandern und simuliert werden. Module⁸⁶ gruppieren und strukturieren Funktionalitäten aus den enthaltenen Blöcken und deren Verknüpfung. Durch das Modulkonzept wird es möglich Modelle hierarchisch zu strukturieren, Modellteile wiederzuverwenden oder verschiedene Domänen miteinander zu verzahnen. Sie können zudem Ports und Argumente enthalten. Subsysteme in Form von Modulen geben sich nach außen wie ein Primitiv zur übergeordneten Hierarchiestufe und stellen wiederum ein Blockdiagramm dar. Instanzen sind konkrete Ausprägungen eines Moduls oder eines Primitives im Modell. Sie besitzen ihren eigenen inneren Zustand, sind voneinander unabhängig

⁸⁵ Primitive sind in ihrer grafischen Darstellung durch ein blaues Dreieck in der oberen, rechten Ecke gekennzeichnet.

⁸⁶ Module sind in ihrer grafischen Darstellung durch ein grünes Dreieck in der oberen, rechten Ecke gekennzeichnet.

und sind konfiguriert durch ihre Parameterwerte. Ein System ist die oberste Modellierungsstufe und kann unterschiedliche Instanzen von Modulen und Primitiven beinhalten. Es kann selber nicht instanziiert werden und besitzt keine Verbindung zu anderen Systemen. Zum Betrachtungszeitpunkt können nur Systeme im MLDesigner simuliert werden. In den Bibliotheken des MLDesigners sind Primitive, Module, Systeme und Zustandsmaschinen nach bestimmten Kriterien (z.B. nach Domänen) zusammengefasst [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 40 f., 184 ff.].

Neben Modulen und Primitiven existieren noch gemeinsam genutzte Modellelemente (shared elements). Diese Elemente ermöglichen einen Informationsaustausch, auch über Hierarchieebenen hinweg, ohne direkte Verbindung. Es wird unterschieden zwischen:

- Speichern (Memory),
- Ereignissen (Event) und
- Ressourcen (Resource).

Ein Speicher stellt einen gemeinsam genutzten Datenbereich zur Verfügung, auf den bei Bedarf von unterschiedlichen Hierarchiestufen aus zugegriffen werden kann. Ereignisse sind auf zeitbasierte Domänen beschränkt und gestatten es Primitiven asynchron zu reagieren sowie Daten zu übermitteln. Simulationsressourcen (Server/Quantity) dienen der Abbildung knapper Ressourcen, um welche die Partikel beim Durchschreiten des Simulationsmodells konkurrieren [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 258 ff.].

Während des Ablaufs – dem Simulationslauf – durchschreiten die in Quellen erzeugten Partikel das Modell bis sie auf Senken treffen. Quellen und Senken bezeichnen spezielle Primitive, die entweder keine Eingabe- oder keine Ausgabeports besitzen. Eine Quelle kann z.B. für die Erzeugung auf Dateien sowie Datenbanken zurückgreifen oder die Partikel gemäß einer Verteilung generieren. Senken dagegen verarbeiten die ankommenden Partikel. Der Fluss der Partikel durch das Modell endet damit. Eine Senke kann eine einfache Ausgabe der Daten als auch die graphische Aufbereitung der eintreffenden Partikel in Form von Diagrammen beinhalten [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 216 ff.].

Dank der grafischen Benutzeroberfläche, der direkten Objektmanipulation und den umfangreichen Bibliotheken an vordefinierten Modellelementen, wird es auch einem relativ unerfahrenen Anwender ermöglicht in kürzester Zeit ein simulationsfähiges, parametrisierbares Modell zu erstellen. Abb. 77 zeigt die grafische Oberfläche des MLDesigners (siehe [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 42 ff.] zu dem Aufbau).

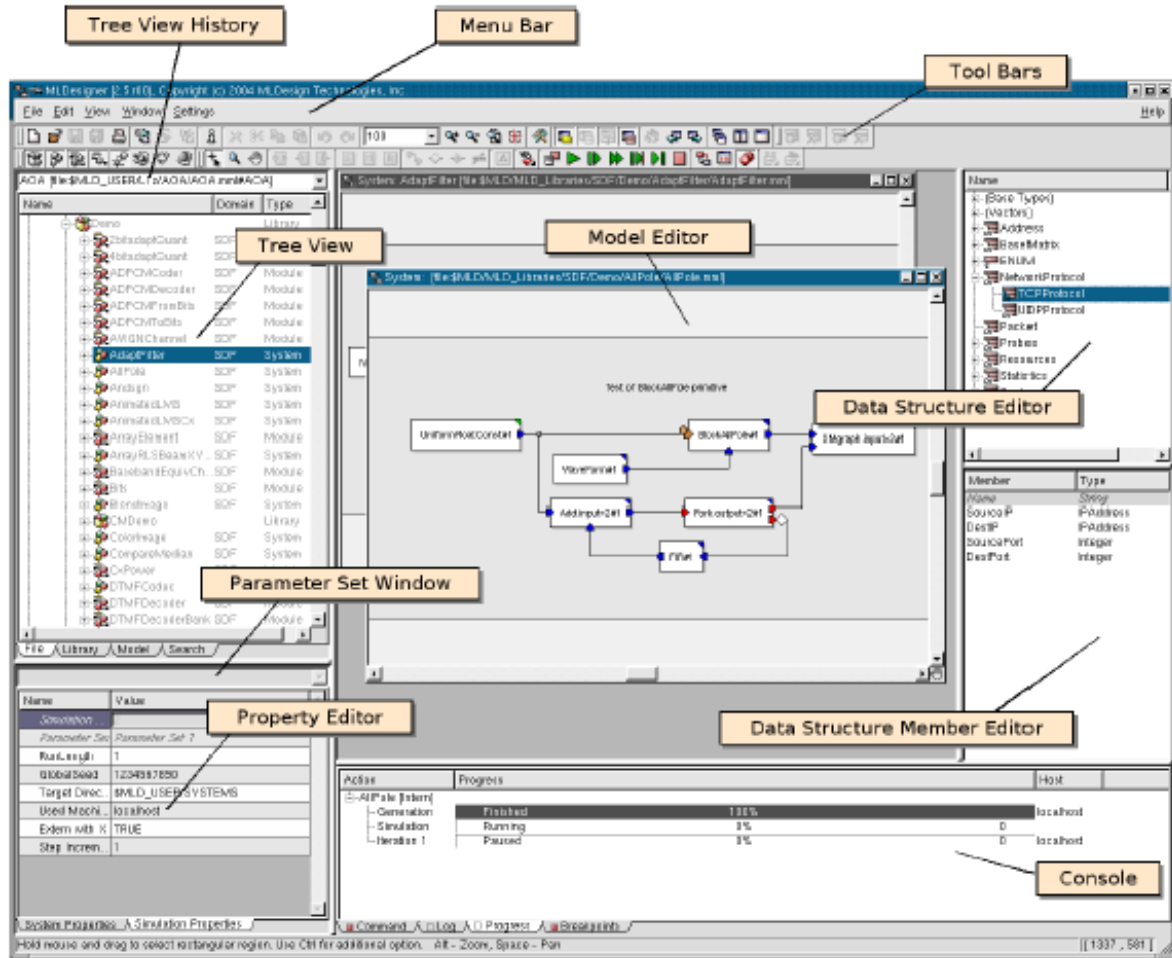


Abb. 77: Grafische Benutzeroberfläche des MLDesigner [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 43]

Die Werkzeugleisten (Tool Bars) im oberen Bereich dient zur Ablaufsteuerung und Simulation des Modellentwurfs. Mit Hilfe dieser kann auch zwischen Entwurfs- und Simulationsmodus gewechselt werden. Auf der linken Seite befindet sich die Baumansicht (Tree View), welche genutzt wird zum Verwalten, Erstellen und Öffnen von Bibliotheken, Systemen, Modulen oder Primitiven. Direkt darunter befindet sich der Editor für die Eigenschaften des im Modell-Editor selektierten Elements oder Modelltyps (Property Editor). Hier können die jeweiligen Eigenschaften und Parameter hinterlegt werden. Der Modelleditor (Model Editor) in der Mitte ist das zentrale Element, in dem die Modelle, Primitiven und Systeme modelliert werden. Im Datenstruktureditor (Data Structure Editor und Data Structure Member Editor), auf der rechten Seite, findet sich eine Auswahl an vordefinierten Datenstrukturen und Datentypen, welche direkt verwendet oder um selbst definierbare Strukturen erweitert werden können. Zuletzt ist die Konsole (Console) zu erwähnen. Sie erfüllt zum einen die Funktion der Ausgabe von Fehler- und Statusberichten, zum anderen können hier direkt Befehle zur Steuerung eingegeben werden. In der vorliegenden Arbeit wird der MLDesigner in der Version 3.00 in der Microsoft Windows kompatiblen Version eingesetzt.

9.2 Auswahl des Berechnungsmodells - der Ausführungsdomäne im MLDesigner

Die Domänen im MLDesigner bestimmen mit ihrem Berechnungsmodell die Ausführung der Modelle. Es wird zwischen zeitbasierten und nicht zeitbasierten Domänen unterschieden [Mission Level Design GmbH 2012, S. 184]. In nicht zeitbasierten Domänen ist lediglich die Reihenfolge der Partikel beim Durchschreiten des Modells relevant. Dagegen wird in zeitbasierten Domänen für jeden Partikel ein zusätzlicher Zeitwert vermerkt. Der Zeitwert bestimmt, wann in simulierter Zeit ein Partikel am Eingabe-Port eines Modellelements bereitsteht, bzw. zu welchem Zeitpunkt es am Ausgabe-Port austritt. Die Abarbeitung erfolgt chronologisch in Ordnung der simulierten Zeit, die insofern als global für das ganze Modell angesehen wird [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 184]. Bezogen auf die Simulation eines Modells, verfügt der MLDesigner u.a. über folgende Domänen resp. Berechnungsmodelle⁸⁷:

- zeitkontinuierlich, diskrete Ereignisse (CTDE),
- zeitdiskret
 - synchronous data flow (SDF)
 - dynamic data flow (DDF)
- diskret, ereignisorientiert

Die CTDE-Domäne (continuous time/discrete event) ist eine Domäne zur Beschreibung und Simulation von zeitkontinuierlichen Systemen. Hierbei wird auf diskrete Ereignisse abgestellt. Mit der CTDE-Domäne werden Systeme als Differentialgleichungen beschrieben. Die SDF-Domäne (synchronous data flow) wird zur Modellierung und Simulation zeitdiskreter Systeme eingesetzt. Die Domäne selber besitzt keinen Zeitbegriff. Eine feste Anzahl von Datenelementen (Partikel) wird gleichzeitig (synchron) erzeugt resp. verarbeitet. Hierbei geht die Domäne rein datenflussorientiert vor. Im Gegensatz hierzu ist die DDF-Domäne (dynamic data flow) zwar auch datenflussorientiert, die Anzahl der gleichzeitig erzeugten oder verarbeiteten Partikel kann aber hier variieren. Es wird somit eine dynamische Änderung in der Verarbeitung der Daten unterstützt. Die DE-Domäne (discrete event) ist zeitbasiert und wird zur Modellierung und Simulation von ereignisorientierten Systemen eingesetzt⁸⁸. Die Modelle bilden das Eintreten von Ereignissen (Events) zu bestimmten Zeiten ab. Die Modellelemente werden chronologisch entsprechend der Reihenfolge des Auftretens der Ereignisse ausgeführt.

⁸⁷ Dies stellt nur eine Auswahl der Domänen des MLDesigners dar. Wie im vorherigen Abschnitt angesprochen wurde, verfügt der MLDesigner z.B. auch über Domänen zur Erzeugung von Programmcode.

⁸⁸ Siehe Abschnitt 4.5 zur ereignisorientierten Modellsicht.

Alle Modellelemente unterliegen einer gleichen globalen Zeit, welche im Simulationslauf fortgeschrieben wird. Im Besonderen lassen sich mit der DE-Domäne Prozesse mit dem MLDesigner nachbilden, simulieren und optimieren.

Ein Berechnungsmodell sollte bezogen auf die jeweilige Problemstellung ausgewählt werden. Mit Blick auf das hier vorliegende Simulationsziel sind Zeitpunkte (z.B. Termine) und eine Bemessung der zeitlichen Dauer (z.B. Wartezeiten) für die zu erfolgende Optimierung unabdingbar. Daher wird für die weitere Betrachtung eine zeitbasierte Domäne als Grundlage gesehen. Der Zeitverlauf im Realsystem ist diskret in Einheiten von Stunden, Minuten und Sekunden. Daher sollte auch das Modell einen diskreten Zeitverlauf haben. Wie ausgeführt wurde, können Zustandsänderungen im System kontinuierlich (stetig) im Zeitverlauf, wie bei einem fließenden Gewässer oder diskret sein (siehe Abschnitt 4.5 zu den Modellarten). Da Patienten in der klinischen Einrichtung in diskreten Mengen (als ganze Einheiten) im System auftreten und zu diskreten Zustandsänderungen führen, z.B. EKG wird begonnen resp. wurde durchgeführt, wird in der vorliegenden Arbeit von einem diskreten Modellierungsansatz und Berechnungsmodell ausgegangen. Für die vorliegende Problemstellung bietet sich die diskrete, ereignisorientierte Domäne an. Zustandsänderungen werden durch das Eintreten eines Ereignisses ausgelöst (siehe hierzu Abschnitt 4.5). Im vorliegenden Fall ist dies zum Beispiel gegeben, wenn ein Patient mit dem Ereignis seines Eintreffens eine Aktion im System auslöst, wie z.B. das Eintreffen am Empfang die Durchführung der Anmeldung auslöst. Entsprechend dem ereignisgesteuerten Berechnungsmodell, kann die Zeit zwischen den Ereignissen übersprungen und zur simulierten Zeit hinzuaddiert werden. Eine Betrachtung der Modellzustände erfolgt nur zu den Ereigniszeitpunkten [Law 2015, S. 7], was den Simulationslauf dadurch wesentlich zeitperformanter macht als bei einer Echtzeitsimulation. Dies wird unter dem Gesichtspunkt des Zeiterfordernisses zur Ausführung einer Simulation als vorteilhaft für die vorliegende Arbeit angesehen. Den Ausführungen folgend, wird für den weiteren Modellaufbau und die Simulation in der vorliegenden Arbeit die diskrete-ereignisorientierte Domäne gewählt.

9.3 Simulationszeit

Da es sich bei der gewählten Ausführungsdomäne um eine zeitbasierte Domäne handelt, ist die Simulationszeit resp. Schrittweite beim Ausführen des Simulationslaufes festzulegen. Die Simulationszeit resp. die Schrittweite bemisst die kleinste Simulationseinheit. Zur Bestimmung dieser Schrittweite ist die gewünschte Granularität - die Genauigkeit in der Betrachtung – zugrunde zu legen. Im Rahmen der Datenerhebung wurde teilweise auf Sekundenbasis bemessen, weil z.B. eine Ruhe-EKG-Untersuchung nur sehr kurz in der Durchführung ist. Dahingehend ist aber zu hinterfragen, ob die Betrachtung auf Sekundenbasis einen entsprechenden

Mehrwert der Simulationsergebnisse hervorbringt, im Vergleich zu dem resultierenden steigenden Simulationsaufwand (Abstraktionsgrad). Im Gegenzug könnte eine Betrachtung auf Stundenbasis eine zu große Abstraktion darstellen, auch wenn es den Simulationsaufwand reduzieren würde. Für die vorliegende Arbeit wird daher als Schrittweite der Simulation und damit kleinste Einheit die Minuten gewählt.

9.4 Modellabgrenzung

In der Modellabgrenzung wird den Festlegungen zum Untersuchungsgegenstand aus Kapitel 5 gefolgt. Bei der Modellabgrenzung sind insbesondere die Patientenflüsse zu betrachten, welche aus Sicht der Systemgrenzen von extern oder intern den betrachteten Bereichen zugehen. Die Grenze zwischen intern und extern ist im Realsystem durch eine definierte Systemgrenze (das Krankenhaus als solches) gegeben. Es wird in der Modellabgrenzung versucht, die Abgrenzung des Krankenhauses, trotz der Fokussierung auf den kardiologischen Fachbereich, auf das Modell zu übertragen (siehe Abb. 78).

Der im Modell abgebildete Betrachtungsgegenstand ist in der Abbildung farblich (blau) hinterlegt und stellt die Abgrenzung zur Umwelt dar. Für die vorliegende Arbeit entspricht dies der Modellabgrenzung. Im Wesentlichen dient es der Abgrenzung von Patientenzuflüssen und Terminanfragen von intern und von extern. Durch den definierten Betrachtungsgegenstand gibt es Bereiche, welche nicht direkt betrachtet werden (siehe Kapitel 5), aber auf Grund ihrer Wechselwirkung mit den direkt gegenständlichen Bereichen im Modellaufbau einbezogen werden, z.B. für den Zu-/Abfluss von Patienten, zur Abbildung von Störgrößen oder zur Erzeugung einer Grundauslastung in den direkt betrachteten Bereichen. Diese sind in der Abb. 78 durch Rechtecke dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass es unter gegebenen Voraussetzungen nicht nur auf den Stationen, in den Ambulanzen oder in der Notaufnahme zu direkten Zugängen von extern kommen kann, sondern auch in den Funktions- und OP-Bereichen. Dies wird in der späteren Betrachtung vertieft und im Modellaufbau ergänzend berücksichtigt.

Als Ellipsen mit durchgezogener Umrandung sind die Bereiche dargestellt, welche direkt Betrachtungsgegenstand sind und detailliert im Modell abgebildet werden. Die zentral angelegte Patientenaufnahme ist als Ellipse mit gestrichelter Umrandung dargestellt, da diese nicht in allen Referenzkliniken vorhanden ist. Gestrichelte Linien stellen gerichtete Ströme von Objekten in der Verfügungsgewalt der Patienten dar. Hierbei beschränkt sich die Abbildung auf Blut- und Urinproben. Der Übersichtlichkeit halber sind die Informations- und Dokumentenflüsse nicht aufgeführt.

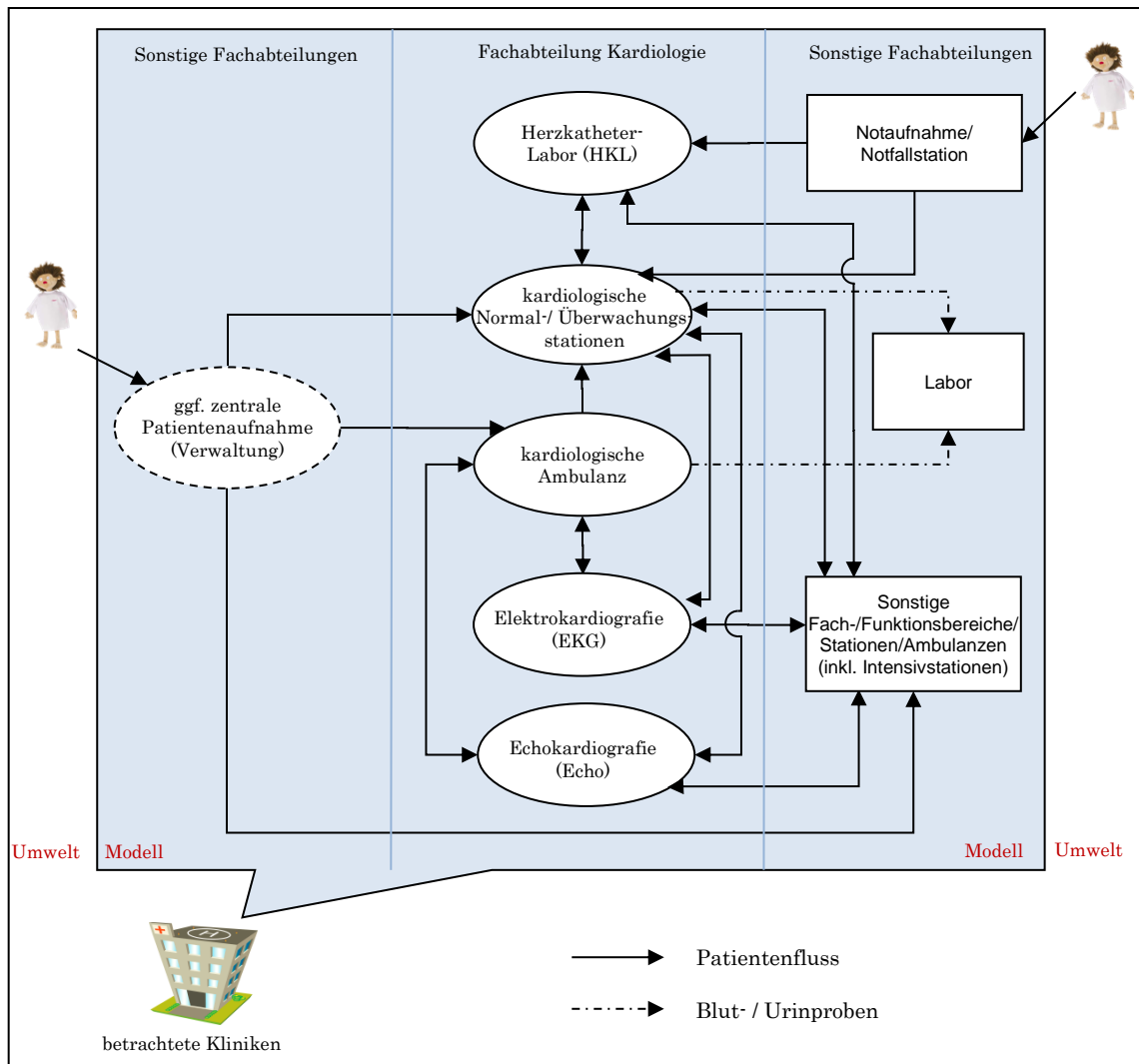


Abb. 78: Überblick der betrachteten Fachbereiche und Abgrenzung zur Umwelt (Modellabgrenzung)

Planungsgegenstand ist im Modell die Aufnahme-, Termin- und Reihenfolgeplanung ambulanter und stationärer Patienten im Zusammenspiel, inkl. der Kapazitäts-, Termin- und Reihenfolgeplanung nachgelagerter Ressourcenerfordernisse. Im Speziellen zählen hierzu die Integration der diagnostischen Bereiche (EKG, ECHO) und der OP-Bereiche (Herzkatheterlabore) in das Gesamtplanungskonzept.

Der in dieser Arbeit zugrunde gelegte Realweltausschnitt wird zunächst im Ist-Zustand in ein sogenanntes „Ist-Modell“ überführt. Das Ist-Modell wird validiert und mit dem Realsystem abgeglichen, um u.a. sicherzustellen, dass die Realität korrekt und belastbar (valide) abgebildet wurde. Auf Basis des Ist-Modells erfolgt schließlich der Aufbau des Soll-Modells, durch zielspezifische Anpassungen und Optimierungen, welches in der Endausprägung das optimierte System/Planungsverfahren beinhaltet. Auf diesem Wege können die Veränderungen in den Ergebnissen des Soll-Modells eindeutig auf die Änderungen an diesem zurückgeführt werden.

9.5 Annahmen und Abstraktionen

Im Folgenden wird eine detaillierte Übersicht gegeben der im Modellaufbau umgesetzten Annahmen und Abstraktionen (siehe Tab. 17 - Tab. 18). Es wird in der Übersicht in die Bereiche der kard. Ambulant, kard. Stationen, OP (HKL) und EKG/Echo differenziert. Hierbei erfolgt die Auflistung der Punkte mit Bezug auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit (siehe Abschnitt 1.2) und die aufgeführten Annahmen und Abstraktionen bestehender Arbeiten (siehe Kapitel 3).

Beschreibung	kard. Ambulanz	kard. Normalstationen	OP-Bereiche (Herzkatheterlabore)	Funktionsbereiche (EKG, ECHO)
betrachtete Engpassressourcen	Pflegekräfte am Empfang, Pflegekräfte der Ambulant, Ambulanzärzte	Pflegekräfte am Empfang, Pflegekräfte der Station, Stationsärzte, Patientenbetten, EKG-Geräte auf kard. Station	HKL-Labore mit spezifischen Gegebenheiten in der Ausstattung, Pflegekräfte im HKL (indirekt)	EKG-/Echo-Geräte mit spezifischen Gegebenheiten, Pflegekräfte/Ärzte (indirekt)
Berücksichtigung vor-/nachgelagerter Ressourcen im Modell	Stationen, z.B. bezogen auf nachfolgende stationäre Aufnahme oder prästationäre Abklärung in der kard. Amb.	Notaufnahme, Funktionsbereiche in Bezug auf EKG, ECHO, OP-Bereiche (HKL), Labore (Probenanalysen), Intensivstation	Stationsbetten (ITS/Normal)	HKL, Stationsbetten (ITS/Normal), Ambulanzärzte
Planungsebenen bei der Terminvergabe	Anzahl Patienten, Wochentag, Uhrzeit	Anzahl Patienten, Wochentag, Uhrzeit, Station	Anzahl Patienten, Wochentag, Uhrzeit, OP (HKL)	Anzahl Patienten, Wochentag, Uhrzeit, ECK-/ECHO-Gerät
Planungsebenen	Zugangsplanung, Terminplanung	Zugangsplanung, Terminplanung	Zugangsplanung, Terminplanung	Zugangsplanung, Terminplanung
Abarbeitung der Ressourcenwarteschlangen (Ad-hoc Auswahlentscheidung)	FCFS, elektive zum Termin vor nicht-elektiven Patienten	FCFS, nach festgelegten Priorisierungen (z.B. von Notaufnahme eher)	FCFS, nach festgelegten Priorisierungen (z.B. Notfälle zuerst)	FCFS, nach festgelegten Priorisierungen (z.B. elektive zum Termin vor nicht-elektiven Patienten)
Berücksichtigung von nicht-elektiven Patienten im Modellaufbau (walk-ins)	ja, z.B. Patienten die am Aufnahmetag den Termin verpasst haben (no-show), aber dennoch (später) erscheinen	ja, z.B. kurzfristige Verlegungen von anderen Stationen	ja, z.B. Nachmeldungen oder Patienten die zum Termin nicht da waren (no-show)	ja, z.B. Nachmeldungen oder Patienten die zum Termin nicht da waren (no-show), Patienten der kard. Ambulanz oder ambulant von Notaufnahme kommend
Berücksichtigung von zum Termin ausbleibenden Patienten (no-show)	ja	ja	ja	ja
Berücksichtigung von Notfällen im Modellaufbau/ in der Planung	es gibt keine Notfälle	ja	ja	es gibt keine Notfälle
Grund der Aufnahme/Art der durchzuführenden Maßnahme im Voraus bekannt	nein	nein	nein, Art der Maßnahme erst zum Zeitpunkt der Terminanfrage bekannt	nein, Art der Maßnahme erst zum Zeitpunkt der Terminanfrage bekannt
Maßnahmen-/Prozessdauern	variabel, individuelle Verteilungsfunktion je Maßnahmenart/ Prozessschritt	variabel, individuelle Verteilungsfunktion je Maßnahmenart/ Prozessschritt	variabel, individuelle Verteilungsfunktion je Maßnahmenart/ Prozessschritt	variabel, individuelle Verteilungsfunktion je Maßnahmenart/ Prozessschritt

Tab. 17: Modellannahmen und Abstraktionen (Teil 1/2)

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Beschreibung	kard. Ambulanz	kard. Normalstationen	Herzkatheterlabore (OPs)	Funktionsbereiche (EKG, ECHO)
Patientenverlauf im Voraus bekannt / statisch?	nein, erforderliche Maßnahmen werden erst beim Arztgespräch im Modell bekannt gemacht	nein, erforderliche Maßnahmen werden erst zum Zeitpunkt der Anordnungen durch die Ärzte im Modell bekannt gemacht; Notfälle können zur Liegezeit auftreten	nein, Notfälle können während der Maßnahme auftreten und Verlegung der Patienten auf ITS erfolgen.	ja, Art der durchzuführenden Maßnahme wird bei der Terminvergabe mitgeteilt. Es treten keine Notfälle im Verlauf auf.
Pünktlichkeit der Ärzte zum Termin	pünktlich	pünktlich	pünktlich	pünktlich
Pünktlichkeit der Patienten zum Termin	Patienten können zu früh/zu spät/pünktlich auftreten	Patienten können zu früh/zu spät/pünktlich auftreten	Patienten können zu früh/zu spät/pünktlich auftreten	Patienten können zu früh/zu spät/pünktlich auftreten
Zugangsraten in der Planung unabhängig von Notfallzugängen	ja, es gibt keine Notfälle	nein, Notfallzugänge werden geplanten Zugängen vorgezogen und Planung ist damit indirekt daran ausgerichtet	nein, Notfallzugänge werden geplanten Zugängen vorgezogen und Planung ist damit indirekt daran ausgerichtet	ja, es gibt keine Notfälle
Berücksichtigung von bestehenden Kapazitätsauslastungen in der Planung	ja, belegte Terminkapazitäten in nachgelagerten Funktionsbereichen (EKG/ECHO)	ja, belegte Betten	ja, belegte Terminkapazitäten im Terminkalender der HKLs	ja, belegte Terminkapazitäten im Terminkalendern der EKG-/Echo-Ressourcen
Berücksichtigung von Störungen und Wartungen technischer Geräte	nein	nein	ja	nein
Berücksichtigung der voraus. Dauer bei der Planung	nein	nein	ja	ja
Abbildungsdetail (stage/server)	multi-stage/ multi-server	multi-stage/ multi-server	multi-stage/ multi-server	multi-stage/ multi-server
Patientenklassen	elektiv, nicht-elektiv, Notfall	elektiv, nicht-elektiv, Notfall	elektiv, nicht-elektiv, Notfall	elektiv, nicht-elektiv, Notfall
weitere Patientenklassifizierung	nach dem Zugangspunkt	nach dem Zugangspunkt	nach dem Zugangspunkt	nach dem Zugangspunkt

Tab. 18: Modellannahmen und Abstraktionen (Teil 2/2)

Bezogen auf die stationäre Aufnahmeplanung sind noch folgende Ergänzungen vorzunehmen:

- Es werden Verlegungen zwischen den Stationen berücksichtigt.
- Verlegungen werden von Entlassungen/Todesfällen differenziert.
- Es gibt eine zentrale- (tagsüber) und dezentrale (vorwiegend nachts genutzt) stationäre Aufnahme.
- Die Liegezeit ist im Modell von den durchzuführenden Maßnahmen abhängig und damit je Patient variabel.
- Es besteht im Modell die Möglichkeit der Substitution von stationären Leistungen und ambulanten Leistungen im Modellablauf, z.B. prästationäre Abklärungen in der kard. Ambulanz oder auf den kard. Stationen ohne Zuweisung eines Stationsbettes.

Darüber hinaus:

- sind Ressourcen (Ärzte, Pflegekräfte, Betten, EKG-/ECHO-Geräte etc.) im Modellaufbau parametrisiert. Gleichwohl, wie bei einer Reihenfolgeplanung typisch, keine Planung/Optimierung von Strukturen oder Ressourcen vorgenommen wird.
- erfolgt keine Berücksichtigung von saisonalen Schwankungen.
- erfolgt die Einbestellung der Patienten nach individuellen Einbestellungsregeln oder auf Basis von Patientenlisten mit vorgegebener Uhrzeit (modellunabhängig).
- erfolgt eine Terminanfrage in den Funktions- und OP-Bereichen oder für eine Aufnahme auf den kard. Stationen immer in Bezug auf einen konkreten Patienten.
- können einmal vergebene Termine nicht verschoben werden.
- gehören Patienten immer einer der Gruppen elektiv, nicht-elektiv oder Notfall an.
- werden neue Terminanfragen eingeplant. Es erfolgt im Modell keine Neuplanung⁸⁹.
- können verfügbare Termin mit einem oder mehreren Patienten belegt werden, abhängig vom im späteren gewählten Planungskonzept.
- entspricht die Terminvergabe der first-come, first-served Regel. Es wird der nächst mögliche Termin vergeben, unter Berücksichtigung der bisherigen eingetragenen Termine. Alternativ können im Modell Termine zu konkreten Anfragezeitpunkten, auch über den nächst möglichen Termin hinaus, vergeben werden.
- wird beim Auftreten eines Notfalls, z.B. im HKL, zunächst eine freie Ressource (gemäß Ressourcenerfordernis) gesucht. Sofern keine freie Ressource verfügbar ist, wird die laufende Maßnahme erst abgeschlossen. Anschließend wird der anstehende Notfall abgearbeitet.
- gibt es keine Einschränkungen betreffend etwaiger Krankheitsbilder. Es werden auch keine Patienten abgelehnt (siehe Maximalversorger).
- werden Zufallsverteilungen, z.B. für Maßnahmendauern, auf der Basis von Datenerhebungen im Realsystem (näherungsweise) aufgestellt.
- sind Maßnahmendauern im Modell unabhängig vom jeweiligen Patienten.
- sind zeitliche Varianzen (zusätzlicher Zeitaufwand), welche durch Komplikationen, Unterbrechungen oder Spezialanforderungen während der Durchführung einer Maßnahme entstehen, über die Zufallsverteilung der Servicezeiten abgefangen.

⁸⁹ Eine Neuplanung erfolgt im Späteren durch die Anwendung des Genetischen Algorithmus. Hier kann jedes Individuum als neue Planung gesehen werden, die ins Modell eingestellt und simuliert wird.

- haben Erfahrungswerte und zusätzliche Qualifikation der personellen Ressourcen keinen Einfluss auf die Dauer einer Maßnahme. Das Modell berücksichtigt entsprechend keine Lerneffekte bei den personellen Ressourcen.
- hat die Anzahl der sich in einer Warteschlange befindlichen Patienten keinen Einfluss auf die Länge der Bearbeitungszeiten.
- bedarf eine HKL Untersuchung bei einer Intervention (z.B. Behebung einer Verengung) der Anwesenheit eines zweiten Untersuchers, wovon ein Untersucher ein Facharzt sein muss. Für den Modellaufbau wird angenommen, dass die bei Interventionen zusätzlich erforderliche ärztliche Ressource zum Zeitpunkt der Durchführung vorhanden ist⁹⁰.
- erfolgt im Modell keine gesonderte Betrachtung von Privat- und Kassenpatienten, sofern es auf Seiten des Ablaufprozesses keine Differenzierung gibt.
- wird die Verfügbarkeit von Medikamenten und Verbrauchsmaterialien unterstellt.
- wird in Bezug auf die Ressourcenverfügbarkeit von einer normalen Schichtbesetzung zu den regulären Öffnungszeiten ausgegangen. Schließungen von Bereichen und Reduzierung von Kapazitäten, zu Zeiten wie Weihnachten oder Ostern, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgeblendet.
- wird, entsprechend den erhobenen Daten, von einem Normalzustand/regulären Tagesgeschäft ausgegangen. Extremszenarien, wie Havarien, werden ausgeklammert und sind nicht direkter Betrachtungsgegenstand.

Als wesentliche Annahmen, die den Modellaufbau vereinfachen, verbleiben somit:

- keine Berücksichtigung von saisonalen Schwankungen,
- Ärzte sind immer pünktlich,
- das Vorhandensein personelle Ressourcen, speziell in den OPs (HKLs), wird unterstellt und
- die Maßnahmendauern sind unabhängig vom jeweiligen Patienten.

Damit grenzt sich die vorliegende Arbeit im Betrachtungsgegenstand deutlich von bestehenden Arbeiten ab, indem viele der bisher in der Literatur getätigten Annahmen fallen gelassen wurden. Auch in Bezug auf hier getätigte Eingrenzung oder Vereinfachungen besteht im Modell grundsätzlich die Möglichkeit der Erweiterung und damit Reduzierung dieser.

⁹⁰ In den betrachteten Einrichtungen war in Einrichtung 1+3 ein OA fest dem HKL zugeteilt und fast durchgängig im HKL anwesend. In Einrichtung 2 waren mehrere OA auf Abruf verfügbar und zu Interventionen entsprechend temporär vor Ort.

9.6 Modelltransformation - Automatisierte Modellgenerierung aus Behandlungspfaden

Modelltransformation bezeichnet den Schritt der Überführung eines Realsystems oder einen Ausschnitt dessen in ein Modell (siehe Unterabschnitt 4.8.4). Hierbei kommen Abstraktionen und Eingrenzungen zum Tragen [Stachowiak 1973, S. 131 ff.]. Die Modellerstellung ist im Zuge dessen von dem Wissen und Know-how des Modellerstellers geprägt. Krankenhäuser verfügen zwar über das erforderliche Domänenwissen, aber nur selten über die nötige Expertise zum selbständigen Aufbau eines Simulationsmodells. Das fehlende Know-how muss erst langfristig aufgebaut oder teuer zugekauft werden. Hinzugezogene Simulationsexperten stehen wiederum vor dem Problem, zunächst aufwendig das Domänenwissen sammeln zu müssen, welches für die Modellerstellung erforderlich ist (siehe Kapitel 6 zur hier erfolgten Prozess- und Datenerhebung). Die aktuelle Herausforderung wird darin gesehen, den Klinikmitarbeitern (Domänenexperten) den Aufbau von Simulationsmodellen zu ermöglichen, resp. den Wissenstransfer zum Simulationsexperten zu erleichtern und ggf. zu automatisieren. Zu diesem Zwecke wurde bereits in Salzwedel et al. [2007] eine Bibliothek mit wiederverwendbaren, klinischen Modellbausteinen entwickelt, welche den Aufbau eines Simulationsmodells erleichtern und beschleunigen. Hinsichtlich der Modelltransformation mangelt es jedoch an unterstützenden Systemen, speziell zum Wissenstransfer und einen noch zu untersuchenden Grad der Automatisierung, Formalisierung und Standardisierung, welcher über das bisherige Maß der Unterstützung durch Modellierungswerkzeuge und Simulationssysteme hinausgeht. Dies würde den Aufbau eines Simulationsmodells weiter vereinfachen und beschleunigen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz zur automatisierten Modelltransformation von in eEPK dokumentierten Prozessabläufen entwickelt, welcher im Zuge der Transformation die Prozesselemente mit zur Ausführung erforderlichen Funktionalitäten anreichert. Dieser Ansatz ist als eigenständiger Teil in Kühn et al. [2013a] veröffentlicht und wurde beim vorliegenden Modellentwurf angewendet, um daran die Funktionsfähigkeit und den Nutzen dessen zu untersuchen. Insbesondere wird hiermit aufgezeigt, wie die von Ammon [2006, S. 62 f., 119] angeführte Lücke der mangelnden Simulationsressourcen und fehlenden Funktionalitäten geschlossen werden kann.

9.6.1 Ausgangsbasis der Transformation

Ausgangsbasis der Modellerstellung sind Behandlungspfade und deren Dokumentationen. Behandlungspfade stellen Prozesse dar. Nach Rosemann stellt ein Prozess:

„... die inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Abfolge der Funktionen dar, die zur Bearbeitung eines betriebswirtschaftlich relevanten Objektes ausgeführt werden.“ [Rosemann 1996, S. 9].

Prozessdokumentationen werden im Rahmen der Darstellung der Ablauforganisation eingesetzt, im Speziellen im Rahmen der Zertifizierung, z.B. nach DIN ISO 9000 ff. [Rosemann 1996, S. 42]. Wie von Ammon [2006, S. 62 f., 119] ausgeführt wurde, sind die Prozessbeschreibungen im Allgemeinen unvollständig, nicht standardisiert und bedürfen zur Erzeugung ausführbarer Modelle manueller Erweiterungen. Auch in den betrachteten Referenzeinrichtungen lagen nur wenige, unvollständige und informale Prozessbeschreibungen, z.B. in Textform, vor. Um Prozessbeschreibungen einer automatischen Modelltransformation zugänglich zu machen, bedarf es der Dokumentation in einem standardisierten Format. Dies könnte einheitlich, bezogen auf alle Prozesse einer Klinik, genutzt werden und würde damit zusätzlich zur Vereinheitlichung und nachhaltigen Wissensdokumentation beitragen⁹¹. Hierfür bietet sich die in den aufgeführten Ansätzen genutzte Darstellungsform als ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) an. Bei ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) handelt es sich um die weitverbreitete Technik zur Modellierung und Visualisierung von Geschäftsprozessen nach Keller et al. [1992]. Eiff & Ziegenbein [2001] zeigen, dass EPKs auch zur Dokumentation von klinischen Behandlungspfaden und Krankenhausprozessen eingesetzt werden können. Auf der Basis des neuen, standardisierten Austauschformates für ereignisgesteuerte Prozessketten (EPML) und in XSLT dokumentierter Transformationsregeln wird es als möglich erachtet, EPKs an das Simulationsmodell zu übergeben. Im Zuge der Transformation wird versucht, fehlende zur Simulation erforderliche Beschreibungen und Simulationsressourcen in der EPK-Notation zu ergänzen (eEPK) sowie die erforderliche Funktionalität zu schaffen, um das erzeugte Simulationsmodell ausführbar zu machen. Der beschriebene Ablauf der Transformation ist in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht (siehe Abb. 79).

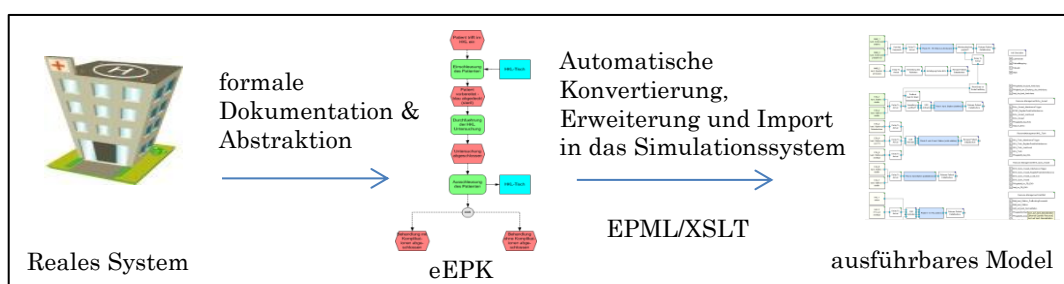


Abb. 79: Schematischer Ablauf des Transformationsansatzes (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 21])

Da das Simulationsmodell auf Basis von in EPK dokumentierten Behandlungsverläufen erstellt wird, werden im Folgenden zunächst kurz die

⁹¹ Z.B. in Bezug auf ein Prozesshandbuch zur Qualitätssicherung oder das Dokumentationserfordernis im Rahmen der DIN ISO 9000 ff. Zertifizierung.

Grundlagen zu Behandlungspfaden, den EPKs und der hier eingesetzten Auszeichnungssprache (EPML) geschildert.

(a) Behandlungspfad

Behandlungspfade legen den allgemein anerkannten Weg der Patienten, verbunden mit diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen und deren zeitliche Abfolge, für einen bestimmten Falltyp fest. Der Pfad steuert ausgehend von einer Diagnose oder definierten (Leit-) Symptomen den Behandlungsprozess und dient ebenso der behandlungsbegleitenden Dokumentation des Einzelfalls [Wenzlaff 2006, S. 272–274; Greiling 2007, S. 112 f.]. Ein Behandlungspfad stellt keinen Eingriff in die Therapiefreiheit des Arztes dar. In individuellen Fällen ist ein Abweichen vom Pfad immer erlaubt, bedarf aber der Begründung [Thun 2006, S. 204; Greiling 2007, S. 112].

(b) Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)

Eine EPK besteht aus einem Startereignis und gemäß der Notationsregel aus einer alternierenden Abfolge von Funktionen und Ereignissen. Diese sind miteinander verbunden, was den Kontrollfluss darstellt und die Ablaufrichtung festlegt. Konnektoren ermöglichen die Abbildung von Verzweigungen und Zusammenführungen. Es wird in disjunkte (XOR), adjunkte (OR) und Konjunktoren (AND) unterschieden (siehe Abb. 80 – links). Je nachdem, ob es sich um eine Verzweigung oder Zusammenführung handelt, haben die Konnektoren mehrere Ein- oder Ausgänge. Konnektoren können auf Funktionen und auf Ereignisse folgen, wobei es dahingehend Einschränkungen gibt. Auf einen disjunkten und adjunkten Konnektor dürfen keine Funktionen folgen. Ebenso darf auf ein Ereignis nur ein konjunktiver Konnektor folgen [Keller et al. 1992, S. 15 f.] (siehe Abb. 81).

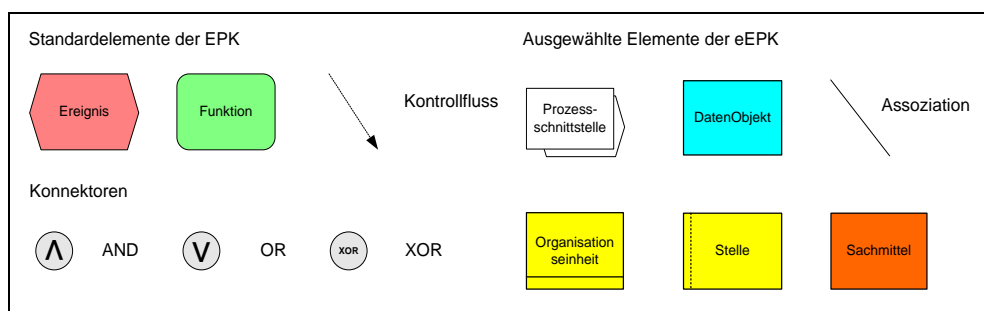


Abb. 80: Elemente einer EPK und ausgewählte Elemente der Erweiterung

In der weiteren Entwicklung der EPK wurden Sprachelemente zu einer erweiterten EPK (eEPK) ergänzt (siehe Abb. 80 – rechts). Es existiert jedoch keine einheitliche Auffassung zum Umfang der Erweiterungen. Zu den Erweiterungen zählt u.a. die Zuordnung von Zuständigkeiten, wie Stelle, Organisationseinheit oder von Sachmitteln, zu einer Funktion. Die Zuordnung erfolgt über eine Assoziation. Mittels

dem Element der Prozessschnittstelle kann auf vor- oder nachgelagerte EPKs verwiesen werden [Krumnow et al. 2008, S. 11–12]. Ebenso ist eine Verfeinerung von Funktionen möglich. Dies erlaubt eine Wiederverwendung von Prozessabschnitten und eine hierarchische Modellierung [Klein et al. 2004, S. 4–6].

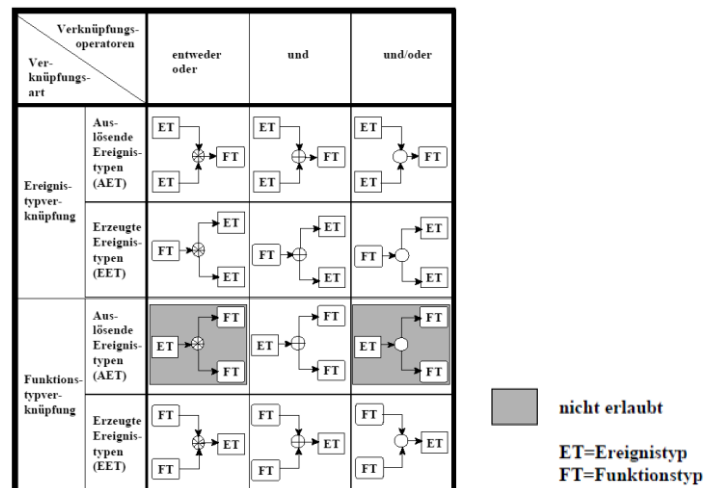


Abb. 81: Verknüpfungsarten in der EPK-Semantik [Keller et al. 1992, S. 15]

(c) Event-Driven Process Chains Markup Language (EPML)

Standardisierungsbemühungen seitens der EPC research community haben zu einem XML-basierten freien und offenem Austauschformat für ereignisgesteuerte Prozessketten geführt, der EPC Markup Language (EPML) [Mendling & Nüttgens 2003, 2005]. Mit Hilfe dessen kann es möglich sein die in EPK-Form dokumentierten Behandlungspfade in den MLDesigner zu übertragen. Entsprechende Konzepte zur Konvertierung der XML-Daten in Modellbausteine liegen bereits vor (siehe [Ammon 2006; Helbing 2008]). In diesem Zusammenhang wurde jedoch der Einsatz von EPML zur automatisierten Transformation noch nicht untersucht. Freie Werkzeuge mit EPML-Unterstützung finden sich im Oryx Editor in Kombination mit dem APROMORE (Advanced Process Model Repository). Darüber hinaus gibt es mit SemTalk auch eine Erweiterung für Microsoft Visio, welche das Ausgabeformat EMPL unterstützt [SemTalk GmbH 2011]. Hinsichtlich des möglichen Einsatzes wurden beide Editoren getestet. Der Oryx-Editor in Verbindung mit AProMoRe unterstützt zum Betrachtungszeitpunkt noch keine Hierarchien und arbeitet noch nicht konsistent nach den Notationsregeln bei dem verwendeten EPML 2.0. Der SemTalk Editor unterstützt alle hier erforderlichen Elemente und setzt diese konform zu EPML 1.1 um. Daher wird im Weiteren der SemTalk Editor eingesetzt und für die weitere Arbeit das EPML-Format in der Version 1.1 nach Mendling & Nüttgens [2004, S. 66 ff.] zugrunde gelegt.

9.6.2 Auswahl und Modellierung der Behandlungspfade

Ausgangsbasis der Betrachtung sind klinische Prozesse und im Speziellen Behandlungspfade. Im Sinne der Modellerstellung sind nun die zu simulierenden Behandlungspfade (Prozesse) aufzustellen. Hierbei wird der Ansatz von Brettel zur flussorientierten Planung im Krankenhaus aufgegriffen (siehe Abb. 82) [Brettel 1999, S. 767 ff.].

In Unterabschnitt 2.4.7 wurde aufgeführt, dass eine Gruppierung resp. Klassifikation der Patienten resp. der erhobenen Daten einen Beitrag zur Reduktion der Komplexität und zur einfacheren Analyse der Daten leisten kann. Es erfolgt hier eine Gruppierung der Patienten auf der Basis des Behandlungsablaufes, aufgrund medizinischer oder organisatorischer Gegebenheiten sowie nach der Patientengruppe (elektiv, nicht-elektiv, Notfall). Die Prozess- und Datenerhebung hat hierfür die Grundlage gebildet (siehe Kapitel 6).

Die folgende Aufstellung und die nachfolgende Tab. 19 geben eine Übersicht der im Weiteren betrachteten Behandlungspfade und grenzen diese voneinander ab.

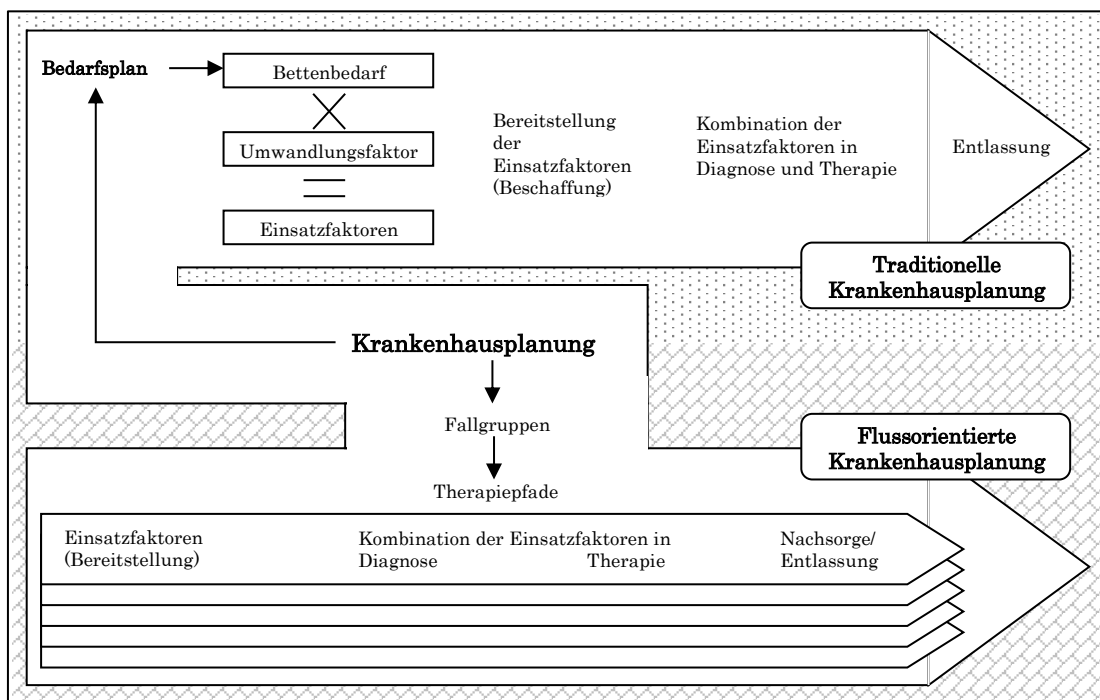


Abb. 82: Gegenüberstellung traditionelle und flussorientierte Planung im Krankenhaus [Brettel 1999, S. 768]

1. Patienten von extern, welche elektiv auf einer kard. Station aufgenommen werden, ggf. mit einer HKL-Untersuchung im Behandlungsverlauf (auch elektive Verlegungen von externen Kliniken auf eine kard. Station) (elektiv; stationär)
2. Patienten von extern, welche elektiv auf einer kard. Station prästationär aufgenommen werden, zur Abklärung einer HKL Untersuchung (elektiv; prästationär), sofern HKL Untersuchung erforderlich, Einbestellung am Folgetag (max. 3 Tage später) für HKL
3. Patienten von sonstigen Stationen, welche zur weiteren Abklärung und Behandlung auf eine kardiologische Station verlegt werden (nicht-elektiv; stationär)
4. Patienten von extern, welche als Notfall in die Notaufnahme kommen und zur weiteren Behandlung auf eine kard. Station verlegt werden (Notfall/nicht-elektiv; stationär)

5. Patienten von externen Kliniken, welche elektiv im HKL einbestellt werden, mit der Absicht einer HKL Untersuchung (elektiv; ambulant – Rücktransport zur entsendenden Klinik),
6. Patienten von sonstigen Stationen, mit der Absicht einer HKL Untersuchung (Anmeldung im HKL am Vortag) (elektiv)
7. Patienten von sonstigen Stationen, welche notfallbedingt direkt zur Behandlung ins HKL müssen (Notfall),
8. Patienten von extern, welche als Notfall in die Notaufnahme kommen und direkt zur Behandlung ins HKL müssen, z.B. STEMI, (Notfall, stationär)

9. Patienten von extern, welche ambulant zum Echo einbestellt sind (elektiv) (nicht über kard. Ambulanz)
10. Patienten von sonstigen Stationen, welche ambulant zum Echo kommen (elektiv/nicht-elektiv)
11. Patient von Notaufnahme oder sonstigen Ambulanzen, welcher ambulant zum Echo kommt (nicht-elektiv, ambulant)

12. Patienten von extern, welche ambulant zum EKG kommen (elektiv) (nicht über kard. Ambulanz)
13. Patienten von sonstigen Stationen, welche ambulant zum EKG kommen (elektiv/nicht-elektiv)
14. Patient von Notaufnahme oder sonstigen Ambulanzen, welcher ambulant zum EKG kommt (nicht-elektiv, ambulant)

15. Patienten der kard. Ambulanz, welche von extern einbestellt werden und im weiteren Verlauf ggf. Echo, EKG erhalten (elektiv, ambulant)
16. Patienten von extern, welche elektiv in der kard. Ambulanz einbestellt werden, zur Abklärung einer HKL Untersuchung (elektiv; ambulant), stationäre Aufnahme erfolgt am Folgetag (max. 3 Tage später)

17. Kontroll- und Verwaltungspfade z.B. zum Blockieren und Entziehen der Ressourcen bei Wartungen, Pausen etc.

Pfad	Zugangspunkt	von wo kommend	elektiv	Notfall	nicht-elektiv	Aufnahme auf kard. Station	Aufnahme auf Notfallstation	Ambulante Aufnahme (in der kard. Ambulanz)	Stationäre Verlegung (intern)	Anamnese Pflege (auf kard. Station)	Anamnese Ärzte (auf kard. Station)	Voruntersuchungen (nicht invasive klinische Diagnostik, z.B. EKG, ECHO, Blutanalyse in den Funktionsbereichen – keine Notfälle)	Vorbereitung für OP (HKL) (auf kard. Station)	Maßnahme im OP (HKL)	Liegezeit auf kard. Station
1	kard. Stationen	extern	X	0	0	X	0	0	0	X	X	X	(X)	(X)	X
2	kard. Stationen (mit Wiederaufnahme)	extern	X	0	0	prästationär	0	0	0	X	X	X	0	0	0
3	kard. Stationen	sonst. Stationen	0	0	X	X	0	0	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	X
4	kard. Stationen	über Notaufnahme	0	0	X	X	0	0	X	X	X	X	(X)	(X)	X
5	HKL	extern (externe Klinik)	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0
6	HKL	sonst. Stationen	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0
7	HKL	sonst. Stationen	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	(X)
8	HKL	über Notaufnahme	0	X	0	0	X	0	0	0	0	0	0	X	X
9	Echo	extern	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
10	Echo	sonst. Stationen	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
11	Echo	über Notaufnahme/ sonst. Ambulanzen	0	0	X	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
12	EKG	Extern	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
13	EKG	sonst. Stationen)	X	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
14	EKG	über Notaufnahme/ sonst. Ambulanzen))	0	0	X	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
15	kard. Ambulanz	extern	X	0	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0
16	kard. Ambulanz (mit Wiederaufnahme)	extern	X	0	0	0	0	X	0	0	0	X	0	0	0
17	Kontroll- und Verwaltungspfade	-													

Tab. 19: Gruppierung der Patienten anhand des groben Behandlungsverlaufes

Tab. 19 veranschaulicht die aufgestellten Pfade und differenziert diese in Bezug auf den Erstkontakt und den jeweiligen weiteren Verlauf der Patienten auf den Pfaden⁹². Die Ablaufpfade wurden als eEPK umgesetzt und sind im Anhang A47 für die Einrichtung 3 angehängt. In Ergänzung dessen ist als Anhang A48 der Pfad 15 um den Pfad 16 (prästationäre Abklärung innerhalb der kard. Ambulanz) ergänzt. Diese Möglichkeit der ambulanten Abklärung wird jedoch für die Einrichtung 3 nicht praktiziert. Als Ansatz der späteren Modelloptimierung (Substitution stationärer Leistung) soll dieser Pfad als möglicher ergänzender Ablauf (entsprechend den Gegebenheiten in Einrichtung 1) berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurde der Pfad modelliert, ist Teil der Modelltransformation und wird im Zuge dessen mit validiert. Bei der Modellierung der Prozessabläufe wurden die Grundsätze Ordnungsmäßiger Modellierung (GOM) nach Becker et al. [1995] beachtet. Zur Abbildung von Assoziationen und Ressourcen wurden Elemente der erweiterten EPK (eEPK) angewendet.

Entsprechend der Definition eines Behandlungspfades können Abweichungen von dem Standard auftreten, z.B. durch Komplikationen und im Speziellen durch eintretende akute Verschlechterungen im Gesundheitszustand der Patienten (Notfälle). Dies ist in der Pfadaufstellung nicht direkt berücksichtigt, wird aber im späteren Modellablauf derart umgesetzt, dass die Patienten im Simulationsmodell eine höhere Priorität zur Abarbeitung bekommen oder bei einem solchen Ereignis den Pfad wechseln können.

9.6.3 Transformation einer eEPK

Ausführbare Simulationsmodelle, wie sie hier verstanden werden (grafisch-mathematisch), können als Blockdiagramm umschrieben werden. Die Funktionalität der Blöcke eines Blockdiagramms ist gegeben aus der Struktur und der Verbindung der Blöcke miteinander. Im Rahmen des Simulationsmodells entspricht ein Block entweder einem Modul oder einem Primitive (siehe Abschnitt 9.1 zu Primitiven und Modulen). Zum Zweck der automatisierten Transformation benötigen die eEPK-Elemente eine passende Zuordnung zu Elementen der Simulationsumgebung. Nachfolgende Grafik veranschaulicht die Problemstellung und die Schnittmenge der

⁹² Die getroffene Methodik zur Abgrenzung entspricht dem Patienten Management Path-Ansatz (siehe [Leidl 1987, S. 42 f.]). Dem entgegen wäre z.B. auch eine Klassifizierung nach dem DRG-System möglich. Dieses orientiert sich aber an medizinischen Gegebenheiten und bündelt vergleichbare Fälle. Abschließend erfolgt jedoch eine Gruppierung anhand der Fallkosten. In einer DRG werden Fälle zusammengefasst, welche vergleichbare durchschnittliche Kosten haben [Fleßa 2013, S. 145]. „Eine medizinische Vergleichbarkeit von Fällen innerhalb einer DRG ist damit nicht beabsichtigt.“ [Fleßa 2013, S. 145]. Da eine DRG-Gruppe die Patientenverläufe entsprechend nicht ausreichend eindeutig wiedergibt, wurde hiervon Abstand genommen.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

EPK-Prozessbeschreibungen (Prozessmodell) und dem angestrebten Simulationsmodell (siehe Abb. 83).

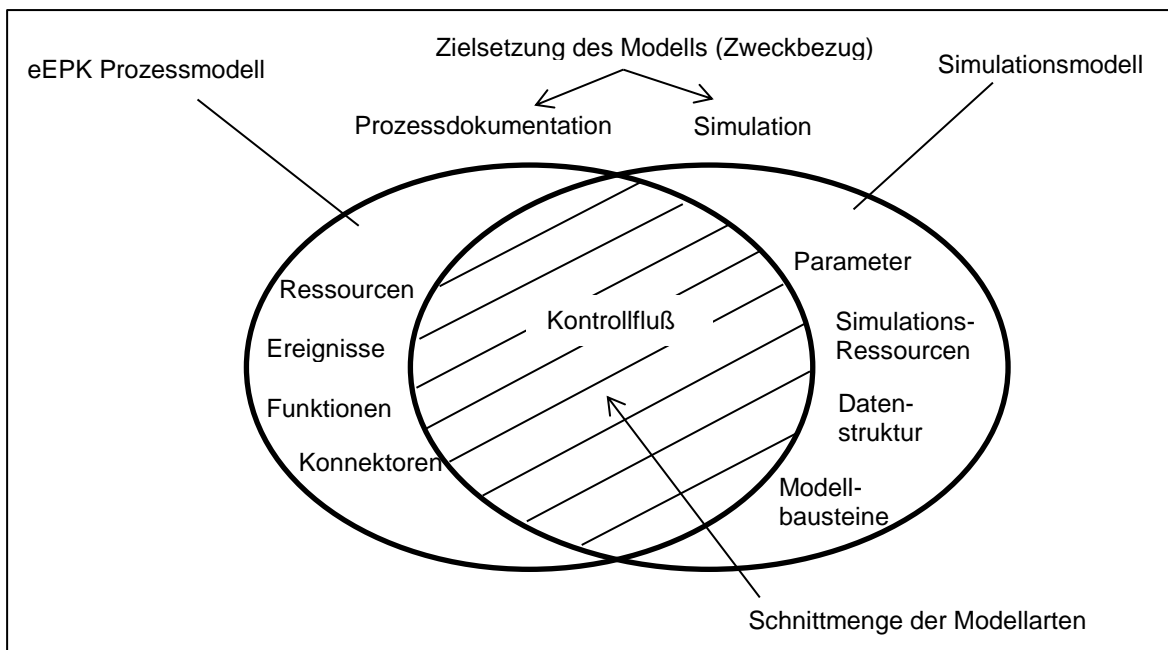


Abb. 83: Schnittmenge der Modellarten (Idee der Darstellung nach Prof. Dr.-Ing. Salzwedel)

Um passende Zuordnungen zu finden, bedarf es zunächst einer genaueren Betrachtung der Semantik der EPKs im Allgemeinen und im Speziellen, bezogen auf den Anwendungsfall der Behandlungspfade. Sobald eine passende Semantik der einzelnen Elemente gefunden ist, kann nach Entsprechungen auf Seite des MLDesigners gesucht werden.

Die Transformationsregeln für die Überführung einzelner EPK-Elemente in Elemente des Simulationssystems werden im Anhang 0 schrittweise erläutert. Hierfür werden eine spezifische Semantik für EPK-Elemente und mögliche Implementierungen vorgestellt. Eine Gesamtübersicht der eEPK-Elemente und deren im Anhang erläuterte Zuordnung ist als Schaubild im Anhang A49 angefügt.

Ausführbare Modelle benötigen über dies hinausgehende Funktionalität innerhalb der Blöcke, über welche die bestehende Prozessdokumentation als EPK nicht verfügt. Im Anhang A51 werden die automatisierte Modellgenerierung aus Behandlungspfaden, die Anreicherung der eEPK-Elemente mit Funktionalität die EPML-Kodierung und die Ausführung der Transformation im Detail beschrieben. Einen wichtigen Sachverhalt stellen in diesem Zusammenhang die Verifizierung des entwickelten Konverters, die Validierung des Transformationsmodells sowie des Transformationskonzepts dar. Die Erläuterungen zum Vorgehen hierzu sind im Anhang A52 angeführt.

9.6.4 Erkenntnisse und Ausblick bezogen auf die automatisierte Modelltransformation

Es wurde im Rahmen dieser Arbeit gezeigt, dass in eEPKs dokumentierte Prozesse (hier Behandlungspfade) automatisiert in eine MLDesigner-Struktur überführt, mit Basisfunktionalität sowie Simulationsressourcen angereichert und somit zu einem ausführbaren Simulationsmodell transformiert werden können. Hierzu wurde eine entsprechende Semantik aufgebaut, eine Bibliothek an instanziierten Basis-Bausteinen entsprechend den EPK Erfordernissen entwickelt und ein Konverter implementiert, welcher die in XSLT definierten Transformationsregeln umsetzt. Auf Basis einer Template-Struktur und dem umgesetzten Style-Sheet-Design ist eine leichte Adaption des Konverters auf andere Simulationssysteme als Zielsystem möglich. Auch Kloos bestätigt in seiner zwischenzeitlich getätigten Arbeit, dass „... es als belegt angesehen werden [kann], dass eine Transformation automatisch erfolgen kann.“ [Kloos 2014, S. 438]. Die Herleitung der Transformationsregeln wurde durch Kloos für die Klasse der eEPK, den BPMN Prozess und das UML Aktivitätsdiagramm vollzogen [Kloos 2014, S. 437].

In der vorliegenden Arbeit wurde auf die Transformation einer EPK bezogen gezeigt, dass die Standardelemente der EPK nicht ausreichend sind. Speziell für die Abbildung von Simulationsressourcen, musste eine Lösung gefunden werden. Hierzu wurde auf nicht spezifizierte Erweiterung der EPK Notation (eEPK) zurückgegriffen und in Kühn et al. [2013a, S. 28] ein Vorschlag unterbreitet, wie dies zukünftig gelöst werden könnte (siehe Anhang A53 im Detail). Bezogen auf den vorliegenden Transformationsansatz wurden die Grenzen der Automatisierung aufgezeigt, speziell in Bezug auf die Parametrisierung und den jeweiligen Zweckbezug des Simulationsmodells. Auch sind der automatisierten Transformation Grenzen gesetzt, welche sich auf die eEPK Modellierung beziehen. Es wurde ausgeführt, dass die Reihenfolge der Ressourcenallokation in der eEPK abgebildet werden muss, sofern die Reihenfolge für die Simulation von Relevanz ist. Im Zuge dessen ist darauf zu achten, die aufgeführten eEPK-Elemente für Ressourcen zu verwenden (siehe Anhang A49), die über mehrere Funktionen hinweg allokiert werden (Datenobjekt) im Vergleich zu denen, die nur in Bezug auf eine EPK-Funktion eingebunden sind (Sachmittel, Stelle). Damit eine Verfeinerung (untergeordnete EPK) im Simulationsmodell korrekt abgebildet wird, ist darauf zu achten, dass eine Verfeinerung immer alle Ereignisse als Eingänge haben, wie auf der höheren Hierarchieebene an Ereignissen auf die Verfeinerung verweisen. Ebenso gilt dies für die Ausgänge der Verfeinerung in Bezug auf die von der Verfeinerung wegführenden Ereignisse auf der höheren Ebene. Schließlich wurde ausgeführt, wie für Krankenhausprozesse in Bezug auf das Patientenerfordernis quasi-sequentielle Abläufe in der eEPK effizient abgebildet werden können. Weiterhin wurde gezeigt, dass Schleifen innerhalb der eEPK

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

problematisch sind. Hierzu zählt die automatische Erkennung von Schleifen im eEPK-Ablauf und das damit verbundene Problem mit der Synchronisation der Partikel bei XOR und OR Konnektoren beim wiederholten Durchlauf einer Schleife. Das Problem tritt an den eingehenden Feedbackschleifen auf und bedarf weiterführender Betrachtung hinsichtlich einer automatisierten Berücksichtigung zur Laufzeit der Transformation.

Darüber hinaus wurde auf die potentielle Gegebenheit von eintretenden Deadlocks im Ausführen des Transformationsergebnisses hingewiesen. Dies betrifft die Abbildung von mehreren zu allozierenden Ressourcen an einem Prozessschritt. Ein gegenseitiges Blockieren kann auftreten, wenn z.B. an zwei Stellen jeweils mehrere Ressourcen zu allozieren sind und es sich an beiden Positionen im Modell um die selbigen handelt. Haben die erforderlichen Ressourcen eine Kapazität von 1, können sich die Prozessschritte gegenseitig blockieren, wenn diese jeweils eine Ressource alloziert haben und auf die andere warten. Das Problem ist nicht trivial und konnte bei der Transformation nicht automatisch aufgelöst werden. Es bedarf somit einer manuellen Prüfung auf solche Gegebenheiten und einer geeigneten Allokationsstrategie zur Auflösung.

Als Resultat der Transformation in der hier vorliegenden Arbeit entstand ein Simulationsmodell, bestehend aus EPK- und Funktionsmodulen. Die in den eEPK-Diagrammen formalisierte Information ist wesentlicher Bestandteil der EPK-Module. In Folge dessen benötigen diese im Weiteren nur geringfügige Anpassungen. Funktionsmodule stehen für im eEPK-Diagramm nicht weiter formalisiertes Modellverhalten. Die hier vollzogene automatisierte Transformation hat für die Funktionsmodule eine Basisfunktionalität hinterlegt, wie Zeitverbrauch und Nutzung von Ressourcen. Es wird einfache Funktionalität bereitgestellt, die zunächst nur die Simulationsfähigkeit des Modells ermöglicht. Im Weiteren muss das an dieser Stelle generierte Simulationsmodell ausgebaut und spezifisch erweitert werden, um dem Zweck der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten gerecht zu werden (Schaffung des Zweckbezugs). Dahingehend werden die Funktionsmodule durch zweckspezifische, im Folgenden noch umzusetzende Bausteine ersetzt. Dies zeigt im weiteren Verlauf, ob der hier eingesetzte Transformationsansatz auch geeignet und flexibel genug ist, um weiterführende Modellzwecke zu ermöglichen und damit das angestrebte Ziel und den Mehrwert für die Modellerstellung zu erreichen. Im Zuge dessen erfolgt dahingehend am finalen Simulationsmodell im Späteren noch eine umfangreiche operationale Modellvalidierung mittels Testdaten aus dem Realsystem.

9.7 Umsetzung der Planung im Ist-Modell – Herstellung des Zweckbezugs

Das zuvor mittels importierter eEPKs automatisiert erstellte Simulationsmodell wird nun zielbezogen erweitert (Schaffung des Zweckbezugs). Zunächst wird im Folgenden auf die Umsetzung der Planung eingegangen. Es wird im Ist-Modell der in Unterabschnitt 2.4.5 aufgeführten Differenzierung in die Planungsebenen Zugangskontrolle, Terminplanung sowie die Patientenauswahl, gefolgt. Dahingehend wird im Folgenden zunächst auf deren Zusammenspiel derer im Modell eingegangen und die Umsetzung anschließend im Detail erläutert. Die jeweiligen Ausführungen werden im Folgenden bezogen auf die Einrichtung 3 beschrieben. Hierbei wird darauf Wertgelegt, dass planungsrelevante Unterschiede zu den anderen Referenzeinrichtungen einfließen, sofern diese für die Planung und das spätere Soll-Konzept von Belang sind.

9.7.1 Erläuterung des Zusammenwirkens der Planungsebenen

Die in Unterabschnitt 2.4.5 definierten Planungsebenen sind in der nachfolgenden Grafik im Zusammenspiel und den jeweiligen Wirkungsbereichen im Modellaufbau am Beispiel ausgewählter Patientenzuflüsse des HKLs veranschaulicht (siehe Abb. 84).

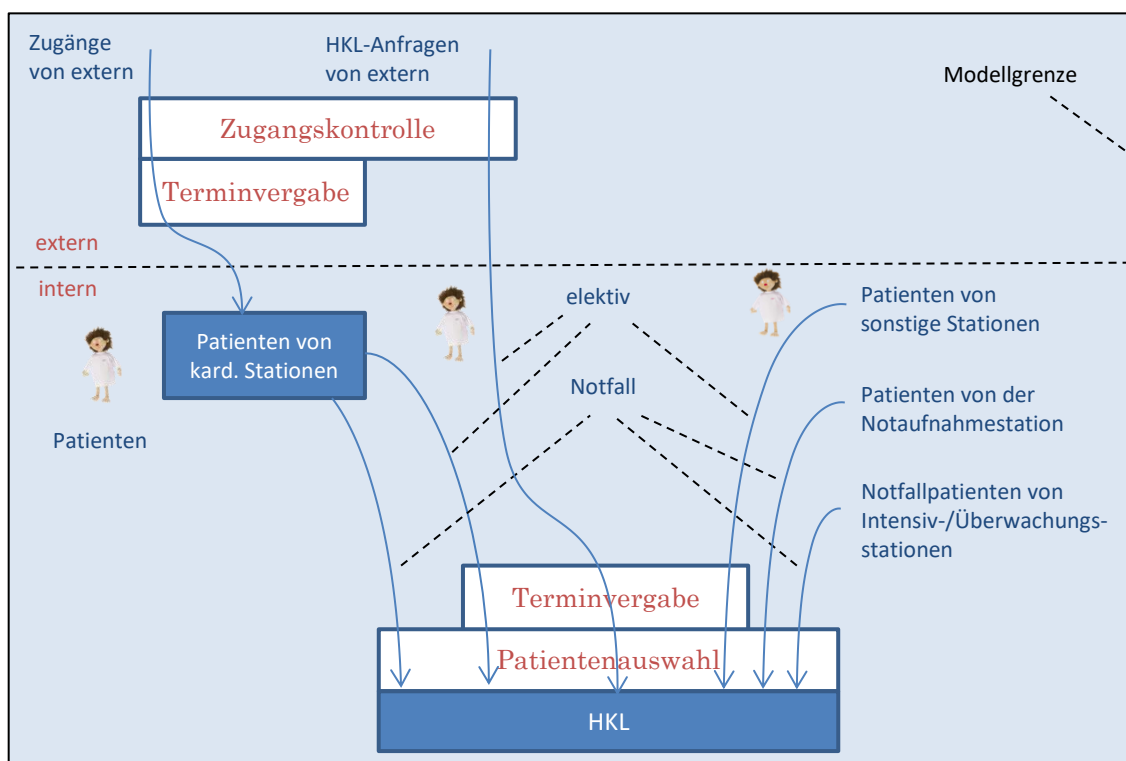


Abb. 84: Übersicht der Planungsebenen – mit Wirkungsbereichen am Beispiel des HKL

In der Zugangsplanung, werden die Anzahl der elektiven Patienten (von extern) je Wochentag geplant. Dem Umfang an Patienten(anfragen) denen Zugang gewährt

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

wird erhalten hierbei einen Tag zugewiesen. Im Anschluss folgt die Terminvergabe, wo ein konkreter Aufnahmetermin (Stunde, Minute) zugeteilt wird. Schließlich werden die Patienten zum Termin den kard. Stationen zugeführt und aufgenommen. Bezogen auf eine angesetzte HKL-Maßnahme durchlaufen die Patienten von den kard. oder sonstigen Stationen im Modell die Terminvergabe, um einen Maßnahmetermin zu erhalten. Zum Termin werden diese dann im Rahmen der Patientenauswahl der Ressource zur Durchführung der Maßnahme zugeleitet. Notfälle aus dem internen Ablauf heraus durchlaufen nicht die Terminanfrage, sondern werden gleich der Patientenauswahl zugeführt. Bei dem Sonderfall der Anfragen von extern für eine ambulante Maßnahme im HKL durchläuft der Patientenpartikel zunächst auch die Zugangskontrolle. Hierbei wird der Tag des Zugangs zugewiesen. Die Terminvergabe läuft aber nun aber direkt über das HKL. Im weiteren Verlauf, wird der Patientenpartikel modellseitig zum Termin der Patientenauswahl und schließlich der Ressource zur Abarbeitung zugeführt. Im Modell kann zwischen Anfragepartikeln und Patientenpartikeln differenziert werden. In der Umsetzung im Modell kann dies ein und derselbe Partikel sein, welcher je nach Zeitpunkt im Ablauf einen Anfrage- oder den Patientenpartikel repräsentiert.

Rudimentäre Module für Terminanfragen sind im Modell in den aufgestellten Pfaden bereits berücksichtigt, bedürfen aber noch konkreter Funktionserweiterungen. Ebenso muss u.a. die geschilderte Funktionalität der Zugangskontrolle, der Terminvergabelogik und der Auswahlmethodik implementiert werden. Hierzu wird im Folgenden ausgeführt.

9.7.2 Zugangskontrolle

Die Zugangspunkte, welche innerhalb der Modellabgrenzung Betrachtung finden und einer Zugangsplanung/-kontrolle unterliegen, sind:

- die kard. Stationen, welche die reguläre stationäre Aufnahme elektiver kard. Patienten innehaben,
- die kard. Ambulanz, welche die ambulante, nicht-stationäre Aufnahme und Behandlung von kard. Patienten inne hat sowie
- die Bereiche Herzkatheterlabor, Elektrokardiografie und Echokardiografie, jeweils für sich betrachtet für Anfragen ambulanter Behandlung von extern.

Der OP-Bereich HKL ist hier in Bezug auf elektive Patienten als eigener Zugangspunkt zu sehen, da, wie ausgeführt, z.B. umliegende Kliniken, die selber über kein Herzkatheterlabor verfügen, vertraglich die Patienten vorbereiten und für die Dauer der HKL-Maßnahme (ambulant) an das HKL überstellen. Ebenso ist dies für die Echokardiografie und die Elektrokardiografie zu sehen. Hausärzte oder Kardiologen von außerhalb senden die Patienten zur jeweiligen Maßnahme in diese

Funktionsbereiche der betrachteten Referenzkliniken. Innerhalb der Gruppe der Referenzeinrichtungen war die Ausprägung, ob es diese Möglichkeit resp. vertraglichen Vereinbarungen zur ambulanten Durchführung von Maßnahmen gibt, unterschiedlich ausgeprägt. Da die Möglichkeit grundsätzlich aber besteht, wird dies hier und im Planungskonzept berücksichtigt.

Laut der Definition wäre die Verwaltung, welche die Patienten systemseitig aufnimmt und den Erstkontakt der elektiven, stationären Patienten darstellt, als weiterer Zugangspunkt zu betrachten. Die aufgeführte kard. Station wäre in diesem Fall nachgelagert und somit im Falle dessen kein Zugangspunkt. Um einheitliche Zugangspunkte für alle Patienten (auch jene, die den kard. Stationen direkt zugehen, z.B. Verlegungen von intern/extern oder Notfälle) zu erreichen und den planerischen Fokus auf den kard. Stationen zu belassen, werden einheitlich die kard. Stationen als Zugangspunkt geführt. Der Modellablauf bleibt von dieser Festlegung unberührt, bezogen auf das jeweilige Aufnahme-prozedere⁹³. Unter diesem Gesichtspunkt wird auch die Notaufnahme im Sinne der Zugangsplanung nicht als eigener Zugangspunkt gesehen. Die Zugangsplanung findet keine Anwendung bei Notfallpatienten von extern. Diese gehen uneingeschränkt in das System ein und stellen für die Planung Störgrößen dar. Beschränkung im Sinne einer Planung können nur elektive Patienten erfahren. Entsprechend wird die Notaufnahme hier als „Durchgangsstation“ betrachtet und nur jene Patienten, welche sich weiter in der Klinik, auf beplanende Bereiche verteilen, als Zugänge (von der Notaufnahme) deklariert und betrachtet. Entsprechend verteilen sich die Zugänge aus der Notaufnahme auf die nachgelagerten Zugangspunkte und treten hier z.B. im HKL oder auf den kard. Stationen als Störgrößen in Erscheinung. Die nachfolgende Abb. 85 gibt eine Übersicht der im Rahmen der Zugangskontrolle zu planenden Patienten in den jeweiligen Bereichen.

Grundsätzlich besteht die Aufgabe der Zugangsplanung darin die Anzahl der Patienten je Zugangspunkt und je Wochentag zu bestimmen. Dieser Aufgabe kommt der Planungsansatz im Soll-Modell nach. Im Ist-Modell wird von einem gegebenen Planungsumfang ausgegangen und alle Patientenzugänge mittels Partikelquellen (im Weiteren kurz „Quellen“) auf Tagesbasis aus den Realdaten generiert (siehe Anhang A54 im Detail). Im Folgenden wird eine Übersicht im Modell umgesetzten Quellen gegeben und die Abgrenzungskriterien aufgeführt (siehe Tab. 20). Jede Quelle wird mit einem Kürzel versehen, um diese später im Rahmen der vorliegenden Arbeit

⁹³ Elektive Patienten durchlaufen unabhängig vom Planungsfokus bei der Aufnahme den Verwaltungsakt der systemseitigen Aufnahme. Zeitliche Restriktionen in der Verfügbarkeit der Verwaltungsressource werden somit ebenfalls im Modell berücksichtigt. Der Planungspunkt wird lediglich mit dem der kard. Stationen zusammengefasst.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

leichter differenzieren zu können. In der Spalte „Pfad“ ist angegeben, mit welchem der im Modell umgesetzten Pfade die jeweilige Quelle verknüpft ist. Hierbei sind auch Quellen für nicht-elektive Patienten-/Patientenanfragen und Notfälle angegeben (siehe Anhang A54 zur Umsetzung im Detail).

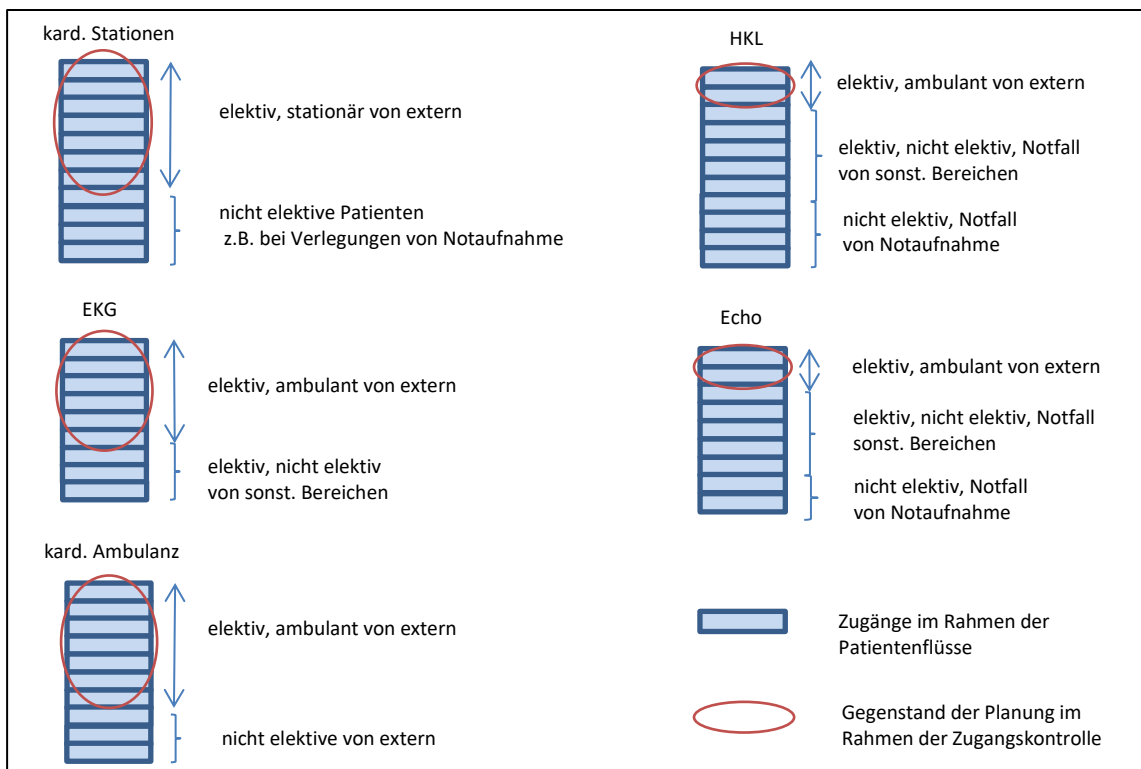


Abb. 85: Übersicht der im Rahmen der Zugangskontrolle geplanten Patienten mit Zugangspunkten

Quelle	Patientengruppe	Zugangsbereich	von	Pfad
AMB_1	elektiv	kard. Ambulanz	extern	15
AMB_2	elektiv	kard. Spezialambulanz	extern	Kontroll-pfad
AMB_3	elektiv (prästationär)	kard. Ambulanz	extern	16
STA_1	elektiv	kard. Station 1	extern	1
STA_2	elektiv	kard. Station 2	extern	1
STA_3	nicht-elektiv	kard. Station 1+2	Notaufnahmestation	4
STA_4	nicht-elektiv	kard. Station 1+2	Intensivstation	3
STA_5	nicht-elektiv	kard. Station 1+2	sonstigen Stationen (exkl. Intensiv-/Notaufnahmestation)	3
STA_6	elektiv (prästationär)	kard. Station 1	extern	2
STA_7	elektiv (prästationär)	kard. Station 2	extern	2
EKG_1	elektiv	Elektrokardiografie	extern	12
EKG_2	nicht-elektiv	Elektrokardiografie	Notaufnahme, sonstige Ambulanzen	14
EKG_3	elektiv, nicht-elektiv	Elektrokardiografie	sonstigen Stationen	13
ECHO_1	elektiv	Echokardiografie	extern	9
ECHO_2	nicht-elektiv	Echokardiografie	Notaufnahme, sonstige Ambulanzen	11
ECHO_3	elektiv, nicht-elektiv	Echokardiografie	sonstigen Stationen	10
HKL_1	elektiv	Herzkatheterlabor	extern	5
HKL_2	elektiv, nicht-elektiv	Herzkatheterlabor	sonstigen Stationen (inkl. Intensivstation)	6
HKL_3	Notfall	Herzkatheterlabor	sonstigen Stationen (inkl. Notaufnahme & Intensivstation)	7, 8

Tab. 20: Übersicht und Abgrenzung der Quellen für den Modellaufbau

Die Quelle „AMB_2“ bezieht sich auf Patienten der kard. Spezialambulanz, welche in den Bereich der kard. Ambulanz administrativ aufgenommen werden und ein Ruhe-EKG erhalten. Aus diesem Grund werden diese Patienten auf einem Kontroll- und Verwaltungspfad abgebildet, welcher die Grundaustlastung erzeugt. Weitere Kontroll- und Verwaltungspfade sind in dieser Aufstellung nicht explizit aufgeführt, da ansonsten keine Patientenzuflüsse mit diesen umgesetzt werden.

Anzumerken sei noch, dass in der Datenbasis für die elektiven und nicht-elektiven Patienten von den sonstigen Stationen keine Möglichkeit der Differenzierung im Zulauf auf die Funktionsbereiche Echo- resp. Elektrokardiografie bestand. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Zugänge in den Quellen „EKG_3“ und „ECHO_3“ zusammengefasst.

9.7.3 Terminvergabe und Einsteuerung der elektiven Patienten

Terminvergabe bezeichnet hier die Vergabe eines konkreten Aufnahme- oder Behandlungstermins. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bezieht sich ein Aufnahmetermin auf den geplanten Zeitpunkt der Aufnahme eines Patienten auf den kard. Stationen oder in der kard. Ambulanz. Ein Behandlungstermin (oder auch Maßnahmentermin) bezieht sich auf den geplanten Zeitpunkt zur Durchführung einer definierten Maßnahme in einem der betrachteten Spezialbereiche (EKG, ECHO, HKL). Bezogen auf das hier vorliegende, als sequentielle Entscheidungsproblem bezeichnete dynamische Planungsproblem (siehe Unterabschnitt 2.4.3), werden im Realsystem neue Patienten(-anfragen) in den bestehenden Terminkalender/ die Patientenliste eingeplant. Entsprechend wird auch im Ist-Modell eine Einplanung praktiziert.

Im Anhang A55 wird auf die konkrete Terminvergabe und deren Umsetzung im Modell inkl. der Patienteneinsteuerung eingegangen. Dies bezieht sich auf die:

- Aufnahmetermine für elektive Zugänge der kard. Normalstationen sowie der kard. Ambulanz,
- Terminanforderungen durch elektive Zugänge in den Funktions- und OP-Bereichen,
- Terminanforderungen aus dem Modellablauf heraus (interne Anforderungen),
- und im Besonderen Termine nicht-elektiver Anforderungen in den Funktions- und OP-Bereichen.

Wichtig ist an dieser Stelle, dass im Modell ein (nächst möglicher) Termin auch an nicht-elektive Patienten vergeben wird. Nicht-elektive Patienten werden im Verlauf bei freien Ressourcen (z.B. durch ein no-show Ereignis) eingeschoben. Bei dem vergebenen Termin handelt es sich um einen Ersatztermin, welcher die Abarbeitung

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

der Patienten spätestens zu diesem Zeitpunkt sicherstellt. Dies entspräche einem „hinten anstellen“.

Wie im Anhang A55 ausgeführt wurde, ist der Terminkalender die Grundlage der Terminvergabe in den Funktions- und OP-Bereichen. Für die Vergabe von Aufnahmeterminen auf den kard. Stationen und in der kard. Ambulanz ist im Modell kein dedizierter Terminkalender vorgesehen.

Zur Abbildung der Terminkalender im Modell werden dedizierte Terminkalender innerhalb einer zentralen Datenbank angelegt und den Funktions-/OP-Bereichen resp. den Engpassressourcen zugeordnet. Im Ergebnis sind dies je ein Terminkalender für die Ressourcen: HKL1-4, ECHO1-3 und für das EKG/Spiro. Das EKG/Spiro stellt hier ein Beispiel dar, wo zwar mehrere EKG-Geräte (Belastung/Spiro) vorhanden sind, aber die Maßnahmen in einem Untersuchungsraum erfolgen. In diesem Fall wird lediglich der Untersuchungsraum als solches beplant und die technischen Ressourcen unter diesem planerisch in einem Terminkalender zusammengefasst. Im Aufbau ist ein Terminkalender differenziert nach Ressourcen, Simulationswoche, Wochentag und Termineinheit (siehe [Lippold 2014, S. 76 f.] zur Umsetzung des Terminkalenders in der Datenbank). Die Terminkalender werden im Modell in Termineinheiten (Terminslots) unterteilt. Je nach Bedarf werden bei einer Terminvergabe entsprechende Terminslots belegt. Ein Terminslot bemisst im zeitlichen Umfang die kleinste gemeinsame Teileinheit der zu den der jeweiligen Ressource zugehörigen Maßnahmen vorliegenden Planungswerte. So werden z.B. in der Echokardiografie 15 Minuten für ein Echo-TTE (normales Echo) und 30 Minuten für ein Echo-TEE (Schluckecho) im Terminkalender des Realsystems vermerkt. Dies entspricht den zugrunde liegenden Planwerten der einzelnen Maßnahmen (siehe Unterabschnitt 6.3.8 zu den Planwerten). Für das Beispiel der Echokardiografie wäre eine Termineinheit im Modell 15 Minuten (größter gemeinsamer Teiler). Ein normales Echo beansprucht im Modell damit einen Terminslot und ein Schluckecho entsprechend zwei. Die festgelegte zeitliche Länge eines Terminslots kann je Bereich variieren. So entspricht im Modell eine Termineinheit im Funktionsbereich der Elektrokardiografie (EKG-Belastung/EKG-Spiro) dem gegenüber nur 10 Minuten. Die Planwerte zu den Maßnahmen werden im Modell als Parameter hinterlegt und genutzt, um den zeitlichen Umfang des Termins festzulegen. Das Ist-Modell verwendet die im Zuge der Datenerhebung erfassten und im Realsystem Anwendung findenden Planwerte (siehe Unterabschnitt 6.3.8 zu den Planwerten).

Innerhalb des Terminkalenders werden Termine mit einem Status z.B. „frei“ geführt. Wird ein Termin angefragt, erfolgt dies mit Bezug auf die bei der anfrage zu

berücksichtigen Statusinformationen. Wird ein Termin eingetragen, wird dies mittels der Patienten-ID vermerkt (siehe Anhang A56 zum Aufbau und Wesen dieser). Mehrere zusammenhängende Termineinheiten werden zu einem Termin, indem die erforderliche Anzahl an zusammenhängenden Slots mit derselben Patienten-ID versehen werden. Zum Zweck späterer Auswertungen sind in der Termindatenbank Termine mit Bezug zum jeweiligen Simulationslauf (Simulations-ID) abgelegt.

Im Realsystem ist die Terminvergabe ferner an Restriktionen und Einschränkungen gebunden. So werden Termine nur im Bereich der jeweiligen Öffnungszeiten, unter Berücksichtigung von etwaigen Pausen und im Voraus bekannter Wartungsarbeiten, vergeben. Auch im Modell wird die Terminvergabe diesen Restriktionen unterworfen, indem die Einschränkungen im Terminkalender eingestellt resp. die Terminkalender auf die verfügbaren Zeiten der Ressourcen beschränkt werden. Dies erfolgt über den Status der Terminslots, z.B. „Pause“. Auf die konkrete Umsetzung der Termineinschränkungen mittels Kontroll- und Verwaltungspfaden wird im Anhang A57 detailliert eingegangen. Dies betrifft insbesondere:

- Beginn und Ende von Öffnungszeiten sowie Terminvergabezeiten,
- Pausenzeiten und Wartungsarbeiten und
- unvorhergesehene Einschränkungen, wie Störungen und Ausfälle.

In diesem Zusammenhang wird auch auf die Implementierung des Ressourcenmanagements erläutert. In diesem Modul werden die entsprechenden Kontroll- und Verwaltungspfade modellseitig zusammengefasst.

Neben den terminlichen Restriktionen und Einschränkungen durch Wartungen oder Störungen, sind Einschränkungen in der Terminvergabe gegeben, indem einzelne Maßnahmen nur mittels definierter (Spezial-)Ressourcen durchführbar sind. Zu diesem Zweck gibt es modellseitig eine Zuordnung welche Arten von Maßnahmen je Terminkalender eingeplant werden dürfen, resp. welche Ressource für die jeweilige Durchführung erforderlich ist. Hierzu wird je Maßnahmenart ein Wert in einem Modellparameter (Array an möglichen Ressourcendimensionen) hinterlegt. Für eine PTCA-Maßnahme ist dies der Parameter „HKL_PTCA_Dimension“, welche z.B. die Werte (0 1) für die HKL-Ressource 1+2 annehmen kann. Eine Terminanfrage wird in diesem Fall an die Terminkalender der Labore 1+2 gerichtet, um den frühest möglichen und zeitlich passenden Termin zu erhalten.

9.7.4 Patientenauswahl

Die Patientenauswahl basiert im Modell auf einer regelgestützten ad-hoc Auswahlentscheidung aus der Warteschlange einer Engpassressource resp. einer Warteliste nicht-elektiver Anforderungen. Die im Rahmen der Auswahlproblematik im Modell betrachteten Patienten-/Anforderungsarten sind in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht (siehe Abb. 86). Hierbei wird die Differenzierung der Patienten in stationär und ambulant unabhängig davon gesehen, ob die Patienten von einem kardiologischen, sonstigen Bereich oder von extern kommen.

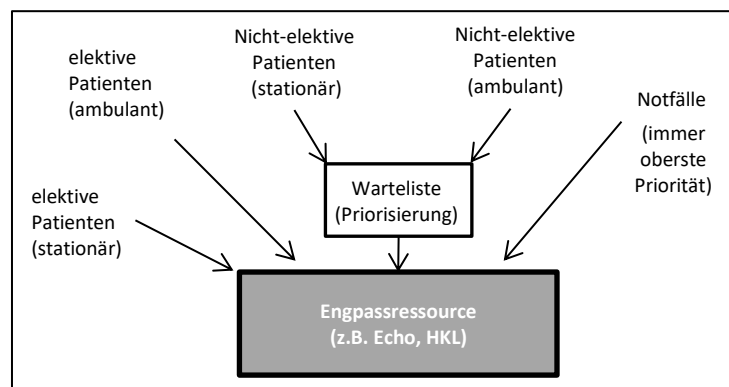


Abb. 86: Auswahlproblematik im Rahmen der Patientenauswahl

Im Rahmen der Prozess- und Datenerhebung wurden die im Nachfolgenden ausgeführten Regelungen identifiziert, welche den Ablauf der Auswahlentscheidung im Realsystem determinieren:

- Sind im Realsystem keine Termine vergeben, wird das first-come, first-served (FCFS) Prinzip (wer zuerst kommt, wird zuerst abgearbeitet) praktiziert.
- In Bezug auf vergebene Termine wird das first-appointment, first-served Prinzip angewendet (früherer Termin wird früher abgearbeitet). Das heißt: Patienten mit Termin werden zum Termin abgearbeitet, auch wenn Patienten ohne Termin früher eingetroffen sind. Es erfolgt somit eine terminbezogene Priorisierung resp. Reihung der Patienten.
- Notfälle werden ebenfalls priorisiert und allen anderen Patienten aufgrund der medizinischen Dringlichkeit vorgezogen.
- Bei Terminausfällen, z.B. wegen eines nicht auftretenden elektiven Patienten, werden nicht-elektive Patienten eingeschoben und abgearbeitet.
- Auch bei aufgetretenen Lücken im Tagesverlauf werden nicht-elektive Patienten eingeschoben, sofern absehbar hierdurch keine resp. keine wesentlichen Verschiebungen bei den elektiven Patienten entstehen.

An diesen Regeln wird auch im Ist-Modell festgehalten und es erfolgt eine modellseitige Implementierung derer (siehe hierzu Anhang A58 (h)).

Mit Hilfe der aus dem Realsystem übernommenen Differenzierung in ambulante und stationäre Patienten, wird es in Bezug auf die Auswahlentscheidung, später modellseitig möglich sein, auch der Frage nachzugehen, ob stationäre oder ambulante Patienten in der Auswahl vorgezogen resp. höher priorisiert werden sollten. Für den Ablauf ist dies insofern von Belang, als dass ambulante Patienten im Realsystem möglichst am Tag des Ambulanzbesuches die jeweilige Maßnahme erhalten sollten, um nicht einen zweiten Aufenthalt am Folgetag erforderlich zu machen. Dem entgegen verlängern in den Funktionsbereichen eingeschobene Ambulanzpatienten die Warte- und damit auch die Liegezeiten der stationären Patienten.

Mit Bezug auf die in der Patientenauswahl gegenständlichen Patienten (siehe Abb. 86) wird im Anhang A58 ausgeführt:

- wie Notfälle sowie nicht-elektive Patienten (Maßnahmen-/Bettenanforderungen) im Modell entstehen,
- die Auswahl- und Priorisierungsregeln in den Funktions- und OP-Bereichen,
- die Auswahl- und Priorisierungsregeln bei den betrachteten Bettenstationen,
- die Priorisierung innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten,
- die Umsetzung der Patientenauswahl für elektive und nicht-elektive Patienten im Modell,
- die Regeln zum Vorziehen und Einschoben von Patienten in die bestehende Planung und
- die Implementierung der Patientenauswahl.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Ressourcenwarteschlangen eine first-come, first-served Regel verfolgen (außer bei Notfällen). Das heißt, die Partikel werden in der eingestellten Reihenfolge abgearbeitet. Da elektive Patientenpartikel zum Termin in die Ressourcenwarteschlange eingestellt werden, werden diese damit den nicht-elektiven vorgezogen. Nicht-elektive Anforderungen werden in einer separaten der Ressourcenwarteschlange vorangestellten Warteliste geführt und von dieser, nach den gegebenen Priorisierungen innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten, an die Ressourcenwarteschlange übergeben. Hierbei wird darauf geachtet, dass die Ressource frei und die Lücke beim Einstellen ausreichend groß ist, um nicht schon dadurch bedingt Verzögerungen bei nachfolgenden elektiven Patienten zu erzeugen. In dem Moment wo die nicht-elektiven Partikel durch das Vorziehen oder den Ersatztermin in die Ressourcenwarteschlange eingestellt werden, unterliegen diese innerhalb derer wieder der FCFS-Regel.

9.8 Abbildung stochastischer Elemente und Determinierung des Patientenverlaufs

Stochastische Elemente der vorliegenden Problemstellung sind neben den Ankunftszeiten (zu früh/zu spät), die ärztliche Entscheidung für oder gegen eine Behandlung sowie das Auftreten von Notfällen. Je nach Konstitution des Patienten, z.B. Alter, Vorerkrankungen, Gewicht, können Maßnahmen oder auch die Liegezeiten in der Länge variieren. Für solche stochastischen Problemstellungen werden in der Literatur Verteilungsfunktionen vorgeschlagen, die auf Praxisbeobachtungen (Erhebungen) beruhen [Zimmermann & Stache 2001, S. 248-264, 367, 376 f.; Völkner 1998, S. 215 f.]. Es wird davon abgeraten Verteilungsfunktionen durch Mittelwerte zu ersetzen (siehe [Law 2015, S. 241] zu einem Beispiel). Es stellt sich damit die Frage mit welcher konkreten Verteilungsfunktion bzw. wie die einzelnen stochastischen Einflüsse adäquat abgebildet werden (siehe hierzu [Law 2015, S. 279 ff.]). Im Folgenden wird auf ausgewählte Sachverhalte eingegangen.

9.8.1 Bearbeitungszeiten

In Manitz [2005, S. 19, 144], Völkner [1998, S. 215] sowie Günther & Tempelmeier [1995, S. 89 f., 115] werden die logarithmische-Normalverteilung, Gamma- oder die Exponentialverteilung als Möglichkeit zur zufallszahlenbasierten Generierung von Bearbeitungszeiten aufgeführt. Die folgende Grafik der gemessenen Häufigkeitsverteilung von Stich-Naht-Zeiten im HKL zeigt (empirische Erhebung), dass die Annahme einer Gleichverteilung oder Normalverteilung zur Determinierung der Bearbeitungszeiten schon rein optisch zu verwerfen ist (siehe Abb. 87).

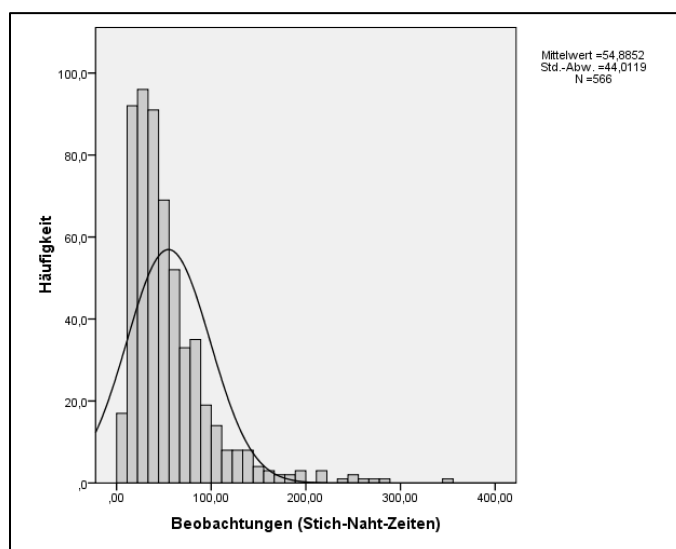


Abb. 87: Histogramm der Stich-Naht-Zeiten im HKL mit hinterlegter Normalverteilungskurve

Für den aufgezeigten Stichprobenumfang mit 566 Werten ergeben sich eine Standardabweichung von 44,01 Minuten und ein arithmetischer Mittelwert von 54,89

Minuten. Der Chi-Quadrat-Test auf Normalverteilung mit einer Klassifizierung in 57 Gruppen ergibt, dass die Hypothese abzulehnen ist ($\chi^2=765,661$) und die Werte nicht normalverteilt sind. Im Weiteren wurden die Beobachtungswerte logarithmiert (\ln) und einer Normalverteilung gegenübergestellt (siehe Abb. 88).

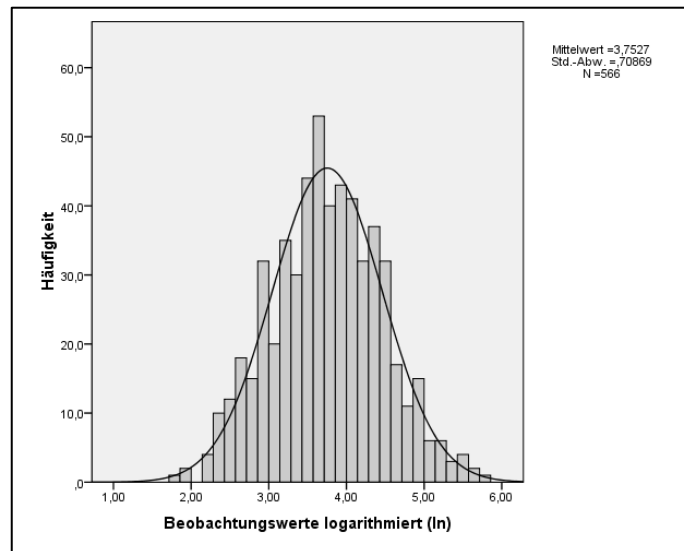


Abb. 88: Histogramm der logarithmierten Stich-Naht-Zeiten im HKL mit Normalverteilungskurve

Mit Hilfe des Kolmogorow-Smirnow-Test (eine Stichprobe)⁹⁴ wurde nun auf Normal-, Poisson-, Uniform- und Exponentialverteilung getestet (siehe [Büning & Trenkler 1994, S. 68 ff.] zum Kolmogorow-Smirnow-Test). Der Fehler erster Ordnung (Monte-Carlo-Signifikanz) liegt bei 0,91 im Test auf Normalverteilung, wenn die Nullhypothese: Es handelt sich um eine Normalverteilung, zurückgewiesen werden würde. Auch die Betrachtung der extremsten Differenz, welche im Test auf Normalverteilung mit 0,023 ermittelt wurde, ist für das Signifikanzniveau von 0,05 nicht abzulehnen, da der Wert kleiner ist als die Bewertungsreferenz von $1,36/\sqrt{n}$ mit 0,05716. Somit kann die Annahme, dass die Beobachtungswerte zur Dauer der HKL-Maßnahmen logarithmisch-normalverteilt sind nicht verworfen werden. Für die anderen getesteten Verteilungsfunktionen war die Nullhypothese hingegen zu verwerfen. Auch Völkner [1998, S. 215] führt in Bezug auf Bearbeitungsdauern die logarithmische-Normalverteilung als „gängige Wahrscheinlichkeitsverteilung im Rahmen der Simulation“ auf.

Im hier vorliegenden Modellentwurf wurde maßnahmenspezifisch die jeweilig aufgestellte, resp. als passende Repräsentation der erhobenen Realwerte ermittelte, Zufallsverteilung, mit den erforderlichen Parametern hinterlegt (siehe

⁹⁴ Im Weiteren wird immer der Kolmogorow-Smirnow-Test auf eine Stichprobe bezogen, sofern nicht explizit etwas Anderes angegeben ist. Im Fall des Tests mit einer Stichproben, wird die Differenz zwischen empirischer und hypothetischer Verteilung betrachtet [Büning & Trenkler 1994, S. 69].

Unterabschnitt 9.11 zur Modellparametrisierung). Ergänzend hierzu werden die im Realsystem ermittelten oberen und unteren Grenzen der Verteilungen parametrisiert.

9.8.2 Ankunftstermine

Im bisherigen Modellaufbau wurden Quellen implementiert, welche den Zufluss der Anfrage-/Patientenpartikel von extern, von der Notaufnahme und von sonstigen Bereichen erzeugen. Es wurde ausgeführt, dass die Grundlage dessen in der Implementierung Verteilungsfunktionen sind. Grundsätzlich lassen sich Ankunftsströme und damit verbunden Ankunftstermine mit einer Poissonverteilung beschreiben [Gordon 1972, S. 112–113]. Die Poissonverteilung liefert Voraussagen über die Anzahl (k) des Eintretens voneinander unabhängiger Ereignisse, wenn aus vorangehender Beobachtung bereits bekannt ist, wie viele Ereignisse im Mittel innerhalb dieses Intervalls erwartet werden (λ). Im Zuge der Datenerhebung wurden Ankunftstermine erhoben. Auf der Basis ist es nunmehr möglich eine Prüfung auf Signifikanzen in Bezug auf die vorgeschlagene Poissonverteilung durchzuführen. Bezogen auf den Zeitpunkt der ankommenden Patienten in der kard. Ambulanz wurde ein Stichprobenumfang von 1489 Elementen zugrunde gelegt und mittels des Kolmogorow-Smirnow-Test die Hypothese getestet, dass eine Poissonverteilung vorliegt. Die Hypothese musste verworfen werden. Auch für die stationären Aufnahmen war die Hypothese einer Poissonverteilung zu verwerfen. Es bedarf somit für die vorliegende Arbeit eines anderen Ansatzes zur Abbildung der Ankunftstermine. Hierauf wird bezogen auf die Patientenrohdaten näher eingegangen (siehe Unterabschnitt 9.8.4). In Bezug auf den mengenmäßigen Umfang hingegen konnten Poissonverteilungen als adäquates Mittel zur Abbildung bestätigt werden (siehe hierzu Unterabschnitt 9.11 (a) in Bezug auf die Modellparametrisierung).

9.8.3 Entlassungszeitpunkt

Als Entlassungszeitpunkt ist der Zeitpunkt benannt, zu dem der Aufenthalt des Patienten im Krankenhaus endet. Dies bezieht sich hier im Wesentlichen auf Patienten der kard. Ambulanz und der kard. Stationen. Umso weiter der Entlassungszeitpunkt in die Zukunft reicht, umso schwerer ist dieser zu bestimmen. In der Literatur werden zur Abschätzung verschiedene Methoden ausgeführt, u.a. mittels Multiplikatoren bezogen auf die Anzahl der Bearbeitungsschritte [Ramasesh 1990, S. 47]. Zu bedenken ist aber im Anwendungsfall der Liegezeit eines Patienten, dass sich diese eben nicht ausschließlich an den durchzuführenden Maßnahmen und der damit verbundenen Wartezeit bemisst. Hinzu kommen Einflussgrößen, die ursächlich im Bereich des Patienten selber liegen, wie multimorbide Patienten oder Komplikationen, welche zu längeren/zusätzlichen Genesungs- und Liegezeiten führen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Liegezeit ähnlich einer Bearbeitungszeit

als Dauer mittels einer Verteilungsfunktion aus Messwerten des Realsystems umzusetzen. Im vorliegenden Anwendungsfall kann auf Messwerte hinsichtlich der Liegezeit zurückgegriffen werden. Da die vorliegende Arbeit aber darauf abzielt, die Wartezeit als Teil der Liegezeiten zu messen und zu minimieren, bedarf es bei der Abbildung der Liegezeiten eines anderen Vorgehens. Im Modell sind diese der Realität entsprechend als Mischung aus der beeinflussbaren Wartezeit auf Termine (durchzuführende Maßnahmen) und der Liegezeit aufgrund nicht beeinflussbarer Patienten-/medizinischen Faktoren abgegrenzt und abgebildet.

Konkret wird im Modell in die Voruntersuchungsdauer (VU), die Restliegezeit (RL) und die Entlassungszeit differenziert. Als Voruntersuchungsdauer wird die Liegezeit der elektiven Zugänge von der Aufnahme bis zum ersten HKL oder spätestens bis 24:00 Uhr am zweiten Tag nach dem Aufnahmetag definiert. Die Voruntersuchungsdauer ist im Wesentlichen geprägt durch den Aufnahmeprozess und die Durchführung der Voruntersuchungen zur Abklärung (wie Echo-, EKG- und HKL-Maßnahmen). In diesem Teil der Liegezeit wird später eine zeitliche Optimierung vollzogen, da davon ausgegangen wird, dass der zeitliche Umfang dieser Liegezeit zu großen Teilen aus der Wartezeit auf die Voruntersuchungen (Terminverfügbarkeit) resultiert. Darüber hinaus gibt es eine anschließende Liegezeit (Restliegezeit), welche in der Länge im Voraus unbestimmt ist. Die Liegezeit ist abhängig von der Konstitution des Patienten und den noch durchzuführenden Nachuntersuchungen. In der Modellabbildung determiniert sich diese Liegezeit über die noch durchzuführenden Maßnahmen und der zeitlichen Lage derer innerhalb der (Rest-)Liegezeit. Abgebildet wird dies, indem der zeitliche Abstand (Tage bis zur nächsten Maßnahme) aus den Realdaten bemessen wird und als Anfragezeitpunkt der Maßnahme im Modell herangezogen wird. Da das Ende der Restliegezeit damit im Modell noch nicht abschließend bestimmt werden kann, sondern nur der Zeitpunkt zu dem die letzte Maßnahme erfolgt, bedarf es noch der Entlassungszeit. Diese determiniert den Zeitpunkt zu dem der Patient schließlich das Bett räumt und entlassen wird. Die Zeit wird je Patient in Tagen (Teil 1) und über eine parametrisierte Verteilungsfunktion, auf Basis einer empirischen Erhebung im Realsystem auf Minutenbasis (Teil 2), bestimmt. Im Detail ist die modellseitige Umsetzung der Liegezeit und Maßnahmen innerhalb dieser im Anhang A62 (d) aufgeführt.

Bezogen auf die Patienten der kard. Ambulanz ist der Sachverhalt zur Bestimmung des Entlassungszeitpunktes einfacher umsetzbar. Die Entlassung erfolgt, nachdem der je Patient zugrunde gelegte Verlauf (Patientenrohdaten), u.a. das Arztgespräch und alle angeordneten Maßnahmen durchlaufen wurden.

9.8.4 Patientenverläufe (Patientenrohdaten)

In der Problemstellung der hier vorliegenden Arbeit ist der Patientenverlauf im Voraus unbestimmt. In Teilen ist dies aber medizinisch und organisatorisch gegeben, z.B. über die Behandlungspfade. So lässt sich über die Quelle determinieren, dass z.B. eine stationäre Aufnahme mit der Anamnese, einer Blutuntersuchung, einem Ruhe-EKG, Voruntersuchungen (EKG, EKCO, HKL) und einer Bettenzuweisung verbunden ist. In Teilen ist diese variabel in der Reihenfolge und bezogen auf den einzelnen Patienten gibt es mal mehr, mal weniger Untersuchungen. Ein konkreter wahlfrei-sequentieller Ablauf betrifft ist z.B. die EKG- und die ECHO-Untersuchung im Rahmen der Voruntersuchung, welche, sofern beide durchgeführt werden sollen, in der Reihenfolge grundsätzlich frei sind. Ferner können im Verlauf des Patientenaufenthaltes im Modell auch Notfälle auftreten, welche eine zusätzliche Maßnahme oder eine Verlegung auf eine Intensivstation bedürfen. Der grundsätzliche Patientenverlauf wird im Modell über die Behandlungspfade gesteuert und ist an den Quellen/Zugangspunkten der Patienten ausgerichtet (siehe Unterabschnitte 9.6.1 und 9.6.2). Der weitere Patientenverlauf, insbesondere welche Maßnahmen und die Reihenfolge derer, sofern vorgegeben, wird im Modell über Entscheidungsknoten gesteuert, z.B. das Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“. Die Reihenfolge der frei kombinierbaren Prozessschritte (wahlfrei-sequentieller Ablauf) wird über den Kontrollfluss im Simulationsmodell sowie über die Verfügbarkeit der Patienten und der notwendigen Ressourcen gesteuert. Grundsätzlich bedarf es aber einer Inputgröße als Entscheidungsgrundlage an den jeweiligen Entscheidungsknoten im Modell. Dahingehend werden die Patientenrohdaten genutzt.

Wenn in der vorliegenden Arbeit von einer an den Realdaten ausgerichteten Parametrisierung gesprochen wurde, bezieht sich dies insbesondere auch auf die Patientenrohdaten, welche eingesetzt werden, wenn keine adäquate Verteilungsfunktion gefunden werden konnte. Die Patientenrohdaten beinhalten je Patient Art und Umfang der durchzuführenden Maßnahmen, wie auch etwaige Wechsel zwischen Stationen z.B. von einer kard. Station zur Intensivstation oder zu sonstigen Stationen und zurück. Darüber hinaus determinieren die Patientenrohdaten Zugangszeiten im Ist-Modell, zeitliche Abstände zwischen Maßnahmen in der Restliegezeit und Zeitpunkte zu denen Notfälle auftreten, indem diese an den Entscheidungsknoten im Modell für den jeweiligen Patienten ausgelesen werden.

In der Aufstellung der Patientenrohdaten wurden die Patientenverläufe, welche in die Rohdaten eingehen, in gleicher Weise differenziert, wie dies für die Patientenquellen erfolgt ist. Im Ergebnis steht somit je Quelle ein Satz an Patientenrohdaten zur Verfügung. Die mengenmäßige Verteilung im Aufkommen der

Patienten, Varianzen im Verlauf und Notfälle sind damit je Quelle der Realität entsprechend in den Rohdaten enthalten. Für jeden über eine Quelle erzeugten Patientenpartikel wird bei der Initialisierung der Partikel gleichverteilt aus der Menge der für die Quelle dediziert abgestellten Rohdaten gezogen (mit Zurücklegen), um den jeweiligen Ablauf des Patienten im Modell zu determinieren. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Einbindung der Patientenrohdaten im Modell und deren Zweck an zwei Beispielpfaden (siehe Abb. 89).

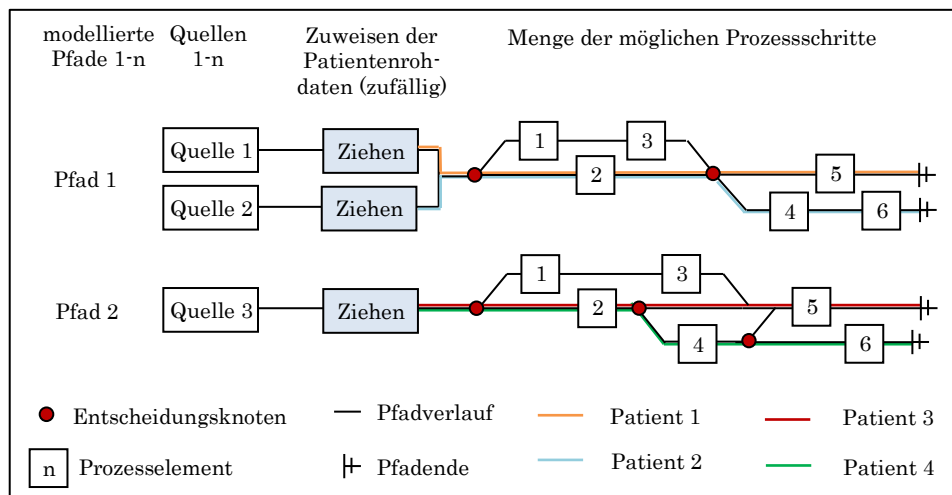


Abb. 89: Schematische Darstellung der Einbindung und Zweck der Patientenrohdaten

Die Informationen werden zu dem Patienten in der internen Patientendatenstruktur des Simulationsmodells abgelegt. Dem Modellablauf werden die Daten sukzessive, mit jedem Durchlauf der Entscheidungsknoten, z.B. des Moduls „Aufstellen des Maßnahmenplans“, zugänglich gemacht. Diese Festlegung erfolgt vor dem Hintergrund, dass auch im Realsystem der Patientenverlauf zu großen Teilen im Vorfeld unbestimmt ist. Auf diesem Wege werden auch dem Modell die Informationen nicht im Voraus bekannt gemacht.

Gleichwohl ein Patient hier keinesfalls als Werkstück gesehen wird, sind die Patientenrohdaten vergleichbar mit den Arbeitsplänen der einzelnen Aufträge (Jobs) im Job-Shop-Problem (siehe Abschnitt 2.3). Der Unterschied liegt u.a. darin, dass der Arbeitsplan in der vorliegenden Problemstellung zum Zeitpunkt der Planung unbekannt ist. Dies ist insbesondere für die spätere Planung und Optimierung im Soll-Modell von Belang.

Der Hintergrund für die Verwendung der hier als Patientenrohdaten bezeichneten Vorgabewerte ist darin zu sehen, dass:

- ausreichend Basisdaten hierfür vorhanden sind,
- keine treffenden Zufallsverteilungen aus den vorliegenden Stichprobe, selbst wenn diese groß genug waren, bestimmt werden konnten, da das Aufkommen

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

in der Stichprobe zu unspezifisch ist (siehe Abb. 90 mit eingezeichneter Normalverteilung bezogen auf Ankunftszeitpunkte). Eine angemessene Verteilungsfunktion abzuleiten ist in diesen Fällen nicht trivial.

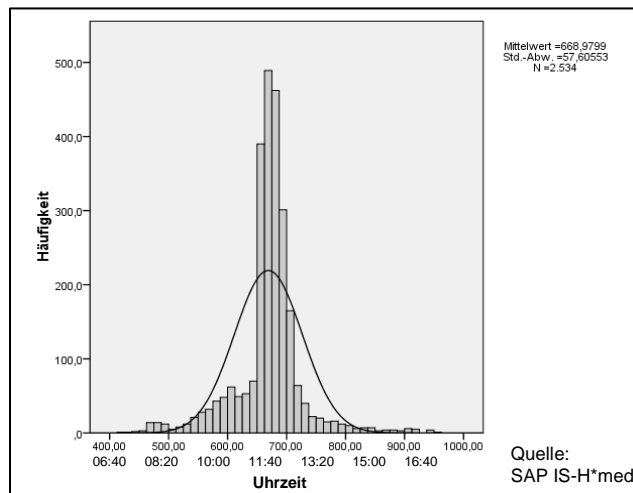


Abb. 90: Histogramm zur zeitlichen Verteilung der stationären, elektiven Patientenzugänge an Arbeitstagen (Einrichtung 3)

- eine Parametrisierung auf Basis von einzelnen Verzweigungsentscheidungen sehr komplex erscheint und eine Vielzahl an Parametern bedarf (siehe beispielhaft Tab. 21 bezogen auf die Verteilungswerte bei Maßnahmen von Patienten der kard. Ambulanz). Für die einzelnen Quellen, mit den verschiedenen Patientengruppen, bezogen auf die sich in vielfältiger Weise unterscheidenden Abläufe, müssten in einem solchen Fall jeweils die Verteilungsfunktionen resp. Verzweigungswahrscheinlichkeiten erst an den Realdaten abgeleitet und statistisch hinsichtlich ihrer Signifikanz überprüft werden.

Maßnahmenanordnung	N	Prozent	Art der Maßnahmen	N	Prozent
eine Maßnahme (EKG oder ECHO)					
EKG	52	6,82%	EKG-Belastung	50	96,15%
			EKG-Spiro	2	3,85%
			Summe	52	
ECHO	710	93,18%	ECHO-TTE	628	88,45%
			ECHO-TEE	69	9,72%
			ECHO-TSE	13	1,83%
Summe	762		Summe	710	
zwei Maßnahmen (EKG und ECHO)					
EKG			EKG-Belastung	425	90,04%
			EKG-Spiro	47	9,96%
			Summe	472	
ECHO			ECHO-TTE	472	99,16%
			ECHO-TEE	3	0,63%
			ECHO-TSE	1	0,21%
			Summe	476	
Quelle: SAP Leistungsaufschlüsselung MKARD (2011), SAP Bewegungsdaten MKRARD (2011)					

Tab. 21: Parametrisierung zur Art der Maßnahmen bei Patienten der kard. Ambulanz (Einrichtung 3)

Mit Verwendung der Patientenrohdaten entfallen die geschilderten Probleme. Im Anhang A59 wird die Struktur der Patientenrohdaten für zwei Patienten beispielhaft aufgeführt und erläutert.

9.9 Weitere Modellanpassungen

Im Folgenden werden weitere ausgewählte Anpassungen und zweckspezifische Erweiterungen des Simulationsmodells aufgeführt und erläutert. Auch hier erfolgen die jeweiligen Ausführungen bezogen auf die Einrichtung 3. Es wird weiterhin darauf Wertgelegt, dass planungsrelevante Unterschiede zu den anderen Referenzeinrichtungen einfließen, sofern diese für die Planung und das spätere Soll-Konzept von Belang sind.

Wie im Rahmen der Modelltransformation festgelegt worden ist, werden Patienten zur Abbildung wahlfrei-sequentieller Abläufe im Modell als Ressourcen umgesetzt. Die Ausführungen hierzu sind im Anhang A60 angefügt. Im Zuge dessen wird auch auf die Module zum Allokieren und Deallokieren der Patientenressource eingegangen. Ferner bedurfte es noch einiger Nacharbeit, nach der automatischen Transformation in ein Simulationsmodell. So mussten die Ressourcen und deren Umsetzung überprüft und teils überarbeitet werden. Der Grund dessen sowie die detaillierten Ausführungen hierzu sind im Anhang A61 im Detail aufgeführt. Eine weitere Anpassung des aus den eEPKs erzeugten Simulationsmodells bezieht sich auf die Konnektoren. Wie ausgeführt wurde, sind diese bei Verzweigungen wie XOR und OR, welche aus der zugrunde liegenden Logik nicht uneindeutig sind, nun zu parametrisieren. Dies erfolgte bisher durch ein Standardset an Parameterwerten. Im Simulationsmodell werden die verzweigende und synchronisierende Konnektoren (Entscheidungsknoten) durch neu entworfene, zweckspezifische Module ersetzt, z.B. in Form des Moduls „Aufstellen des Maßnahmenplans“. Dies gibt u.a. Auskunft darüber, welche Maßnahme im Verlauf des Patienten noch durchzuführen sind.

Weitere zweckspezifische Modellerweiterungen sind u.a.:

- Umsetzung der kard. Stationen und Notfälle innerhalb dieser (siehe Anhang A62),
- Umsetzung der Funktions- und OP-Bereiche und Notfälle innerhalb dieser (siehe Anhang A63),
- Umsetzung sonstiger Bereiche und Notfälle innerhalb dieser (siehe Anhang A64) sowie
- Umsetzung von Wegezeiten im Modell (siehe Anhang A65).

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Im Zuge der Modellerweiterung wurden auch zweckspezifische Erweiterungen an der vorhandenen Datenstruktur vorgenommen resp. weitere erforderliche Datenstrukturen im Modell hinterlegt, auf welche hier nicht näher eingegangen wurde.

9.10 Datenhaltung und Dokumentation

Einen wichtigen Punkt stellt die Datenhaltung im Modellaufbau dar. In den bisherigen Ausführungen wurden diverse Datenbestände im Modell und die zentrale Datenbank angesprochen. Die nachfolgende Abbildung zeigt in einer Übersicht die zentralen Elemente auf und veranschaulicht die Wechselwirkungen zum Modell (siehe Abb. 91).

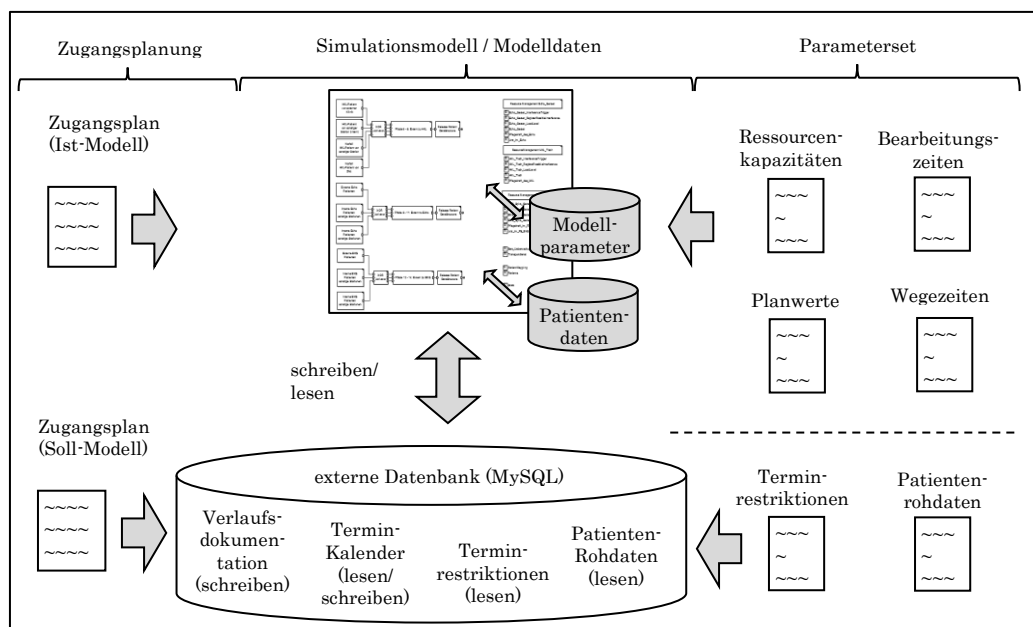


Abb. 91: Übersicht der Datenbestände im Modell

Für den Modellablauf ist die zentrale Datenbank (MySQL) von elementarer Bedeutung. Diese beinhaltet die Terminkalender, stellt dem Modell Eingangswerte zur Verfügung und speichert Verlaufswerte der Simulation. Eingangswerte sind im Speziellen die Patientenrohdaten, welche aus dem erhobenen Datenbestand in die zentrale Datenbank eingespielt wurden. Darüber hinaus bedarf das Modell einer Vielzahl an Parameterwerten, welche direkt im Modell hinterlegt werden, u.a. Ressourcenkapazitäten, Bearbeitungszeiten, Planwerte (für die Terminplanung) und Wegezeiten.

Der Zugangsplan auf der linken Seite der Abb. 91 beinhaltet die Planung hinsichtlich der Menge an Patienten, welche im Modell eingestellt werden. Im Ist-Modell erfolgt dies über eine Parametrisierung der Quellen, direkt im Modell. Im Soll-Modell

werden die Planwerte vom Planungsalgorithmus an die Datenbank übergeben, von wo aus diese durch das Modell ausgelesen werden.

Zu jedem im Modellablauf befindlichen Patientenpartikel werden in einem modellinternen, zentralen Datenspeicher temporär z.B. Verlaufsinformationen aus den Patientenrohdaten abgelegt. In der obigen Abbildung ist dies als „Patientendaten“ bezeichnet. Hierbei handelt es sich um modellinterne Datenstrukturen, u.a. die Datenstruktur aus dem EPK-Import.

Grundsätzlich gilt, dass sofern in der Datenstruktur ablaufrelevante Informationen (z.B. durchzuführende Maßnahmen) abgelegt werden, die den Verlauf des Patienten steuern oder beeinflussen, werden diese im Modell erst zum Zeitpunkt, in dem die Entscheidung getroffen wird, abgerufen (z.B. im Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“) resp. dem Modell zugänglich gemacht. Zum Zeitpunkt der Aufstellung der Zugangsplanung sind diese patientenbezogenen ablaufrelevanten Informationen noch nicht existent. Erst mit dem Simulationslauf fallen derartige Informationen an. Damit wird die Unbestimmtheit im Ablauf des Realsystems auch im Modell, im Speziellen in Bezug auf die spätere Planung, beibehalten.

Die Verlaufsdocumentation im Modell ist an die Dokumentation im Realsystem angelehnt. Zu jedem Patienten wird im Realsystem der Verlauf im SAP IS-H*med dokumentiert. Hierzu gibt es EDV-Schnittstellen zu den jeweiligen Bereichen resp. Eingabemasken im SAP-System, um die relevanten Informationen zu dokumentieren. Auch im Modell sind, in den jeweiligen Bereichen und Prozessschritten zum Zweck der Dokumentation, Module implementiert, z.B. mittels des Bausteins „SetArrivalTime“ (siehe Anhang A51 (f)). Jede Patientenbewegung wird mit Datum, Uhrzeit, Art der Bewegung, einer fortlaufenden Nummer und weiteren Details dokumentiert. In Ergänzung zu dem Umfang im Realsystem, werden im Modell no-shows, Beginn- und Endzeitpunkte von Maßnahmen sowie weitere Prozessschritte, wie z.B. die Anamnese oder das Ruhe-EKG auf den kard. Stationen dokumentiert. In der Verlaufsdocumentation der Patienten wird zur durchgeführten Maßnahme auch der jeweilige Termin vermerkt, um diese einer späteren Auswertung zugänglich zu machen. Darüber hinaus werden im Modell auch Wartungen und Störungen mit Beginn- und Endzeitpunkten in der Verlaufsdocumentation abgelegt. Zu der konkreten Umsetzung in der Datenbank siehe [Lippold 2014, S. 77 f.].

Das Datenbankkonzept zur Realisierung der MySQL Datenbank ist in [Lippold 2014, S. 75 ff.] beschrieben und erlaubt die unabhängige sowie zeitgleiche Dokumentation mehrerer Simulationsläufe. Der wesentliche Bestand an Tabellen ist im Anhang A66 aufgeführt und erläutert. Die Datenbank an sich ist als MySQL-Datenbank

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

umgesetzt und mittels ODBC (Open Database Connectivity) an das Simulationssystem angebunden (siehe [Lippold 2014, S. 78 ff.]). Die Primitive im MLDesigner können externe Bibliotheken einbinden. Auf der Grundlage wurde eine Klassenbibliothek implementiert, welche u.a. die Protokollierung des Simulationsfortschrittes im Modell ermöglicht [Lippold 2014, S. 81]. Aus Gründen der Performance werden ausgewählte Tabellen im RAM-Speicher geführt (storage_engine=MEMORY). Hierdurch wird eine deutliche Verbesserung in der Schreib- und Lesegeschwindigkeit erreicht. Dies ist insbesondere von Belang für die Terminkalender und die Verlaufsdocumentation. Ein Nachteil dessen ist in der Persistenz zu sehen. Das heißt, die Daten müssten aus den betreffenden Tabellen resp. der Datenbank im Anschluss an die Simulation herausgeschrieben werden, z.B. in ein nichtflüchtiges Speichersystem wie eine Datei, um langfristig verfügbar zu bleiben.

Zum Zweck der Auswertung und Speicherung von Simulationsergebnissen sind in der zentralen Datenbank eine Prozedur „EVALUATE_SIMULATION“ und die Funktion „YIELD“ hinterlegt. Nach Beendigung eines Simulationslaufes ruft das Modell diese durch das Primitiv „InitSimulation“ auf und erhält die Simulations-ID und die Werte des Parameters „EvaluationPeriod“ als Übergabeparameter. Die Prozedur errechnet die definierten Kennzahlen zum jeweiligen Simulationslauf, welche für die Auswertung und spätere Optimierung benötigt werden. Die Rückgabewerte des Prozeduraufrufes werden mit der jeweiligen Simulations-ID in der zentralen Datenbank und dort in der nicht flüchtigen Tabelle „simulation“ abgelegt. Es können so im Späteren weitere Kennzahlen zur Auswertung ergänzt werden, ohne das Modell zu verändern, und zugleich mehrere Simulationsläufe dokumentiert werden.

9.11 Parametrisierung des Ist-Modells

Um nun das aufgebaute Klinikmodell mit „Leben“ zu füllen, werden zu den angelegten Modellparametern die erforderlichen Werte hinterlegt. Im vorliegenden Fall sind dies die Werte der Einrichtung 3, welche im Folgenden im Detail aufgeführt werden. Da es sich hierbei nach wie vor um den Modellaufbau handelt, wird auf den Teil 1 der Einrichtung 3 (2011) des zweigeteilten Datenbestandes zurückgegriffen. Nicht alle erforderlichen Parameter, im Speziellen die einzelnen Bearbeitungszeiten, konnten rückwirkend für das Jahr 2011 erhoben werden. In diesen Fällen werden einheitlich die Werte der empirischen Erhebungen im Modell verwendet.

Es sei an dieser Stelle betont, dass die hier hinterlegten Werte der Modellparameter bei Bedarf geändert resp. auch selber einer Optimierung unterworfen werden können, z.B. zum Zweck einer Ressourcenoptimierung.

Bezogen auf die konkrete Umsetzung wird auf folgende Parametrisierungen eingegangen:

- Patientenzugänge,
- Patientenrohdaten (Patientenverläufe),
- Ressourcen,
- Einschränkungen in der Termin- und Ressourcenverfügbarkeit,
- Terminvergabe – Planwerte,
- Bearbeitungszeiten und Wegezeiten sowie
- Reihenfolge der Maßnahmen.

(a) Patientenzugänge

Zur Generierung von Patientenzugängen wird an den Quellen im Modell durchgängig auf eine Poissonverteilung abgestellt. Es wurde für alle Quellen und für jeden Wochentag mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test (Signifikanzniveau von 0,05) die Hypothese getestet, dass der Ankunftsstrom auf einer Poissonverteilung beruht. Nur in einigen, wenigen Fällen musste die Hypothese verworfen werden. Die Hypothese auf Normal-, wie auch auf Exponentialverteilung musste deutlich häufiger verworfen werden resp. der Fehler 1. Ordnung viel signifikant kleiner aus. Tab. 22 führt beispielhaft die Werte für die elektiven Patientenzugänge der kard. Ambulanz (Quelle AMB_1) und die kard. Station 1 (Quelle STA_1) auf.

Quelle	Wochentag	N	Min	Max	Mittelwert	St.Abw.	Poisson Fehler 1. Ordnung	Normal Fehler 1. Ordnung	Exponential Fehler 1. Ordnung
AMB_1	Montag	122	1	8	5,0833	1,7673	.720	.549	.001
AMB_1	Dienstag	178	4	9	6,8462	1,2229	.066	.192	.000
AMB_1	Mittwoch	150	2	9	6,0000	1,7795	.241	.154	.003
AMB_1	Donnerstag	154	2	8	6,1600	1,4048	.129	.389	.000
AMB_1	Freitag	136	2	9	5,9130	1,9520	.770	.345	.003
AMB_1	Samstag	0	0	0	0,0000	0,0000	-	-	-
AMB_1	Sonntag	0	0	0	0,0000	0,0000	-	-	-
STA_1	Montag	149	4	8	6,4783	1,1627	.104	.297	.000
STA_1	Dienstag	163	4	10	6,5200	1,4177	.165	.222	.000
STA_1	Mittwoch	151	1	8	6,0400	1,5133	.131	.075	.000
STA_1	Donnerstag	141	3	8	5,6400	1,2871	.239	.387	.000
STA_1	Freitag	32	0	5	1,3333	1,1672	.849	.249	.000
STA_1	Samstag	2	0	1	0,0833	0,2823	1.00	.000	.000
STA_1	Sonntag	17	0	3	0,6800	0,9452	.503	.002	.000

Quelle: SAP Bewegungsdaten MKRARD (2011)

Tab. 22: Signifikanzniveau beim Test der Zufallsverteilungen bezogen auf die Anzahl der Patientenzugänge in der kard. Ambulanz (AMB_1) und auf der kard. Station 1 (STA_1)

Der Gesamtumfang der Parameterwerte ist im Anhang A67 je Wochentag und je Quelle aufgeführt. Jede Quelle wird in der Aufstellung mit dem Kürzel geführt, in Entsprechung zu den Festlegungen aus Unterabschnitt 9.7.2. Die Parameter sind im Modell auf der Systemebene zu finden.

(b) Patientenrohdaten (Patientenverläufe)

Die Patientenrohdaten (siehe Unterabschnitt 9.8.4) werden direkt aus den bereinigten SAP-Bewegungsdaten (Realdaten aus dem SAP IS-H*med) mittels aufgestellter SQL-Skripte einmalig abgeleitet (Transformation der Basisdaten). Mit einem weiteren SQL-Skript werden die Werte initial in die zentrale Datenbank (Tabelle patient_type) geladen. Damit ist diese Form der Parametrisierung sehr zeiteffizient in Bezug auf den Modellaufbau und die Parametrisierung der Verläufe. Gleichzeitig ermöglicht dies auch jederzeit das Patientengut einer anderen Klinik zu verwenden.

(c) Ressourcen

In der nachfolgenden Tab. 23 sind die im Modell eingebunden Simulationsressourcen, mit ihren je Dimension im Modell eingestellten Kapazitäten, aufgeführt.

Bezeichnung der Ressource	Dimension	Kapazität
Patients	n	1
Echo_Geraet	0	1
Echo_Geraet	1	1
Echo_Geraet	2	1
Pflegekraft_des_Echo	0	1
Arzt_im_Echo	0	2
HKL_Tisch	0	1
HKL_Tisch	1	1
HKL_Tisch	2	1
HKL_Tisch	3	1
Pflegekraft_des_HKL	0	10
Pflegekraft_der_kard_Ambulanz	0	1
Pflegekraft_am_Empfang_der_Ambulanz	0	1
Arzt_der_kard_Ambulanz	0	1
EKG_Spiro_Geraet	0	1
Pflegekraft_im_FB_EKG	0	1
Arzt_im_FB_EKG	0	1
Bett_kard_Station	0	36+1
Bett_kard_Station	1	39+0
Arzt_auf_kard_Normalstation	0	2
Arzt_auf_kard_Normalstation	1	2
Pflegekraft_Empfang_kard_Normalstation	0	1
Pflegekraft_Empfang_kard_Normalstation	1	1
Pflegekraft_auf_kard_Normalstation	0	1
Pflegekraft_auf_kard_Normalstation	1	1
Schreibkraft	0	2
Verwaltung (Zentralaufnahme)	0	4
EKG_Geraet_auf_Station	0	1
EKG_Geraet_auf_Station	0	1
Bett_Ueberwachungs_Intensivstation	0	100
Transportdienst	0	4

Tab. 23: Übersicht Ressourcen und eingestellte Kapazitäten im Ist-Modell

Die Patientenressourcen ist mit unbestimmter Anzahl an Dimensionen aufgelistet, da sich deren mengenmäßiger Umfang erst dynamisch zur Simulationslaufzeit ergibt (siehe Anhang A60 zur Umsetzung). Die Kapazität jeder Dimension der Patientenressource ist jedoch eindeutig mit 1 angegeben. Gemäß der Annahme im Anhang A62 (c) wird die Kapazität der Stationsärzte im Modell je kard. Station mit 2

eingestellt. Bezogen auf die Pflegekräfte der kard. Stationen ist anzumerken, dass entgegen der hier verwendeten Parametrisierung, auf einer kard. Station sicherlich mehr als nur eine Krankenschwester je Schicht anwesend ist. Aber auch hier, ist für den vorliegenden Zweck, die Beschränkung auf eine Ressource, für die Zimmereinweisung und Vorbereitung auf eine HKL-Maßnahme, hinreichend. Für den Aufnahmeprozess ist am Empfang der kard. Stationen eine weitere Ressource im Modell vorgesehen.

Zusatzbetten im Untersuchungsraum wurden im Ist-Modell in der Bettenkapazität auf den kard. Stationen berücksichtigt (hier mit +1/+0 angegeben), da diese regelmäßig mit genutzt wurden. Im späteren Optimierungsfall, werden Zusatzbetten unberücksichtigt bleiben. Zu diesem Zweck sind die Bettenkapazitäten der kard. Stationen als Parameter auf Systemebene hinterlegt (siehe Tab. 24). Dies vor dem Hintergrund schnell Änderungen hieran zu ermöglichen resp. diese einer späteren Variation leichter zugänglich zu machen.

Parameterbezeichnung	Wert im Ist-Modell	Erläuterung
KARDSTAT_Ward_Dimensions	2	Anzahl der Dimensionen (Anzahl der kard. Stationen)
KARDSTAT_BedsPerDimension	37 39	Array an Bettenkapazitäten der kard. Stationen (Wert 1 = kard. Station 1; Wert 2 = kard. Station 2)

Tab. 24: Systemparameter für Dimensionen und Kapazitäten

Darüber hinaus werden nachfolgende Parameter auf der Systemebene vorgehalten, welche zu berücksichtigende Ressourcenerfordernisse je Maßnahme innehaben (siehe Tab. 25).

Parameterbezeichnung	Wert (Dimension)	Anteil der Maßnahmen
ECHO_TTE_Dimension	-1	100,00 %
ECHO_TSE_Dimension	1	100,00 %
ECHO_TEE_Dimension	1	100,00 %
EKG_SPIRO_Dimension	-1	100,00 %
EKG_BELAS_Dimension	-1	100,00 %
HKL_CORO_Dimension	0 1	98,92 %
HKL_KATH_Dimension	0 1	96,95 %
HKL_PTCA_Dimension	0 1	98,04 %
HKL_PTA_Dimension	0 2	88,07 %
HKL_TAVI_Dimension	3	100,00 %
HKL_EPU_Dimension	2	100,00 %
HKL_ABLAE_Dimension	2	100,00 %
HKL_ABLAK_Dimension	2	100,00 %
HKL_MITRA_Dimension	3	50,00 %
HKL_SONST_Dimension	0 1	53,21 %

Tab. 25: Systemparameter zu Ressourcenerfordernissen

Der aufgeführte Parameterwert bezieht sich auf den Vorgabewert der zu belegenden Ressource. Hierbei ist die Dimension direkt angegeben. Sind mehr als eine Dimension aufgeführt, kann die Maßnahme in jeder der aufgeführten Ressourcendimension durchgeführt werden. Ein Parameterwert von -1 bedeutet eine freie Zuteilung auf alle

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

verfügbaren Dimensionen der jeweiligen Ressource. In der obigen Aufstellung ist in der Spalte „Anteil der Maßnahmen“ der jeweilige Anteil an Maßnahmen aufgeführt, welcher von dieser Parametrisierung, bezogen auf die Erhebung im Realsystem, abgedeckt wird. Sofern Maßnahmen von dieser generellen Festlegung abweichen, ist dieses Erfordernis je Maßnahme individuell in den Rohdaten vermerkt. Dies trifft insbesondere auf die Zuteilung zum Labor 4 (Dimension 3) zu, wo auf Basis der Bezeichnung (z.B. sonstige Maßnahmen) die Ressourcenzuordnung nicht eindeutig möglich ist.

(d) Einschränkungen in der Termin- und Ressourcenverfügbarkeit

Die Verfügbarkeit der Ressourcen im Klinikmodell wird durch Öffnungszeiten, Pausen, Wartungen, Störungen sowie durch Terminrestriktionen beschränkt. Die Parametrisierung derer wird im Folgenden aufgeführt.

Slotgrößen der Terminkalender

Die im Modell zur Beplanung abgebildeten und parametrisierten Ressourcen sind parallel dazu in der Tabelle „resource“ in der zentralen Datenbank hinterlegt (siehe Tab. 26). Diesbezüglich ist zu jeder Ressource (Kombination aus resource_id und dimension) aufgeführt, welche Slotgröße „slot_size“ der zugehörige Terminkalender führt. Sprich, die Granularität der kleinsten Termineinheit, basierend auf den zugrunde liegenden Maßnahmendauern (siehe Unterabschnitt 9.7.3 zur Berechnung).

resource_id	dimension	label	slot_size
ECHO	0	Echo Gerät TTE	15
ECHO	1	Echo Gerät TTE/TSE/TEE	15
ECHO	2	Echo Gerät TTE	15
EKG	0	EKG/Spiro Gerät	10
HKL	0	HKL Labor 1	15
HKL	1	HKL Labor 2	15
HKL	2	HKL Labor 3 (EPU)	15
HKL	3	HKL Labor 4	15
IBETT	0	Bett auf Station Intensiv/Überwachung	60
KBETT	0	Bett auf kard. Station I	60
KBETT	1	Bett auf kard. Station II	60

Tab. 26: Ressourcenhinterlegung in der zentralen Datenbank – Tabelle „resource“

Da die Stationsbetten (IBETT, KBETT) im vorliegenden Modell derzeit nicht mittels eines Terminplans geplant werden, sind hierfür in der Spalte „slot_size“ derzeit nur „Dummywerte“ mit dem Wert 60 eingesetzt.

Templates der Terminkalender

Auf Basis der aufgeführten Slotgrößen ergeben sich innerhalb der Öffnungszeiten eine definierte Anzahl an verfügbaren Terminen. Diese Termine werden um Pausenzeiten, und Zeiten zu denen keine Termine vergeben werden, gemindert. Diesbezüglich ist in der zentralen Datenbank die Tabelle „schedule_template“ (Termin-template) hinterlegt. Diese beinhaltet die Vorlagen für die Terminkalender

der beplanten Ressourcen, mit den jeweiligen Ausprägungen der Restriktionen (siehe Tab. 27 für das Beispiel der Echoressource 1 am Tag 0 - Montag).

sim_id	resource_id	st_dimension	st_cw_num	day_of_week	slot_num	slot_type
1	ECHO	0	0	0	30	BUFFER
1	ECHO	0	0	0	31	FREE
1	ECHO	0	0	0	32	FREE
1	ECHO	0	0	0	33	FREE
1	ECHO	0	0	0	34	FREE
1	ECHO	0	0	0	35	FREE
1	ECHO	0	0	0	36	FREE
1	ECHO	0	0	0	37	FREE
1	ECHO	0	0	0	38	FREE
1	ECHO	0	0	0	39	FREE
1	ECHO	0	0	0	40	FREE
1	ECHO	0	0	0	41	FREE
1	ECHO	0	0	0	42	FREE
1	ECHO	0	0	0	43	FREE
1	ECHO	0	0	0	44	FREE
1	ECHO	0	0	0	45	FREE
1	ECHO	0	0	0	46	FREE
1	ECHO	0	0	0	47	FREE
1	ECHO	0	0	0	48	BREAK
1	ECHO	0	0	0	49	BREAK
1	ECHO	0	0	0	50	BREAK
1	ECHO	0	0	0	51	BREAK
1	ECHO	0	0	0	52	FREE
1	ECHO	0	0	0	53	FREE
1	ECHO	0	0	0	54	FREE
1	ECHO	0	0	0	55	FREE
1	ECHO	0	0	0	56	FREE
1	ECHO	0	0	0	57	FREE
1	ECHO	0	0	0	58	FREE
1	ECHO	0	0	0	59	FREE
1	ECHO	0	0	0	60	FREE
1	ECHO	0	0	0	61	FREE
1	ECHO	0	0	0	62	BUFFER
1	ECHO	0	0	0	63	BUFFER
1	ECHO	0	0	0	64	BUFFER
1	ECHO	0	0	0	65	BUFFER

Tab. 27: Vorlage für den Terminkalender am Beispiel der Echoressource 1 am Montag – Tabelle „schedule_template“

Die Spalte „sim_id“ bezeichnet die Simulation und dient der späteren Differenzierung bei mehreren, verschiedenen Simulationsläufen, welche hier mittels einer ID abgegrenzt werden. Je Wochentag wird je Ressource und je Dimension der Terminkalender vorbereitet. Das vorliegende Beispiel bezieht sich auf den Tag 0 (= Montag) in der Spalte „day_of_week“. In der Spalte „slot_num“ sind die Terminslots fortlaufend nummeriert. Die Nummerierung beginnt mit dem Tageswechsel (00:00 – 00:15 Uhr = 1, 00:15 – 00:30 Uhr = 2 etc.). Entsprechend ist der Beginn der Öffnungszeiten im Beispiel hier der Slot mit der Nummer 30. Dies entspricht folglich der Uhrzeit 07:30 Uhr. Freie Terminslots sind als „FREE“ vermerkt. Der erste Slot ist als „BUFFER“ in der Spalte „slot_type“ angegeben. Hierdurch ist bereits eine Belegung vorgenommen, sodass dieser Terminslot zwar als innerhalb der Öffnungszeiten gilt, aber nicht für eine Terminvergabe genutzt werden

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

kann. In gleicher Weise erfolgt eine Blockierung zum Ende der Öffnungszeit hin, wodurch zu diesen Zeiten ebenfalls keine Termine mehr vergeben werden können. Im vorliegenden Fall ist dies in der Zeit ab 15:30 Uhr (Slotnummer 62). Die Öffnungszeit endet mit dem Ende des Slots 65 um 16:30 Uhr. Etwaige Pausen sind hier als „BREAK“ ebenfalls in Form einer Belegung eingetragen. Die Pause ist im vorliegenden Fall im Zeitraum von 12:00 – 13:00 Uhr.

Die hier beschriebene Vorlage wird automatisiert für alle Ressourcen, Wochentage und Dimensionen über ein dem Modell beiliegendes SQL-Skript in die Datenbank eingespielt. Dies erfolgt einmalig vor dem Start der Simulation. Es handelt sich hierbei um dasselbe Skript, welches auch die Rohdaten in die Datenbank einspielt.

Im Anhang A68 wird eine Übersicht der in den Templates im Modell hinterlegten Öffnungs-, Pausen- und Abwesenheitszeiten gegeben. Sofern keine Pausen angegeben sind, werden diese im Realsystem durch einen entsprechenden Personal-/Ressourceneinsatz überbrückt. Wie die Übersicht zeigt (in der Spalte „(Dienst-) Ende freitags“), kann es zwischen den Wochentagen variierende Öffnungszeiten geben. Diese finden sich hier ausschließlich freitags. Zudem gibt es noch die Besonderheit des HKL4, welches montags, mittwochs und freitags halbtags zur Verfügung steht und nur an diesen Tagen beansprucht werden kann. Dieser Sachverhalt wird entsprechend durch das auf das HKL4 angepasste Termin-Template berücksichtigt.

Einschränkungen in der Verfügbarkeit der Arztressourcen auf den kard. Stationen

In Bezug zur Umsetzung der Arztressource wurden Dienstbesprechungen mit dem Oberarzt in der Zeit von 8:00 – 8:30 Uhr aufgeführt. Diesbezüglich ist im Modell eine Startzeit, die Dauer und die Priorität parametrisiert (siehe Tab. 28).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
KARDSTAT_ARZT_MEETING_DURATION	30	Dauer der Oberarztbesprechung in Minuten
KARDSTAT_ARZT_MEETING_START_TIME	480	Beginn der Oberarztbesprechung in Minuten ab dem Tageswechsel
KARDSTAT_MEETING_Priority	2	Priorisierung der Oberarztbesprechung innerhalb der Aufgaben des Stationsarztes

Tab. 28: Systemparameter bzgl. der Oberarztbesprechung

Darüber hinaus ist das Intervall als Parameter auf Modulebene hinterlegt und determiniert den Abstand der Besprechungen. Da diese täglich erfolgen, ist der Parameterwert 1440 (Minuten).

Darüber hinaus wurde die Kurven- und Patientenvsichte aufgeführt. Ärzte sind zwar anwesend, aber zeitlich gebunden. Die Parameter und zugehörigen Werte sind in Tab. 29 aufgeführt. Neben diesen gibt es zusätzlich Bearbeitungszeiten, welche die Länge

der Visite determinieren. Hierzu wird später im Abschnitt der Bearbeitungszeiten ausgeführt (siehe Unterabschnitt 9.11 (f)).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
KARDSTAT_ARZT_VISITE_Active	1	Aktiviert (1) / deaktiviert (0) die Visite für die Arztressource
KARDSTAT_ARZT_VISITE_KURVE_START_TIME	570	Beginn der Kurvenvisite in Minuten ab dem Tageswechsel
KARDSTAT_ARZT_VISITE_PATIENT_START_TIME	630	Beginn der Patientervisite in Minuten ab dem Tageswechsel
KARDSTAT_VISITE_Priority	2	Priorisierung der Visite innerhalb der Aufgaben des Stationsarztes

Tab. 29: Systemparameter bzgl. der Visiten auf den kard. Stationen

Störungen und Wartungen

Wartungen und Störungen werden über das Template der Terminkalender nicht abgebildet. Wie in Unterabschnitt 9.7.3 ausgeführt, werden Wartungen und Störungen über dedizierte Kontroll- und Verwaltungspfade umgesetzt. Auf diesem Wege werden Wartungen wie Termine in die betreffenden Terminkalender eingetragen und die Ressourcen der Funktions-/OP-Bereiche mit Wartungs- und Störungspartikeln belastet. Diese stellen damit eine spezielle Form der Ressourcenbeschränkung dar. Bedingt durch die Modellierung als Verwaltungspfade, sind diese direkt im Klinikmodell zu parametrisieren. Diesbezüglich sind folgende Werte auf der Systemebene im Klinikmodell hinterlegt (siehe Tab. 30, Tab. 31).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
HKL_Maintenance_Active	ON	Wartungen im HKL AN/AUS
HKL_Maintenance_FirstTimes	30240 60480 90720 120960	Zeitpunkte (Minuten) für jede Dimension der Ressource, wann erstmalig eine Wartung eingeplant werden soll, für den Fall, dass weniger Werte als Dimensionen angegeben sind, gilt der letzte Wert für die weiteren Dimensionen -1 bedeutet, keine erneute Wartung für aktuelle Dimension
HKL_Maintenance_IntervalTimes	131040	Wartungsintervall im HKL in Minuten mit dem Wartungen erneut nach erstmaligen Auftreten (FirstTime) eingeplant werden sollen z.B. jedes viertel Jahr
HKL_Maintenance_Offset	20160	Mit wieviel Vorlauf werden Wartungen eingeplant (FirstTime + Offset => Zeitpunkt der Wartung)
HKL_Maintenance_Duration_Min	40	Minimalwert der Dauer einer Wartung im HKL in Minuten
HKL_Maintenance_Duration_Max	585	Maximalwert der Dauer einer Wartung im HKL in Minuten
HKL_Maintenance_Duration_Mean	197.0000	Mittelwert der Dauer einer Wartung im HKL (Normalverteilung) in Minuten
HKL_Maintenance_Duration_Variance	53645	Varianz in der Dauer einer Wartung im HKL (Normalverteilung) in Minuten

Tab. 30: Systemparameter für Ressourcenbeschränkungen durch Wartungen

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
HKL_Malfunction_Active	ON	Störungen AN/AUS
HKL_Malfunction_Dimension_Weights	0.4118 0.7059 0.7647	Wichtungen der Dimensionen beim Auftreten von Störungen; Arraywerte markieren die Trennlinien im Intervall [0; 1) z.B. 0.3 0.6 0.8 = 30% HKL1, 30% HKL2, 20% HKL3, 20% HKL4
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure	8447	Mittelwert in Minuten in der Dauer zwischen zwei Störung (Exponentialverteilung)
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure_Min	825	Minimalwert in Minuten in der Dauer zwischen zwei Störung (Exponentialverteilung)
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure_Max	36825	Maximalwert in Minuten in der Dauer zwischen zwei Störung (Exponentialverteilung)
HKL_Malfunction_Duration_Min	30	Minimalwert in Minuten in der Dauer der Störung
HKL_Malfunction_Duration_Max	540	Maximalwert in Minuten in der Dauer der Störung
HKL_Malfunction_Duration_Mean	251.4706	Mittelwert in Minuten in der Dauer der Störung (Normalverteilung)
HKL_Malfunction_Duration_Variance	343.6906	Varianz in Minuten in der Dauer der Störung (Normalverteilung)

Tab. 31: Systemparameter für Ressourcenbeschränkungen durch Störungen

Störungen und Wartungen konnten im gesamten Erhebungszeitraum nur für die Herzkatheterlabore festgestellt werden. Entsprechend ist die Parametrisierung hier nur für diese aufgeführt.

Da nicht jedes Labor zur gleichen Zeit der Wartung unterworfen wird, ist im Modell der hier aufgeführte Parameter „HKL_Maintenance_FirstTimes“ vorgehalten, welcher den zeitlichen Versatz der einzelnen Labore zueinander festlegt und determiniert, ab wann je Labor die Wartungsintervalle beginnen.

Die Werte zur Dauer (Duration) einer Störung resp. Wartung sind als normalverteilt angenommen. Eine entsprechende Hypothese mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test (Signifikanzniveau 0,05) konnte nicht verworfen werden (siehe Tab. 32). Die Angaben zu Minimum, Maximum, Mittel und Median sind in Minuten und beziehen sich auf die Dauer.

Beschreibung	N	Min	Max	Mittel	Median	St.Abw.	Verteilungs- funktion	Fehler 1. Ordnung
Dauer einer Wartung	5	40	585	197,0000	60	231,6139	Normal	.545
Dauer einer Störung	17	30	540	251,4706	180	179,3632	Normal	.575

Quelle: Erhebungsbogen HKL (2012), Auswertung Terminkalender (2012)

Tab. 32: Übersicht zeitlicher Umfang Störungen und Wartungen im HKL (Einrichtung 3)

Wartungen stellen einen besonderen Fall dar, da diese geplant sind. Im hier vorliegenden Fall sind diese quartalsweise je Labor durchzuführen. Der Parameter „HKL_Maintenance_IntervalTimes“ ist daher mit 131040 (Minuten) eingestellt. Dies entspricht dem Minutenwert von 3 Monaten (91 Tage). Es muss deswegen auf Minutenwerte abgestellt werden, da die Simulation ebenfalls auf Minutenbasis erfolgt (siehe Abschnitt 9.3 zur Simulationszeit). Bezogen auf die Labore 1-4, werden

eine Gleichverteilung der Wartungen angenommen, da Wartungen auch im Realsystem jedes Labor in gleicher Weise betreffen.

Bezogen auf die Häufigkeit der Störungen, sind die HKLs nicht gleichverteilt. Am häufigsten treten die Störungen in den Laboren 1+2 auf, bedingt durch deren Alter. Wohingegen die Labore 3+4 signifikant weniger durch Störungen belastet sind. Die Labore werden im Modell gewichtet und die Störungen gleichverteilt aus der gewichteten Menge gezogen. Die Gewichtungen entsprechen der an den Realdaten ermittelten, prozentualen Verteilung der Störungen, mit: HKL1 = 41,18 %, HKL2 = 29,41 %, HKL3 = 5,88 % und HKL4 = 23,53 %. Diese Werte sind im Parameter „HKL_Malfunction_Dimension_Weights“ hinterlegt mit dem Array-Wert⁹⁵ 0.4118 0.7059 0.7647.

Störungen treten unbestimmt auf. Um den Zeitpunkt des Eintretens zu determinieren, wurde die zeitliche Differenz zwischen zwei Störungen in Minuten bemessen (siehe Tab. 33). Die aufgeführten Angaben zu Minimum, Maximum, Mittelwert, Median und Standardabweichung sind in Minuten.

Beschreibung	N	Min	Max	Mittel	Median	St.Abw.	Exponential Fehler 1. Ordnung	Normal Fehler 1. Ordnung
zeitlicher Abstand zw. zwei Störungen	17	825	36825	8447	4087	10769	.316	.116

Tab. 33: Zeitlicher Abstand zwischen zwei Störungen

Die Werte werden als exponentialverteilt angenommen. Die entsprechende Hypothese mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test auf Exponentialverteilung (Signifikanzniveau 0,05) konnte nicht verworfen werden.

Die Messwerte werden modellseitig über nachfolgende Parameter eingestellt (siehe Tab. 34).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure	8447	Mittelwert in der Dauer zwischen zwei Störung
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure_Max	36825	Maximalwert in der Dauer zwischen zwei Störung
HKL_Malfunction_MeanTimeBetweenFailure_Min	825	Minimalwert in der Dauer zwischen zwei Störung

Tab. 34: Systemparameter bzgl. zeitlichem Abstand zwischen zwei Störungen

(e) Parameter der Terminvergabe – Planwerte

In den Ausführungen zur Terminplanung wurden Planwerte angesprochen, auf Basis welcher Termine im Modell vergeben werden. Zu diesem Zweck finden sich auf der

⁹⁵ Der erste Wert im Array entspricht dem HKL1, die Differenz aus 2. und 1. Wert ist 0,2941 was dem HKL2 entspricht. Dies wird so fortgesetzt. Der letzte Wert wird als Differenz zu 1 errechnet und entspricht mit 0.2353 dem Labor 4.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Systemebene des Modells nachfolgende Parameter, welche die Anzahl an Slots als Wertausprägung für den Planwert zu der jeweiligen Maßnahme innehaben (siehe Tab. 35). Es ist zu beachten, dass die in den jeweils Terminkalendern der Funktions-/OP-Bereiche geltende Slotgröße Grundlage der hier aufgeführten Werte sind.

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
ECHO_TTE_Slots	1	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für ein normales Echo
ECHO_TSE_Slots	3	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für ein Stressecho
ECHO_TEE_Slots	2	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für ein Schluckecho
EKG_SPIRO_Slots	2	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Spiro-Ergometrie
EKG_BELAS_Slots	1	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für ein Belastungs-EKG
HKL_CORO_Slots	4	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Koronarangiographie
HKL_KATH_Slots	4	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine RE-/LI-Katheteruntersuchung
HKL_PCTA_Slots	6	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Perkutane Transluminale Coronare Angioplastie
HKL_PTA_Slots	4	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Perkutane Transluminale Angioplastie
HKL_TAVI_Slots	10	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für einen Aortenklappenersatz mittels Katheter
HKL_EPU_Slots	6	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine elektrophysiologische Untersuchung
HKL_ABLAE_Slots	4	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Ablation (einfach)
HKL_ABLAK_Slots	12	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Ablation (komplex)
HKL_MITRA_Slots	14	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine Mitralklappenrekonstruktionen
HKL_SONST_Slots	8	Anzahl zu belegender Slots bei der Terminvergabe für eine sonstige HKL-Maßnahme

Tab. 35: Systemparameter zu den Planwerten der Maßnahmen

Da keine Termine für Notfälle vergeben werden, gibt es in der Aufstellung auch keinen Planwert dahingehend.

(f) Bearbeitungszeiten und Wegezeiten

Bearbeitungs- und Wegezeiten wurden empirisch im Realsystem erhoben und anschließend statistisch analysiert. Basierend auf den Ausführungen im Abschnitt 9.8 wurde, für jede einzelne Maßnahme und alle abgebildeten Prozessschritte, die Hypothese einer log. Normalverteilung der Dauer getestet. Parallel dazu erfolgt der Test auf Normal- und Exponentialverteilung. In den Einzeltests mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test (Signifikanzniveau von 0,05) zeigt die log. Normalverteilung die besten Ergebnisse im Vergleich zu einer Normal- oder Exponentialverteilung. Im Anhang A69 sind die Erhebungswerte und die Fehler 1. Ordnung der jeweiligen Tests für die zentralen Prozessschritte und Maßnahmen aufgeführt. Die Angaben sind jeweils in Minuten. Der Stichprobenumfang ist mit „N“ angegeben und bezieht sich auf den Teil 1 der zweigeteilten Datenbasis.

Wie die Aufstellung zeigt, musste die Hypothese (die Verteilung ist log.-normalverteilt) auf dem Signifikanzniveau von 0,05 in einigen Fällen verworfen

werden. Zum Teil ist dies darin begründet, dass die Stichproben zu klein waren, weil eine effiziente Erhebung nicht möglich ist. Darüber hinaus können Rundungen durch die erhebenden Personen (Personal der Klinik) die Erhebung verfälscht haben. Da in derartigen Fällen auch andere Hypothesen abgelehnt werden mussten, bzw. im überwiegenden Teil die log.-Normalverteilung nicht verworfen werden konnte, wird diese als Grundlage der Parametrisierung einheitlich für alle Bearbeitungszeiten im Modell eingestellt.

Die einzelnen Modellparameter sowie deren Wertausprägungen, welche im Modell für Bearbeitungszeiten hinterlegt werden, sind im Anhang A70 aufgeführt und erläutert. Hierbei ist zu beachten, dass modellseitig mit einer Normalverteilung gearbeitet wird. Die Erhebungswerte wurden auf der Basis als logarithmierte Werte hinterlegt. Um dies zu erreichen, werden die Einzelwerte der Erhebung logarithmiert und auf der Basis die erforderlichen Parameterwerte (Mittelwert und Varianz) ermittelt. Auf diesem Wege kann auf validierte Bausteine des Simulationssystems zurückgegriffen werden, um auch eine log.-Normalverteilung im Modell abzubilden. Die so im Modell über die Normalverteilung erzeugten Werte werden anschließend mit der Umkehrfunktion e^x errechnet. Darüber hinaus sind zusätzlich zu dem Mittelwert und der Varianz, welche als Eingabewert der Verteilungsfunktion dienen, jeweils Minimum- und Maximalwerte aufgeführt. Diese grenzen die erzeugten Zufallswerte im Sinne einer Dreiecksverteilung im Modell zusätzlich ein.

(g) Reihenfolge der Maßnahmen

Im Folgenden wird die modellseitige Parametrisierung erläutert, welche Einfluss auf die Reihenfolge in der Abarbeitung der Maßnahmen nimmt.

Reihenfolge der Maßnahmenanforderungen stationärer und ambulanter Maßnahmen

Bezogen auf die Reihenfolge der Maßnahmenanforderungen, wie diese während des stationären Aufenthaltes im Rahmen der Voruntersuchungen angesetzt werden, wird im Modell in zwei Varianten unterschieden (siehe Anhang A55 0) Für das Ist-Modell wird die Variante S1 eingestellt. Der auf Systemebene verlinkte Parameter „KARDSTAT_PREEXAM_OPMODE“ wird entsprechend auf den Wert „Request all in one Iteration“ eingestellt. Unter diesem Gesichtspunkt erfolgt die Bestimmung der Modellgenauigkeit des Ist-Modells zunächst gemäß den Ablaufgegebenheiten des Realsystems. Alle Maßnahmen die im Rahmen der Voruntersuchung angesetzt sind, werden gleichzeitig im Zuge der stationären Aufnahme angemeldet, inkl. der ersten elektiven HKL-Maßnahme (innerhalb der VU-Frist).

Bezogen auf die Reihenfolge der Maßnahmen, wie diese zum Ambulanztermin durchgeführt werden, wird im Modell ebenfalls in zwei Varianten unterschieden

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

(siehe Anhang A55 0). Für das Ist-Modell wird die Variante A1 eingestellt. Der auf Systemebene verlinkte Parameter „AMBULANZ_SequenceType“ wird entsprechend auf „Fixed“ (Wert 0) gesetzt. Auch hier erfolgt damit unter diesem Gesichtspunkt die Bestimmung der Modellgenauigkeit des Ist-Modells zunächst gemäß den Ablaufgegebenheiten des Realsystems. Patienten erhalten die Maßnahmen basieren auf den Reihenfolgevorgaben aus den Patientenrohdaten, gemäß der Verteilung im Realsystem.

Sonstige Vorgaben bezüglich des Zeitpunkts der Umsetzung der angesetzten (elektiven) ambulanten Maßnahmen resp. stationären Maßnahmen im Rahmen der Voruntersuchung gibt es keine. Der jeweilige Zeitpunkt wird über die Terminvergabe festgelegt.

Arztgespräch in der Maßnahmenfolge der Ambulanzpatienten

In den Bewegungsdaten der Ambulanzpatienten aus dem SAP IS-H*med mangelt es an der Dokumentation hinsichtlich des Zeitpunkts, zu dem das Arztgespräch erfolgt. Entsprechend ist dies in der Aufstellung zur Struktur der Patientenrohdaten bisher nicht enthalten (siehe Anhang A59 zum Aufbau der Rohdaten). Um ein Arztgespräch zu determinieren, wurde eine empirische Erhebung im Realsystem mittels Laufzettel durchgeführt (siehe Unterabschnitt 6.3.7). Die Auswertung dessen hat ergeben, wie sich das Arztgespräch in die Reihenfolge der Maßnahmen eingliedert (siehe Tab. 36).

Ausprägung der Rohdaten	N	vor 1. Maßnahme	nach 1. Maßnahme	nach 2. Maßnahme
keine Maßnahme	6	100,00%	0,00%	0,00%
eine Maßnahme	39	15,38%	84,62%	0,00%
zwei Maßnahmen	39	12,82%	15,38%	71,79%
Summe	84			

Quelle: empirischer Erhebungsbogen MKARD (2012)

Tab. 36: Eingliederung des Arztgesprächs im Rahmen des Ambulanzbesuchs

Das Arztgespräch ist in der Reihenfolge als verbindlich im Patientenverlauf anzusehen. Nachfolgende Maßnahmenanforderungen kommen auch modellseitig erst danach zum Tragen (siehe hierzu Anhang A55 0 im Detail).

Je Patient wird zur Modelllaufzeit das Arztgespräch, entsprechend den erhobenen Werten, in den Patientenverlauf eingliedert. Dies erfolgt durch das Modul „Gen Arzt Gespraech“, welches dem Ambulanzpfad vorangestellt ist. Nachdem die Patientenrohdaten modellseitig eingelesen wurden, ergänzt der Baustein den jeweiligen (ambulanten) Patientenverlauf um das Arztgespräch und legt die erforderlichen Informationen in der internen Datenstruktur des jeweiligen Patienten ab. In der Folge ergibt sich die finale Ausprägung des Patientenverlaufs.

Zum Zweck der Parametrisierung sind im Modul „Gen Arzt Gespraech“ nachfolgende Parameter hinterlegt (siehe Tab. 37).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
ARZT_Weights_1_Action	0.1538	Prozentsatz der Patienten die vor der Untersuchung das Arztgespräch haben, wenn nur eine Maßnahme angesetzt ist.
ARZT_Weights_2_Actions	0.1282 0.2820	Arraywert – 1. Wert = Prozentsatz der Patienten die vor der Untersuchung das Arztgespräch haben, Delta aus 1. und 2. Wert = Prozentsatz Arztgespräch nach der 1. Maßnahme und Delta aus 2. Wert und 1 = Prozentsatz Patienten mit Arztgespräch nach der 2. Maßnahme

Tab. 37: Systemparameter bzgl. der Lage des Arztgesprächs im Verlauf in der kard. Ambulanz

Die modellseitige Verwendung erfolgt der Art, dass geprüft wird wie viele Maßnahmen angesetzt sind. Wurde nur eine Maßnahme angesetzt, wird Parameter „ARZT_Weights_1_Action“ angewendet. 15,38 % der Patienten erhalten daraufhin vor der Maßnahme das Arztgespräch. Die restlichen 84,62 % der Patienten erhalten das Arztgespräch nach der Maßnahme. Im Fall, dass zwei Maßnahmen angesetzt sind, findet der erste Wert im „Parameter ARZT_Weights_2_Actions“ Anwendung. Dieser gibt den Prozentsatz der Patienten an, welche das Arztgespräch gleich zu Beginn noch vor der ersten Maßnahme haben. Die Differenz der beiden Werte hier $0,2820 - 0,1282$ ergibt mit $0,1538$ (15,38 %) die prozentuale Häufigkeit dafür, dass das Arztgespräch nach der ersten Maßnahme erfolgt. Schließlich ist die Differenz des letzten Wertes $0,2820$ zu 1 (71,8 %) der Prozentsatz an Patienten, welche das Arztgespräch nach der zweiten Maßnahme haben.

Darüber hinaus nehmen auch Priorisierungen Einfluss auf die Abarbeitungsfolge. Die im Modell auf Systemebene hinterlegten Parameter und deren Wertausprägungen zur Priorisierung sind im Anhang A71 aufgeführt und erläutert. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Unterabschnitt 9.7.4 und Anhang A58 zur Patientenauswahl.

Unpünktlichkeit und zum Termin ausbleibende Patienten (no-show) in den Funktions-/OP-Bereichen

Mittels einer empirischen Erhebung konnten Terminabweichungen und der Prozentsatz der zum Termin ausbleibenden Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen ermittelt werden. In der nachfolgenden Tab. 38 sind die für die Einrichtung 3 ermittelten und im Modell hinterlegten Parameter für die Unpünktlichkeit in Minuten, bezogen auf den angegebenen Stichprobenumfang, aufgeführt. Die Zufallsverteilung wird im Modell als Normalverteilt angenommen. Bezogen auf ein zu frühes Auftreten ist ein Maximum von 59 Minuten bemessen worden. Elektive Patienten, welche früher eintreffen, werden im Realsystem nicht automatisch zum Zeitpunkt des verfrühten Eintreffens behandelt, sondern erst zum Termin aufgerufen. Nur im Falle einer freien Ressource können die Patienten

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

vorzeitig abgearbeitet werden. In gleicher Weise wird dies im Modell umgesetzt (siehe Tab. 39 zu den Systemparametern).

Beschreibung	N	Min	Max	Mittelwert	St.Abw.	Normal Fehler 1. Ordnung
Echokardiografie						
Unpünktlichkeit elektiver Patienten im ECHO	79	-47	48	5,7722	18,9892	.144
Quelle: Erhebungsbogen kard. Ambulanz (2012), Erhebungsbogen ECHO (2012)						
Elektrokardiografie						
Unpünktlichkeit elektiver Patienten im EKG	138	-55	55	3,8623	22,6278	.081
Quelle: Erhebungsbogen kard. Ambulanz (2012), Erhebungsbogen EKG (2012)						
Herzkatheterlabor						
Unpünktlichkeit elektiver Patienten im HKL	376	-59	53	-12,2048	20,5226	.009
Quelle: Erhebungsbogen HKL (2012)						

Tab. 38: Überblick Unpünktlichkeit und no-show Wahrscheinlichkeit in den Funktions-/OP-Bereichen (Einrichtung 3)

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
EKG_Timeliness_Mean	3.8623	Unpünktlichkeit der Patienten im EKG im Mittel
EKG_Timeliness_Variance	512.0174	Varianz in der Unpünktlichkeit der Patienten im EKG
EKG_Timeliness_Min	-5	Frühest möglicher Zeitpunkt (vor dem Termin) zu dem der Patient auf die Ressourcenwarteschlange gelassen wird.
ECHO_Timeliness_Mean	5.7722	Unpünktlichkeit der Patienten im ECHO im Mittel
ECHO_Timeliness_Variance	360.5897	Varianz in der Unpünktlichkeit der Patienten im ECHO
ECHO_Timeliness_Min	-5	Frühest möglicher Zeitpunkt (vor dem Termin) zu dem der Patient auf die Ressourcenwarteschlange gelassen wird.
HKL_Timeliness_Mean	-12.2048	Unpünktlichkeit der Patienten im HKL im Mittel
HKL_Timeliness_Variance	421.1766	Varianz in der Unpünktlichkeit der Patienten im HKL
HKL_Timeliness_Min	-10	Frühest möglicher Zeitpunkt (vor dem Termin) zu dem der Patient auf die Ressourcenwarteschlange gelassen wird.

Tab. 39: Systemparameter zur Unpünktlichkeit elektiver Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen

Um dem früheren Auftreten gerecht zu werden und die Möglichkeit zu behalten, dass elektive Patienten vorgezogen werden können, werden diese im Modell bis zu 10 Minuten eher in die Ressourcenwarteschlange eingestellt. Zu frühes Auftreten wird damit auf maximal 10 Minuten begrenzt. Dies auch der Art begründet, dass sich elektive Patienten im Modell nicht überholen sollen. Bezogen auf Verspätungen wird davon ausgegangen, dass bis zu 5 Minuten auf den Patienten gewartet wird. Sofern der elektive Patient bis dahin nicht eingetroffen ist, wird dieser im Modell als no-show gewertet und muss die Maßnahme als nicht-elektive Anforderung entsprechend später wahrnehmen. Lediglich für das Herzkatheterlabor wird dieser Parameter auf 10 Minuten Verspätung gesetzt, da die Maßnahmen im HKL deutlich länger laufen, Vorbereitungen getroffen wurden und entsprechend dessen eine höhere Toleranz angesetzt werden kann. Diese tolerierte Wartezeit ist modellseitig mit nachfolgenden Parametern auf Systemebene hinterlegt (siehe Tab. 40).

Die angegebenen Werte sind in Minuten und werden im Modell in einer kleiner als Bedingung angewendet. Daher sind die aufgeführten Werte jeweils um eins erhöht.

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
EKG_WaitForLatePatients	6	tolerierte Verspätung der Patienten im EKG, zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)
ECHO_WaitForLatePatients	6	tolerierte Verspätung der Patienten im ECHO, zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)
HKL_WaitForLatePatients	11	tolerierte Verspätung der Patienten im HKL, zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)
EKG_MinutesLateForNoShow	6	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im EKG als no-show gewertet wird
ECHO_MinutesLateForNoShow	6	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im ECHO als no-show gewertet wird
HKL_MinutesLateForNoShow	11	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im HKL als no-show gewertet wird

Tab. 40: Systemparameter zur tolerierten Wartezeit in den Funktions-/OP-Bereichen

Vorziehen von nicht-elektiven Patienten

Neben dem Vorziehen von elektiven Patienten, die zu früh im Modell auftreten, können auch nicht-elektive Patienten im Ablauf eingeschoben resp. bezogen auf ihren Ersatztermin vorgezogen werden. Sofern die Ressource im Modell leer ist und kein Patient in der Ressourcenwarteschlange wartet, wird modellseitig versucht einen möglichst passenden Patienten, bezogen auf die verbleibende Zeit bis zum nächsten Termin, zu finden (siehe Anhang A58 (g)). Zu diesem Zweck ist im Modell je Funktions-/OP-Bereich der Parameter „AccuracyOfFitForInterference“ definiert, welcher den Grad (Prozentsatz) der Deckungsgleichheit zwischen dem verfügbaren Zeitfenster und dem jeweiligen Planwert der einzuschiebenden Maßnahme inne hat (siehe Tab. 41 auf der Systemebene des Modells hinterlegt).

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
ECHO_AccuracyOfFitForInterference	0.6	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um nicht-elektive Patienten im ECHO vorzuziehen
EKG_AccuracyOfFitForInterference	0.5	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um nicht-elektive Patienten im EKG vorzuziehen
HKL_AccuracyOfFitForInterference	0.6	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um nicht-elektive Patienten im HKL vorzuziehen

Tab. 41: Systemparameter zum Vorziehen nicht-elektiver Patienten

Ist die Deckungsgleichheit größer oder gleich dem angegebenen Prozentsatz, wird ein nicht-elektiver Patient in dem betreffenden Funktions-/OP-Bereich eingeschoben. Bei dieser Festlegung ist zu beachten, dass ein Vorziehen nur erfolgen kann, wenn die Überdeckung die tolerierte Wartezeit berücksichtigt, da sich das verfügbare Zeitfenster um diesen Faktor reduziert. Im Beispiel einer ECHO-TEE Maßnahme ist der Planwert 30 Minuten. Die tolerierte Verspätung ist 5 Minuten. Somit ist das sich im Falle eines ausbleibenden Patienten ergebende Zeitfenster 25 Minuten. Dies entspricht einer Deckungsgleichheit bezogen auf den Planwert von 83,33 %. Somit kann die Überdeckung maximal auf diesen Prozentsatz eingestellt werden. anderenfalls würde das Zeitfenster nicht durch eine solche Maßnahme genutzt werden können.

9.12 Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Simulationsexperimente sollen verlässliche Ergebnisse und Entscheidungsgrundlagen hervorbringen. Modellverifizierung und -validierung sind äußerst wichtig, um dies sicherzustellen. Wie in Unterabschnitt 4.8.5 ausgeführt, gibt es eine Vielzahl von Methoden zur Verifizierung und Validierung eines Simulationsmodells. Im Rahmen der Modellerstellung sind dahingehend bereits folgende Maßnahmen erfolgt:

- Datenvalidierung,
- Prozessvalidierung,
- Prüfung der EPK-Notationen mit MS Visio,
- Prüfung der Konnektoren und der Modellierung mittels SemTalk,
- Verifizierung des im Rahmen der Arbeit implementierten eEPK Konverters,
- Prüfroutinen während der EPML Konvertierung,
- Prüfroutinen des MLDesigners während des Importvorgangs,
- Detailprüfung des Importergebnisses und
- Modellablauftests im Rahmen der Modellentwicklung.

Im Zuge der Prozessaufnahmen und der Datenerhebung wurden die Ausgangsprozesse zur Modellerstellung, wie auch die erhobenen Daten hinsichtlich der Plausibilität und Richtigkeit geprüft. Dies erfolgte im Speziellen durch empirische Erhebungen, Sekundärquellen (z.B. Stations-/HKL-Bücher) sowie durch Befragung des Klinikpersonals, welche mit den SAP-Systemdaten und den Prozessen abgeglichen wurden (siehe Kapitel 6). Im Rahmen der Prozessdokumentation als eEPK wurden systemeigene Werkzeuge aus MS-Visio und SemTalk genutzt, um auf korrekte Modellierung zu testen. Zum Zwecke der automatisierten Modelltransformation wurde ein EPK-Konverter implementiert und bereits hinsichtlich dessen korrekter Umsetzung und Funktion verifiziert (siehe Anhang A52). Der Konverter selber verfügt über implementierte Prüfroutinen, um eine korrekte Transformation zu gewährleisten. Das Transformationsergebnis wurde anschließend in den MLDesigner importiert, welcher im Zuge dessen diverse Prüfroutinen durchlaufen hat. Nur wenn der Import korrekt verläuft, sind die Modellelemente und der Modellaufbau mit allen Verknüpfungen im MLDesigner korrekt abgebildet. Das Modell wurde nach erfolgtem Import einer Detailprüfung unterzogen. Ausgehend von den importierten und mit Basisfunktionalität angereicherten Behandlungspfaden, wurden während des weiteren Modellaufbaus verschiedene zweckspezifische Modellbausteine ergänzt und eine externe Datenbank angebunden. Im Zuge dessen wurden wiederholt Ablauf- und Funktionstests durchgeführt. Teilweise erfolgte dies an einzelnen Modellkomponenten, welche jeweils für sich aufgebaut und getestet wurden. Die Modellkomponenten wurden nach den erfolgreichen Funktionstests in die einzelnen Modellpfade integriert und die Pfade jeweils für sich Ablauftests unterzogen (siehe [Lippold 2014, S. 103 ff.]).

Während der daran anschließenden allgemeinen Ablauftests wurde auf allgemeine Fehler im Modellaufbau und im Ablauf geachtet. Es wurde auf der Basis kein offensichtliches Fehlverhalten des Simulationsmodells erkannt. Ausgabedaten wurden entsprechen dem erwarteten Umfang erzeugt und weisen keine unerwarteten Wertausprägungen auf. Auch das Fehlerprotokoll im Simulationssystem hat keine Fehler im Ablauf des Modells angezeigt.

Nachdem das Simulationsmodell die in den vorhergehenden Abschnitten spezifizierten Anpassungen und zweckbezogene Erweiterungen (auf der Basis des spezifischen Simulationsziels) erfahren hat, kann und muss das Modell nun abschließend hinsichtlich der korrekten Umsetzung und des resultierenden Modellverhaltens validiert und bewertet werden. Die hierbei angewendeten Methoden werden im Folgenden ausgeführt und die Ergebnisse dessen dargelegt.

9.12.1 Bestimmung der Anlaufphase

Bevor nun die Ablauftests zur Modellvalidierung durchgeführt werden, ist bezogen auf die zu erwartenden Modellergebnisse eine Betrachtung der „Einschwingzeit“ notwendig. Als Anlaufphase oder auch Einschwingzeit wird die Zeit bezeichnet, welche das Simulationsmodell bedarf, bis die Simulationsergebnisse als aussagekräftig angesehen werden können und nicht mehr zeitabhängig sind. Die Problematik tritt häufig bei Bedienungs- und Warteschlangenmodell auf. Hier ist zu beobachten, dass der erste zu bearbeitende Auftrag oder Patient eine Wartezeit von 0 hat, weil die Warteschlange resp. der Bedienplatz initial leer ist [Wenzel 2008, S. 141]. Es bedarf also einer zu bestimmenden Zeit, bis das System eingeschwungen ist und die Warteschlange bzw. daraus resultierende Wartezeiten sowie Bearbeitungsdauern repräsentativ sind. Der damit verbundene Systemzustand, welcher angestrebt ist, wird als stationär bezeichnet [Page 1991, S. 122]. Bezogen auf die hier vorliegenden stochastische Prozesse führt Page [1991, S. 122] aus, dass viele dieser gegen einen stationären Prozess konvergieren. Für die Praxis wird es als ausreichend angesehen den Prozess solange zu simulieren, bis sich dieser dem angestrebten Zustand hinreichend angenähert hat. Nach dieser Zeit wird das System als eingeschwungen und damit als unabhängig vom Anfangszustand angesehen [Page 1991, S. 122]. Es existieren jedoch keine exakten Verfahren zur Abgrenzung der stationären Phase von der Anlaufphase. Daher wird im Folgenden auf eine Heuristik abgestellt.

Modellseitig wird zunächst eine Auswahl an Kenngrößen getroffen, welche auf Stationarität hin zu prüfen sind. Diesbezüglich rücken die Engpassstellen im Modell in den Fokus, sprich jene Stellen, welche als Bedienplatz oder Warteschlange ausgelegt sind. Hierbei handelt es sich um die zu beplanenden Funktions-/OP-

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Bereiche, die kard. Ambulanz und die kard. Stationen. Bei näherer Betrachtung sind die Funktions-/OP-Bereiche und die kard. Ambulanz durch ein regelmäßiges Leerlaufen zum Ende der Öffnungszeiten geprägt. Die Terminkalender haben nur einen Vorlauf von einigen Tagen bis zu einer Woche. Im Vergleich mit den kard. Stationen ist auffällig, dass sowohl die Ressourcenkapazitäten⁹⁶, wie auch die Verweil- und Durchlaufzeiten bei den kard. Stationen am größten sind. Somit kann die Einschwingzeit hier als am größten erwartet werden. In der weiteren Betrachtung wird aus der Überlegung heraus auf die Einschwingzeit der kard. Stationen abgestellt.

(a) Graphische Herleitung der Anlaufphase

Wenngleich eine mangelnde Exaktheit unterstellt werden muss, ist im ersten Schritt eine graphische Herangehensweise möglich [Page 1991, S. 123]. Nachfolgende Abbildungen zeigen die Bettenbelegung der kard. Station 1+2 im zeitlichen Verlauf über 25 Wochen (siehe Abb. 92 und Abb. 93).

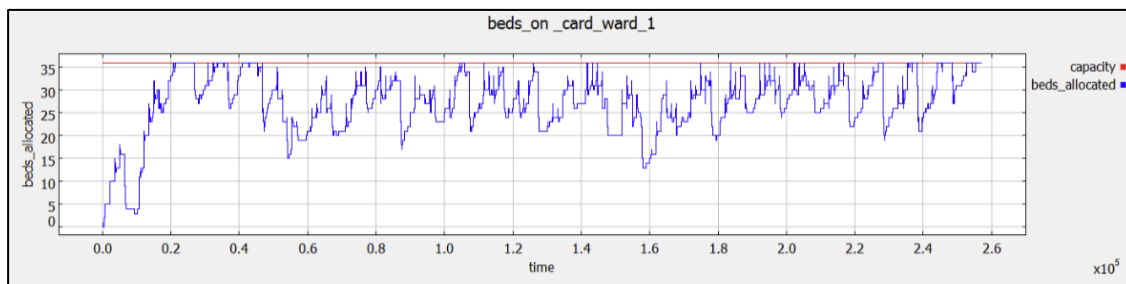


Abb. 92: Bettenbelegungen auf den kard. Station 1 im zeitlichen Verlauf

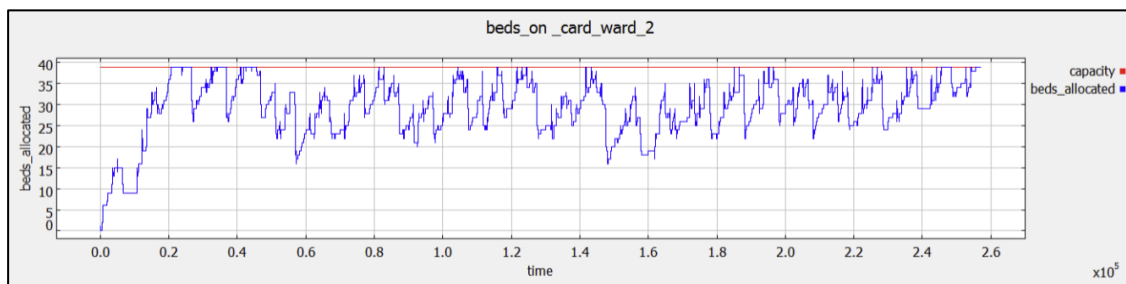


Abb. 93: Bettenbelegungen auf den kard. Station 2 im zeitlichen Verlauf

Auf der x-Achse ist jeweils die Simulationszeit in Minuten $\times 10^5$ abgebildet. Auf der y-Achse ist die Anzahl der zum Zeitpunkt allokierten Betten abgetragen. Es ist deutlich zu ersehen, wie die Bettenbelegung im Modell während der Anlaufphase sukzessive zunimmt. Gleichwohl ist zu erkennen, wie die Bettenbelegung im Zeitverlauf immer wieder zyklisch transiente Phasen an den Wochenenden durchläuft. Dies sind die Zeiten, zu denen die Bettenauslastung bewusst heruntergefahren wird, indem keine

⁹⁶ Anzahl Geräte im Funktionsbereich im Vergleich zu Anzahl Stationsbetten.

Aufnahmen getätigt werden. Darüber hinaus wirkt ein großer stochastischer Einfluss in Form der Zugänge von sonstigen Stationen und im Speziellen durch Notfallzugänge von der Notaufnahme. Diese transienten Phasen machen es schwerer eine eindeutige Abgrenzung zum stationären Lauf vorzunehmen. Auf Basis der obigen Abbildungen kann zunächst rein visuell ein Eintreten des stationären Prozesses im Bereich um $0,2 \times 10^5$ - $0,3 \times 10^5$ für die kard. Stationen gesehen werden. Dies entspricht einer Simulationszeit von 2 – 3 Wochen ($20.000 = 13,88$ Tage; $40.000 = 20,83$ Tage), welche zunächst als Einschwingzeit ab dem Start der Simulation angesehen werden kann.

(b) Verkürzung der Anlaufphase

Um die Einschwingzeit an sich zu verkürzen, besteht die Möglichkeit die betreffenden Ressourcen mit einer Grundauslastung bei Start der Simulation zu belegen, welche sich im Verlauf der Einschwingphase wieder abbaut. Die Engpassressourcen sind damit initial nicht mehr leer. Zu diesem Zweck wird modellseitig über die Parameter „KARDSTAT_I_startup_assignment“ und „KARDSTAT_II_startup_assignment“ eine Grundlast an Patienten mit einer definierten Liegezeit auf den kard. Stationen 1+2 einstellt⁹⁷. Im Ergebnis reduziert sich die Einschwingphase in der grafischen Auswertung bereits sehr deutlich (siehe Abb. 94, Abb. 95).

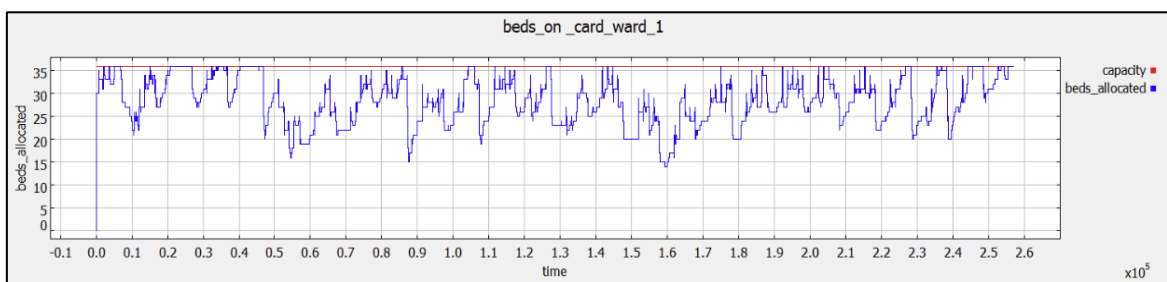


Abb. 94: Bettenbelegungen auf den kard. Station 1 im zeitlichen Verlauf mit verkürzter Anlaufphase

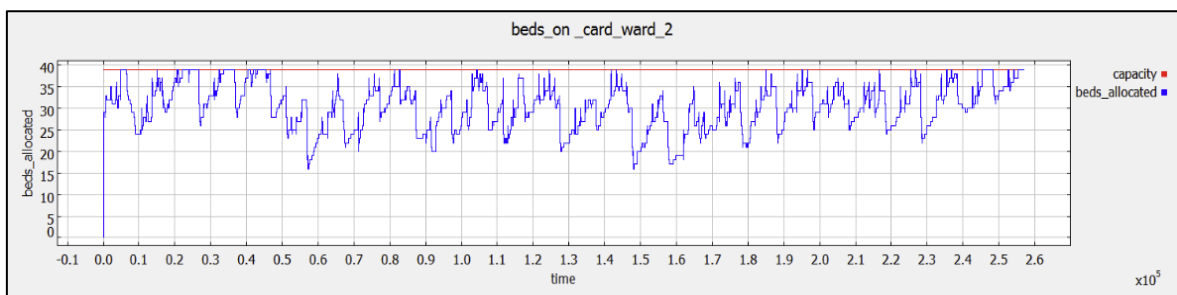


Abb. 95: Bettenbelegungen auf den kard. Station 2 im zeitlichen Verlauf mit verkürzter Anlaufphase

⁹⁷ Dies erfolgt über eine Textdatei, welche über den Modellparameter zum Start der Simulation an das Modell übergeben wird.

(c) Wald-Wolfowitz-Test (Run-Test)

Um die bisher gewonnen Erkenntnis zur Länge der Einschwingzeit weiter zu untermauern, wird als heuristische Verfahren der Wald-Wolfowitz-Test [Wald & Wolfowitz 1940] (nach Abraham Wald und Jacob Wolfowitz, auch Run-Test genannt) ausgeführt. Dieser testet auf die Zufälligkeit einer Folge (siehe auch [Bradley 1968, S. 263 f.; Büning & Trenkler 1994, S. 117–119] zum Test). Hierbei handelt es sich um einen nicht-parametrischen Test⁹⁸, mit welchem die Unabhängigkeitsannahme einer, um die bereits identifizierte transiente Phase bereinigte, (Rest-)Folge von Stichprobenwerten überprüft wird. Der Test bedingt jedoch unabhängige Stichproben, welche im Rahmen einer hier betrachteten Zeitreihe und allgemein im Rahmen der Simulationsergebnisse i.d.R. nicht zu finden sind [Law 2015, S. 214; Law & Kelton 1982, S. 146; Page 1991, S. 125; Bradley 1968, S. 263]. Simulationsergebnisse sind erwartungsgemäß autokorrelierend (Markov-Eigenschaft), das heißt von einem Koeffizienten abhängig, welcher die durchschnittliche Abhängigkeit eines Wertes von seinem Vorgänger wiedergibt. Er wird allgemein zwischen -1 und +1 gesehen [Page 1991, S. 129]. Bei autokorrelierenden Stichproben, ist die Stichprobe zunächst in eine quasi-unabhängige Stichprobe zu überführen. Zu diesem Zweck wird hier das Batchmittelwertverfahren (batch-means-method) angewendet (siehe [Liebl 1995, S. 162 ff.] zum Verfahren).

Bezugsobjekt für den Test ist im Weiteren die kard. Station 2. Die Stichprobe der nach Verkürzen der Anlaufphase vorliegenden Simulationsergebnisse beinhaltet 8527 Einzelwerte. Diese entsprechen einem simulierten Zeitraum von 104 Kalenderwochen oder ca. zwei Jahren. Zur Erzeugung der Daten wurden sämtliche Änderungen in der Ressourcenbeanspruchung (Bettenbelegung) mit Zeitstempel dokumentiert. Nachdem nun im ersten Schritt der Zeitraum der ersten 3-4 Wochen als transiente Phase auf Basis der graphischen Betrachtung angenommen wurde, wird die vorliegende Stichprobe nun um diese ersten 21 Tage bereinigt. Es verbleiben 8321 Werte in der Stichprobe. Um die quasi-Unabhängigkeit der Stichprobe herzustellen, wird die Stichprobe in 416 Blöcke⁹⁹ gleicher Länge (Batches) zu je 20 Stichprobenwerten zerteilt. Umso größer die Anzahl der Batches gewählt wird, umso wahrscheinlicher sind die sich ergebenden Stichproben unabhängig voneinander. Mit 416 Batches ist auch die Voraussetzung¹⁰⁰, dass die Zahl der Batches mit 30 oder mehr ausreichend groß sein sollte, erfüllt [Liebl 1995, S. 174 f.]. Im nächsten Schritt werden nun die

⁹⁸ Nicht-parametrisch bezieht sich hier auf den Sachverhalt, dass dieser Test die statistische Hypothese nicht über Parameter der Grundgesamtheit, wie Mittelwerte oder Varianz überprüft.

⁹⁹ Rein rechnerisch entstehen 416,05 Batches. Der letzte Batch ist unvollständig und entfällt von daher aus der weiteren Betrachtung.

¹⁰⁰ Dies, um der Annahme einer Normalverteilung folgen zu können [Büning & Trenkler 1994, S. 118]. „Denn nur wenn die Normalverteilungsannahme gilt, ist die Abwesenheit serieller Korrelationen bereits mit Unabhängigkeit gleichzusetzen“ [Liebl 1995, S. 174]

Mittelwerte eines jeden Batches (Batchmittelwerte) gebildet. Die neue Stichprobe, besteht damit aus 416 Stichprobenwerten, auf welche nun der Run-Test anwendbar ist.

Page [1991, S. 127] weist darauf hin, dass der Run-Test eine Instationarität der Varianz bzw. Standardabweichung nicht aufzeigt. Die Stationarität der Varianz aber als Voraussetzung, für die Berechnung von Konfidenzintervallen für die Simulationsergebnisse zu sehen ist. Modellergebnisse in Form von Stichprobenwerten ohne Angabe der Konfidenzintervalle werden von Page [1991, S. 127] als „nahezu bedeutungslos“ bezeichnet. Als Ausweg, um derartige Instationaritäten aufzudecken, besteht die Möglichkeit den Run-Test hier auf die „absolute Abweichung der Stichprobenwerte“ vom Mittelwert anzuwenden [Page 1991, S. 127]. Dem folgend, wird im Weiteren die Abweichungen vom Mittelwert für jeden Stichprobenwert, der mittels Batchmittelwert hergeleiteten Stichprobe, gebildet. Der Run-Test geht von einem Urnenmodell mit zwei Sorten an Kugeln aus (dichotome Grundgesamtheit). Es werden n Kugeln entnommen und die Hypothese überprüft, ob die Entnahme zufällig erfolgte (siehe [Liebl 1995, S. 28 f.] zum Run-Test). Das heißt, die Stichprobe der absoluten Abweichungen vom Mittelwert, ist nun zu dichtomisieren. Dies erfolgt indem zunächst der Median errechnet wird, welcher die Stichprobe in zwei gleichgroße Wertmengen aufteilt. Der Median liegt in der vorliegenden Stichprobe bei 3,14591 (min: 0,00459; max: 11,14591; mittel: 3,30891). Die Dichtomisierung erfolgt nun der Art, dass die vorliegenden Stichprobenwerte mit dem Median verglichen werden. Liegt der Stichprobenwert über dem Median oder ist gleich diesem, wird ein „+“, anderenfalls ein „-“ zugeordnet [Page 1991, S. 126]. In der Folge entstehen sogenannte Runs (+++--+--+). Diese werden nun ausgezählt. Im vorliegenden Fall gibt es $U = 205$ Runs. Die Anzahl der Runs ist $u_+ = 102$ und $u_- = 103$. $U = u_+ + u_-$. Die Summe aller Elemente der Runs ergeben $m = 209$ (+), $n = 207$ (-), $m + n = 416$.

Zu Berechnung des Prüfwertes z wird der Erwartungswert $E(U)$ und die Standardabweichung $\sigma(U)$ benötigt [Wald & Wolfowitz 1940, S. 151]:

$$E(U) = \frac{2mn}{m+n} + 1 = 208,99519 \quad \sigma^2(U) = \frac{2mn(2mn - m - n)}{(m+n)^2(m+n-1)} = 103,74459$$

$$z = \frac{U - E(U)}{\sigma} = -0,39224 \quad \sigma(U) = \sqrt{\sigma^2(U)} = 10,18551$$

Die vorliegende Nullhypothese lautet:

$$H_0: \text{Die Kapazitätseinlastung ist zufällig}$$

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

und die Alternativhypothese ist:

$$H_A: \text{Die Kapazitätseinlastung ist nicht zufällig.}$$

Die Überprüfung erfolgt auf dem Signifikanzniveau von:

$$\alpha = 0,05.$$

Die Anzahl der erwarteten Runs $E(U)$ ist mit rund 209 nah an der tatsächlichen Ausprägung mit $U = 205$. Ob dies noch akzeptiert werden kann zeigen die Grenzen des Ablehnungsbereiches. Die Grenzen dessen errechnen sich wie folgt:

$$OG_{\frac{\alpha}{2}} = E(U) + t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma = 208,99519 + 1,96 \cdot 10,18551 = 228,95879 \approx 229$$

$$UG_{\frac{\alpha}{2}} = E(U) - t_{n-1; 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma = 208,99519 - 1,96 \cdot 10,18551 = 189,03159 \approx 189$$

Im vorliegenden Fall werden beide Grenzen eingehalten. Auf dem Signifikanzniveau von 0,05 kann die Nullhypothese und damit die Stationarität der zugrunde liegenden Stichprobe nicht abgelehnt werden. Bei einem Signifikanzniveau von 0,05 wird H_0 abgelehnt, wenn $|z| > 1,96$ (Quantil der Standardnormalverteilung¹⁰¹). Dies ist hier ebenfalls nicht der Fall. Die Stichprobe kann als zufällig und somit zeitunabhängig angesehen werden. Der Prozess wird auf der Basis ab der vierten Simulationswoche als stationär angesehen. Alle bis dahin auflaufenden Stichprobenwerte werden in nachfolgenden Auswertungen nicht berücksichtigt.

Wird die Betrachtung im Ausgangsdatenbestand auf 27 Kalenderwochen verkürzt (1/2 Jahr an Simulationsdaten), um ggf. auftretende Einzeleffekte stärker herauszustellen, wird bei den sich daraus ergebenden 91 Batches mit je 20 Stichprobenwerten $z = 0,11597$ erreicht, welches bei dem zugrunde gelegten Signifikanzniveau von 0,05 ebenfalls zu keiner Ablehnung der Nullhypothese führt. Ebenso liegt die Anzahl der Runs mit $R = 47$ innerhalb der mit $OG_{\alpha/2} = 55,73685$ und $UG_{\alpha/2} = 37,16424$ errechneten Schranken. Das vorliegende Ergebnis konnte damit bestätigt werden. Der zugrunde liegende Prozess kann (spätestens)¹⁰² ab der vierten Simulationswoche als stationär angesehen werden. Die Einschwingzeit wird für die weitere Arbeit im zeitlichen Umfang von 3 Wochen angenommen.

¹⁰¹ Ab einem Stichprobenumfang von $n_1, n_2 > 20$ ist die Anzahl der Runs annähernd normalverteilt.

¹⁰² Durchaus wäre, durch die Verkürzung der Anlaufphase auch eine frühere Stationarität zu erwarten und möglich. Hiervon wird aber an dieser Stelle abgesehen.

9.12.2 Auswertung der Simulationsläufe

Die Auswertung eines Simulationslaufes erfolgt jeweils mit dem Abschluss der Simulation. Im Simulationsmodell wird, wie ausgeführt, von einer Einschwingzeit ausgegangen. Um sicherzustellen, dass die Ergebniswerte eines Simulationslaufes gegenüber den nicht zu betrachtenden Werten der Einschwingphase abgegrenzt sind, ist modellseitig der Parameter „EvaluationPeriod“ auf Systemebene hinterlegt. Hier wird die für die Evaluierung des Simulationslaufs relevante Zeitspanne als Array angegeben. Der erste Wert ist der Beginn (gezählt ab KW 0) und der zweite Wert das Ende des Betrachtungszeitraums. Auf diesem Wege können bei Bedarf auch Ausschwingzeiten abgegrenzt werden. Diese liegen aber hier nicht vor, da der Simulationslauf nach einer über den Modellparameter „RunLength“ definierten Zeitspanne beendet wird und somit das Modell nicht ausschwingt.

9.12.3 Auswertung der Validierungsläufe

Für die Zwecke der Modellvalidierung wurden 12 Validierungsskripte erstellt, welche in SQL formulierte Datenbankabfragen beinhalten und die Ergebniswerte in eigene Tabellen mit dem Zusatz „Validierung_“ in der zentralen Datenbank ablegen. Auch in diesen wird die Einschwingzeit über eine Variable vom relevanten Datenbestand abgegrenzt. Zum Ausführen der Skripte wird im Anschluss an die Simulation die Datei „run_validierung_justierung.bat“ aufgerufen.

9.12.4 Operationale Modellvalidierung, Ablauftests nach Abschluss des

Modellaufbaus, Justierungen und Bestimmung der Modellgenauigkeit

Wie ausgeführt wurde, sind im Zuge der Modellerstellung verschiedene Annahmen getroffen worden, weil sich das Realverhalten nur abschätzen oder nur bedingt modellseitig abbilden lässt (siehe Abschnitte 9.5, 9.8). Mit den hier durchgeführten Ablauftests werden diese Annahmen nun abschließend geprüft, verbunden mit der Frage, wie gut sich die Simulationsergebnisse mit den Gegebenheiten des Realsystems decken (Abbildungsgüte, Verhaltensgenauigkeit) (siehe Unterabschnitt 4.8.5 (c) zur operationalen Modellvalidierung). Speziell in solchen Fällen, wo sich das Realverhalten nur abschätzen lässt, kommt die Modelljustierung (auch Kalibrierung genannt) zum Einsatz [Page 1991, S. 153]. In diesen Fällen werden Störgrößen, Kapazitäten und z.B. Zufallsverteilungen durch Ablauftests, anschließende Ergebnisauswertungen und Justierung der realen Gegebenheiten sukzessive angenähert, um die Abbildungsgüte zu verbessern. Die Justierung kommt auch in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz und wird im Weiteren in der Anwendung erläutert.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Bezogen auf die hier durchgeführten Ablauftests wurde mit dem vorliegenden Simulationsmodell jeweils ein Umfang von 30 x 51 Kalenderwochen simuliert¹⁰³. Dies entspricht 30 unabhängigen Stichproben von jeweils ca. einem Jahr. Jedes simulierte Jahr wurde mit einer unterschiedlichen Folge an Zufallszahlen versehen (variiertem Seed). An dieser Stelle ist das Modell mit dem ersten Teil des Datenbestandes gemäß den Ausführungen im Abschnitt 9.11 parametrisiert. Im praktizierten Vorgehen wurden 329 Testläufe zu je 30 x 51 Kalenderwochen durchgeführt, das Modell auf diesem Wege hinsichtlich des erwarteten Verhaltens validiert und bezogen auf die Simulationsergebnisse justiert. Im Sinne einer Dreiecksverteilung mit modellseitig hinterlegten Minimal- und Maximalwerten war die Validierung und Justierung der oberen/unteren Schranken ebenso gegenständlich wie die Modellparameter für die Verteilungsfunktionen. Unter dem Gesichtspunkt, dass das vorliegende Modell Überschreitungen der oberen Schranken resp. Unterschreitung der unteren Schranken nicht zulässt, war dies jedoch nur nebenläufig.

Im Anschluss an die durchgeführten Testläufe und Justierungen, wurde ein finaler Simulationslauf mit 90 x 51 Kalenderwochen ausgeführt, dessen Ergebnisse im Folgenden als finaler Ablauftest detailliert aufgeführt und analysiert werden. Vergleichsbasis ist zunächst wieder der erste Teil der Datenbasis. Hierbei bezeichnen Abweichungen im Weiteren Unterschiede zur Vergleichsbasis, welche ggf. näherer Betrachtung bedürfen, um zu klären ob diese auf dem gewählten Abstraktionsniveau des Modells akzeptiert werden können. Abweichungen, welche im Weiteren nicht mehr toleriert werden können werden als Beanstandung bezeichnet und führen in der Konsequenz zu einer Nacharbeit/Korrektur am Modell. Als Beanstandung wird eine Abweichung in den Simulationsergebnissen von mehr als -2,50 % nach unten und mehr als +2,50 % nach oben angesehen.

Auf die jeweiligen Ausführungen hierzu folgend werden je gegenständlicher Validierungsgröße die Ergebniswerte des vorliegenden finalen Ablauftests dem zweiten Teil der Datenbasis gegenübergestellt, um daran erneut die Modellabweichungen zu betrachten. Auf der Basis wird damit die Modellgenauigkeit, auf den nicht als Grundlage der Modellparametrisierung genutzten Datenbestand an Realdaten bezogen, ermittelt.

Sich im finalen Testlauf ergebende Abweichungen sind im Folgenden prozentual und nominal dediziert angegeben. Sofern zum Erreichen der aufgeführten Ergebniswerte

¹⁰³ Der Parameter „RunLength“ wird auf 541079 eingestellt. Die Simulationsdauer wird somit um eine Minute verkürzt, um die erneute mit dem Tageswechsel einsetzende Einsteuerung von Partikeln am Ende der Simulation zu unterbinden.

zuvor Justierungen an den Modellparametern vorgenommen wurden, sind diese in den nachfolgenden Ausführungen ebenso aufgeführt.

(a) Patientenzugänge

Die Gesamtheit der Ergebniswerte des angesprochenen finalen Ablauftests in Bezug auf die Patientenzugänge sind im Anhang A72 aufgeführt. Es werden hier die Abweichungen an den einzelnen Quellen, nach der Simulation mit den justierten Parametern, aufgezeigt. Die hier vorgenommene Justierung basiert auf Anpassungen der Mittelwertparameter je Wochentag an den einzelnen Quellen des Modells. Der zum Ende der Justierung eingestellte Mittelwert ist im Anhang A72 als „Mittelwert (justiert)“ aufgeführt. In Ergänzung wird eine Aggregation der Patientenzugänge auf Wochenbasis aufgeführt, welche rein dem Mittelwertvergleich dient. Eine Parametrisierung ist modellseitig nur auf Tagesbasis möglich. Entsprechend gibt es hierfür keine Angabe zur Justierung auf Wochenbasis.

Der zugrunde liegende Stichprobenumfang des finalen Ablauftests bezieht sich auf 1.291.435 simulierte Patienten. Davon sind 401.955 stationär und 889.480 Patienten ambulant zugegangen. Bezogen auf die Gesamtanzahl an Zugängen je Woche liegt der im Modell erreichte Mittelwert bei 281,36 was einer Abweichung zur Zielgröße von +0,372 Patienten je Woche nominal oder +0,13 % entspricht. Weiter untergliedert liegt die Abweichung in den Zugängen der stationären Patienten bei +0,17 % und der ambulanten Patienten bei +0,11 %.

In den im Anhang A72 aufgeführten Ergebniswerten des finalen Ablauftests (nach Justierung) lassen sich auf Tagesbasis 7 Abweichungen in den Patientenzugängen feststellen, welche die definierte Spanne von +/-2,5 % im Mittelwert übersteigen (siehe Tab. 42).

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)			Mittelwerte (justiert)	simulierte Mittelwerte nach Justierung	Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel			nominal	prozentual
HKL_1	Mi	0	2	0,1538	0,15174	0,16166	0,0079	5,11%
HKL_1	Do	0	2	0,2000	0,20956	0,20566	0,0057	2,83%
STA_2	Sa	0	1	0,0385	0,04120	0,03617	-0,0023	-6,05%
STA_2	So	0	2	0,3077	0,31090	0,3159	0,0082	2,66%
STA_5	Do	0	2	0,4800	0,52262	0,49455	0,0146	3,03%
STA_5	Sa	0	2	0,2400	0,24929	0,25316	0,0132	5,48%
STA_6	Mi	0	1	0,0385	0,03972	0,03486	-0,0036	-9,45%

Tab. 42: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen und Justierungen

Wie ersichtlich ist, sind die nominalen Abweichungen hier sehr gering, wenngleich die prozentualen Abweichungen teils verhältnismäßig hoch ausfallen. Dieser Sachverhalt lässt sich überwiegend an den Wochenenden und grundsätzlich bezogen auf die

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Quellen HKL_1, STA_6 und STA_7 ausmachen. Ursächlich hierfür sind seltene Patientenzugänge, wie die aufgeführten Mittelwerte zeigen. Verbunden damit kommt es zu Varianzen in den Zugängen, da Patienten immer als Ganzes auftreten. Selbst bei 90 Jahren simulierten Daten des finalen Ablauftests waren es zu wenige Vorkommnisse (siehe Anhang A72 zur Anzahl der Zugänge). Daher wurde für diese Fälle der Datenumfang ausgeweitet und der Mittelwert auf 15 Testläufe (ohne zwischenzeitliche Justierung) bezogen betrachtet. Die prozentualen Abweichungen auf Tagesbasis reduzierten sich hierbei bereits sehr deutlich (siehe Tab. 43).

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)			Mittelwerte (justiert)	simulierte Mittelwerte nach Justierung	Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel			nominal	prozentual
HKL_1	Mi	0	2	0,1538	0,15174	0,1570	0,0032	2,07%
HKL_1	Do	0	2	0,2000	0,20956	0,1954	-0,0046	-2,30%
STA_2	Sa	0	1	0,0385	0,04120	0,0393	0,0008	2,05%
STA_2	So	0	2	0,3077	0,31090	0,3074	-0,0003	-0,10%
STA_5	Do	0	2	0,4800	0,52262	0,4776	-0,0024	-0,50%
STA_5	Sa	0	2	0,2400	0,24929	0,2429	0,0029	1,22%
STA_6	Mi	0	1	0,0385	0,03972	0,0377	-0,0008	-2,10%

Tab. 43: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen bei vergrößerter Stichprobe

Zur Bestimmung der Modellgenauigkeit wird der finale Ablauftest nun bezogen auf den Teil 2 der Datenbasis betrachtet. Die simulierten Patientenzugänge und die resultierenden Abweichungen sind im Anhang A73 aufgeführt.

Die Gesamtanzahl an Zugängen je Woche liegt im Wochenmittel bei 281,36 was einer Modellgenauigkeit zur nunmehr angesetzten Vergleichsgröße von +0,0972 nominal oder +0,03 % entspricht. Weiter unterteilt ist dies eine Abweichung von +0,32 % in Bezug auf die stationären und -0,09 % bezogen auf die ambulanten Zugänge je Woche, bei einem nach wie vor gegenständlichen Stichprobenumfang von simulierten 1.291.435 Patientenzugängen.

Bezogen auf den Vergleich mit dem zweiten Teil des Datenbestandes lassen sich in den Patientenzugänge 13 Abweichungen auf Tagesbasis feststellen, welche die Spanne von +/- 2,5% übersteigen (siehe Anhang A73). Darüber hinaus konnten an den Tagen Mittwoch für die Quelle STA_6 und Dienstag für die Quelle STA_7 zwei weitere Abweichungen identifiziert werden. Somit sind es in Summe 15 Abweichungen, welche näherer Betrachtung bedürfen (siehe Tab. 44).

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Mittelwerte nach Justierung	Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabhängigen. Stichproben)	
		Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		unten	prozentual	unten	oben
EKG_2	Di	0	5	1,7600	1,7063	-0,0537	-3,05%	-0,4417	0,5490
STA_1	Sa	0	1	0,0400	0,0832	0,0432	108,05	-0,1517	0,0653
STA_2	Sa	0	1	0,0385	0,0362	-0,0023	-6,05%	-0,0697	0,0743
STA_4	Do	0	2	0,5217	0,5501	0,0284	5,45%	-0,3052	0,2484
STA_4	Fr	0	3	1,0833	1,1405	0,0572	5,28%	-0,4782	0,3638
STA_5	Mi	0	2	0,5417	0,5704	0,0287	5,29%	-0,3028	0,2454
STA_5	Do	0	2	0,4783	0,4946	0,0163	3,40%	-0,2826	0,2500
STA_5	Sa	0	2	0,2400	0,2532	0,0132	5,48%	-0,2052	0,1789
STA_5	So	0	1	0,1250	0,1207	-0,0043	-3,44%	-0,1337	0,1423
STA_6	Mi	0	0	0,0000	0,0349	0,0349	n.v.	-	-
STA_6	Do	0	1	0,0833	0,0789	-0,0044	-5,32%	-0,1037	0,1126
STA_6	Fr	0	1	0,0833	0,0789	-0,0044	-5,32%	-0,1037	0,1126
STA_7	Di	0	1	0,0800	0,0000	-0,0800	n.v.	-	-
STA_7	Do	0	1	0,0833	0,1220	0,0387	46,46%	-0,1699	0,0926
STA_7	Fr	0	1	0,0400	0,0789	0,0389	97,18%	-0,1447	0,0670

Tab. 44: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen

Auch hier zeigt sich, dass die Abweichungen in den Zugängen prozentual teils recht hoch sind, wohingegen die nominalen Abweichungen verhältnismäßig klein ausfallen. Ursächlich wird hierfür eine geringe Anzahl an Zugängen in der Stichprobe gesehen, welche auf Basis der Zweiteilung (hier Teil 2 der Datenbasis) zu Abweichungen in den Werten der Vergleichsbasis führt. So ist z.B. der Vergleichswert für Teil 2 der Datenbasis im Mittel bei der Quelle STA_1 am Samstag bei 0,0400 Patienten. Bei dem Teil 1 des Datenbestandes liegt der Vergleichswert bei 0,0833 (siehe Anhang A72). In der Konsequenz ist dies mehr als doppelt so hoch. In Relation bezieht es sich jedoch auf einen sehr geringen Umfang an Patienten (3 pro Jahr), welcher in der Zweiteilung dessen, große Abweichungen zwischen den einzelnen Teilen der Vergleichsbasis ergibt. In vergleichbarer Weise ist dies für die Abweichungen bei den Quellen STA_6 und STA_7 zu sehen. Im speziellen trifft dies auf die zwei identifizierten Abweichungen Mittwoch für die Quelle STA_6 und Dienstag für die Quelle STA_7 zu. Hier ist das Patientenaufkommen gar so gering, dass es nur einen Patienten im Jahr betrifft und dies im Datenbestand nicht zweigeteilt werden konnte. Somit gibt es in den für den Vergleich herangezogenen Datenbeständen in diesen beiden Fällen signifikante Abweichungen, welche nominal betrachtet aber zu vernachlässigen sind. Eine Betrachtung bei vergrößerter Stichprobe von 15 Testläufen, ergibt für diese Fälle wie erwartet keine signifikanten Verbesserungen bei den Abweichungen. Wohin gehend bei den verbleibenden Abweichungen signifikante Verbesserungen zu sehen sind (siehe Tab. 45).

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Mittelwerte nach Justierung	Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		nominal	prozentual
EKG_2	Di	0	5	1,7600	1,7114	-0,0486	-2,76%
STA_1	Sa	0	1	0,0400	0,0813	0,0413	103,20%
STA_2	Sa	0	1	0,0385	0,0393	0,0008	2,05%
STA_4	Do	0	2	0,5217	0,5347	0,0130	2,49%
STA_4	Fr	0	3	1,0833	1,1110	0,0277	2,55%
STA_5	Mi	0	2	0,5417	0,5558	0,0141	2,60%
STA_5	Do	0	2	0,4783	0,4776	-0,0007	-0,15%
STA_5	Sa	0	2	0,2400	0,2429	0,0029	1,22%
STA_5	So	0	1	0,1250	0,1189	-0,0061	-4,87%
STA_6	Mi	0	0	0,0000	0,0377	0,0377	n.v.
STA_6	Do	0	1	0,0833	0,0779	-0,0054	-6,46%
STA_6	Fr	0	1	0,0833	0,0779	-0,0054	-6,46%
STA_7	Di	0	1	0,0800	0,0000	-0,0800	n.v.
STA_7	Do	0	1	0,0833	0,1195	0,0362	43,47%
STA_7	Fr	0	1	0,0400	0,0778	0,0378	94,59%

Tab. 45: Simulierte Patientenzugänge auf Tagesbasis bzgl. Abweichungen bei vergrößerter Stichprobe

Alles in allem zeigt sich eine sehr gute Deckung der simulierten Patientenzugänge mit den Realdaten. Die identifizierten und oben aufgeführten Abweichungen sind nominal sehr gering. Bezogen auf die Frage, ob die vorgefundenen Abweichungen akzeptiert werden können, wurde das 95 % Konfidenzintervall der Differenz zweier unabhängiger Stichproben auf dem Signifikanzniveau von 0,05 betrachtet. Für alle aufgeführten Quellen, wird an allen Tagen der Wert 0 von der oberen und der unteren Grenze eingeschlossen (siehe Anhang A73). Die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, konnte damit auf dem gewählten Signifikanzniveau nicht verworfen werden. Die einzigen Ausnahmen, wo die Hypothese nicht getestet werden konnte, findet sich in der Verteilung Mittwoch für die Quelle STA_6 und Dienstag für die Quelle STA_7 aus oben genannten Gründen. Somit ergibt sich auf dieser Basis für die Modellgenauigkeit keine Beanstandung hinsichtlich der Verteilungen des Patientenaufkommens im Modell.

Nachfolgende Abbildungen zeigen abschließend grafisch für die kard. Station 1 (siehe Abb. 96), die kard. Ambulanz (siehe Abb. 97) und den Funktionsbereich Echokardiografie (siehe Abb. 98) die betrachtete Anzahl simulierter Zugänge im Vergleich mit den Realwerten (Teil 2 der Datenbasis) auf. Hierbei werden die Schwankungen in den Patientenzugängen innerhalb des Wochenverlaufes und deren Deckung mit den Realwerten dargestellt. Auch optisch bestätigt sich damit, was die bisherige Auswertung ergeben hat.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

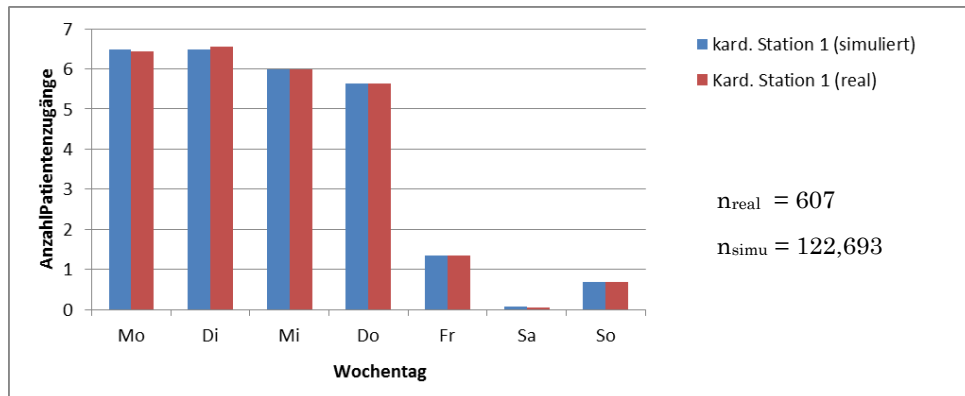


Abb. 96: Zugänge im Wochenverlauf auf der kard. Station 1 (STA_1) im Vergleich mit den Realdaten

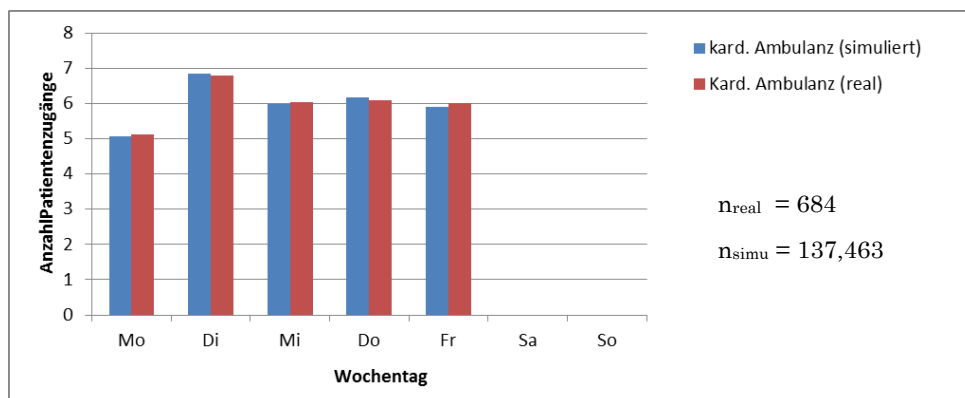


Abb. 97: Zugänge im Wochenverlauf in der kard. Ambulanz (AMB_1) im Vergleich mit den Realdaten

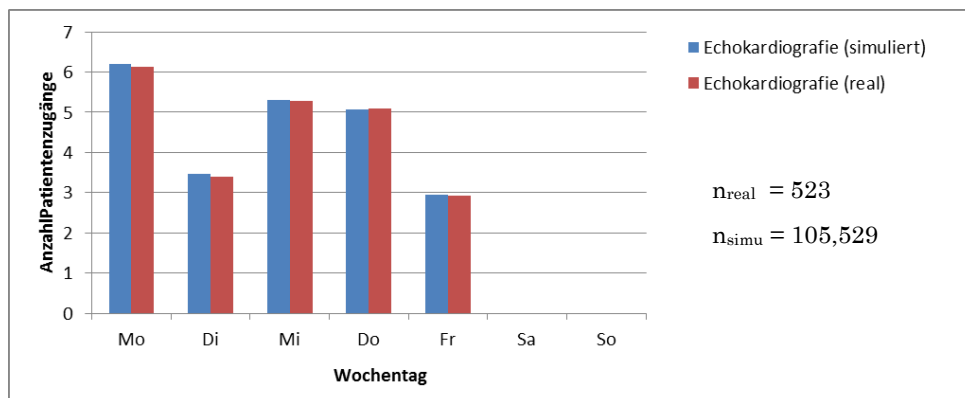


Abb. 98: Zugänge im Wochenverlauf in der kard. Ambulanz (ECHO_2) im Vergleich mit den Realdaten

(b) Anfrage-/Ankunfts- und Durchführungszeiten

In der nachfolgenden Tabelle werden nun die im finalen Ablauftest simulierten Anfrage-, Ankunfts- und Durchführungszeiten der Patienten je Quelle betrachtet (siehe Tab. 46). Vergleichsgrundlage für die Abweichungen ist der Teil 1 des Datenbestandes.

Quelle	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
	n	Ankunft im Minimum (Minuten ab Tageswechsel)	Ankunft im Maximum (Minuten ab Tageswechsel)	Ankunft im Mittel (Minuten ab Tageswechsel)	n	Ankunft im Mittel (Minuten ab Tages- wechsel)	nominal	prozentual
AMB_1	745	447	821	547,91	129206	547,73	-0,1839	-0,03%
AMB_2	440	447	727	552,90	76475	554,04	1,1358	0,21%
AMB_3	0	-	-	-	-	0,00	-	-
ECHO_1	0	-	-	-	-	0,00	-	-
ECHO_2	557	418	973	694,75	99231	695,36	0,6189	0,09%
ECHO_3	1542	429	1152	736,43	329189	725,73	-8,4173	-1,15%
EKG_1		-	-	-	-	0,00	-	-
EKG_2	281	456	989	708,35	50056	701,56	-6,7922	-0,96%
EKG_3	320	465	982	665,10	55922	666,53	1,4283	0,21%
HKL_1	28	447	1076	799,36	4833	813,51	14,1524	1,77%
HKL_2	265	20	1266	687,73	45072	695,37	7,6384	1,11%
HKL_3	280	18	1435	853,54	46716	850,90	-2,6361	-0,31%
STA_1	659	154	1390	681,67	115519	680,24	-1,4301	-0,21%
STA_2	621	443	1431	679,85	108164	678,00	-1,8443	-0,27%
STA_3	658	5	1435	783,89	110200	781,73	-2,1600	-0,28%
STA_4	169	15	1417	753,47	28645	754,49	1,0145	0,13%
STA_5	82	53	1410	680,59	14272	689,03	8,4476	1,24%
STA_6	4	456	1014	762,25	853	765,81	3,5622	0,47%
STA_7	5	777	980	853,20	886	851,28	-1,9227	-0,23%

Tab. 46: Simulierte Ankunftszeiten bzgl. Abweichungen und Justierungen

Die aufgeführten Werte beziehen sich auf Minuten ab dem Tageswechsel. Es werden ergänzend die Abweichungen auf Wochenbasis je Quelle nominal (in Minuten) und prozentual aufgezeigt. Da im Realsystem die Ankunfts-/Anfragezeitpunkte nicht für alle Patientenquellen eindeutig ermittelt werden konnten, wurde die Datenbasis der Realwerte, wie auch die Ergebniswerte der Simulation, für diese Quellen auf den Zeitpunkt der Durchführung der Maßnahme abgestellt. Dies betrifft die Quellen der Funktions-/OP-Bereiche ECHO_1 bis ECHO_3, EKG_1 bis EKG_3 und HKL_1 bis HKL_3. Die Partikel werden zum Tageswechsel in das Modell eingestellt und erzeugen im Weiteren eine Terminanfrage und daraus resultierend eine Ankunfts- und Durchführungszeit.

Die vorgefundenen Abweichungen in den Ankunfts-/Durchführungszeiten sind modellseitig (nach Justierung) im Bereich von -1,15 % bis +1,77 %. Die größten Abweichungen zeigen sich nominal in der Quelle HKL_1 mit ca. 14 Minuten später

durchgeführten (elektiven) Maßnahmen. Die Abweichung der Quelle HKL_1 bezieht sich im Mittel auf einen Patienten je Woche (siehe Anhang A74).

Ausgangsbasis der vorliegenden Betrachtung sowie der Justierung sind im Ist-Modell keine parametrisierten Mittelwerte, sondern die Patientenrohdaten. Diese beinhalten entsprechende Anfrage-/Ankunftszeitpunkte für alle Quellen und führen somit zu modellseitig messbaren Ankunfts- resp. Durchführungszeiten. Sprich, für Quellen wo keine dedizierten Anfrage-/Ankunftszeitpunkte vorliegen, werden im Rahmen der Justierung zunächst die Zeitpunkte der Durchführung in den Rohdaten angesetzt und diese sukzessive den sich ergebenden Abweichungen in den Durchführungszeiten entsprechend justiert. Die Anpassung der Rohdaten erfolgt, indem die Werte beim Einlesen in die zentrale Datenbasis der angesetzten Justierung entsprechend verändert werden. Das Einlesen erfolgt jeweils vor dem Start der Simulation mit dem SQL-Startskript, welches zum Zweck der Justierung erweitert wurde.

Die vorgenommenen Justierungen sind in der nachfolgenden Tab. 47 aufgeführt. Die Angaben sind in Minuten.

Quelle	Umfang der Justierung (in Minuten)
ECHO_2	-8
ECHO_3	-50
EKG_3	-75
HKL_1	+815
HKL_2	-300
HKL_3	-10
STA_4	-93
STA_5	-145
STA_6	+105
STA_7	+190

Tab. 47: Justierung der Ankunfts-/Durchführungszeiten im Ist-Modell

Die aufgeführten Justierungen wurden auf alle Patienten der betreffenden Quelle in gleicher Weise angewendet. Wie aufgezeigt ist, sind die Justierungen teils recht hoch, wie z.B. bezogen auf die Quelle HKL_1. Teils war auch keine Justierung erforderlich, wie z.B. bei den Quellen ECHO_1, EKG_1 und EKG_2. Dies ist nicht unwesentlich abhängig von der im Funktions-/OP-Bereich vorliegenden Ressourcenauslastung. Ist die Auslastung recht gering, ist ein zeitnaher Termin möglich, die Wartezeit gering und die Maßnahmen können direkt zum Zeitpunkt der Ankunft durchgeführt werden. Anders ist dies für die Quelle HKL_1, STA_6 und STA_7 zu sehen. Bei diesen Quellen handelt es sich ausschließlich um elektive Patienten. Im Realsystem, wie auch im Modell werden für diese Termine im Voraus (z.B. zum Wochenwechsel eine Woche im Voraus) angefragt und vergeben. Offensichtlich werden für derartige Patientenanfragen dieser Quellen nicht die nächst möglichen Termine im Realsystem vergeben, sondern spätere Termine z.B. ab 13:00 Uhr. Entsprechend mussten die

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Ankunftszeiten (über die Anfragezeiten der Termine) justiert werden. Der Ankunftszeitpunkt wird auf der Basis elektiver Patienten am Termin orientiert (Patienten treten zum Termin auf) und verschiebt sich damit ebenfalls nach vorn. Vergleichsbasis bleibt damit die Ankunftszeit resp. die Durchführungszeit.

Über die aufgeführten Justierungen hinaus, wurden im Bereich der Anfrage-/Ankunftszeiten keine weiteren Anpassungen vorgenommen.

Bezogen auf die Bestimmung der Modellgenauigkeit werden in der nachfolgenden Tab. 48 je Quelle die Ankunftszeiten der Patienten dem Teil 2 des Datenbestandes gegenübergestellt.

Quelle	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)				simulierte Mittelwerte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergeb. von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
	n	Ankunft im Minimum (Minuten ab Tagesw.)	Ankunft im Maximum (Minuten ab Tagesw.)	Ankunft im Mittel (Minuten ab Tagesw.)	n	Ankunft im Mittel (Minuten ab Tagesw.)	nominal	prozentual	unten	oben
AMB_1	744	437	840	547,35	129206	547,73015	0,38	0,07%	-5,0358	4,4738
AMB_2	440	448	825	554,02	76475	554,03582	0,02	0,00%	-5,5377	5,9247
AMB_3		-	-	-	-	0	-	-	-	-
ECHO_1		-	-	-	-	0	-	-	-	-
ECHO_2	557	425	961	700,01	99231	695,36404	-4,65	-0,66%	-3,4154	13,1360
ECHO_3	1541	417	1025	736,02	329189	725,73178	-10,29	-1,40%	-12,3126	30,6350
EKG_1		-	-	-	-	0	-	-	-	-
EKG_2	705	419	945	698,84	50056	701,55658	2,72	0,39%	-13,4566	8,0444
EKG_3	320	472	1004	667,23	55922	666,52834	-0,70	-0,10%	-13,8939	15,1980
HKL_1	28	440	1046	817,68	4833	813,50954	-4,17	-0,51%	-51,9941	59,9149
HKL_2	264	175	1379	700,63	45072	695,37047	-5,25	-0,75%	-19,0710	27,2746
HKL_3	279	9	1435	851,05	46716	850,90323	-0,15	-0,02%	-35,3927	34,8219
STA_1	659	444	1365	679,26	115519	680,24213	0,98	0,14%	-7,3853	6,0960
STA_2	620	418	1287	675,40	108164	678,00271	2,60	0,38%	-9,2129	3,8765
STA_3	657	3	1427	785,86	110200	781,72598	-4,14	-0,53%	-19,9073	29,3569
STA_4	169	6	1410	759,08	28645	754,48785	-4,59	-0,60%	-50,1224	57,5715
STA_5	83	84	1400	682,78	14272	689,03296	6,25	0,92%	-57,0341	41,2206
STA_6	5	465	956	766,00	853	765,81222	-0,19	-0,02%	-253,8913	253,6991
STA_7	5	678	1024	843,20	886	851,27727	8,08	0,96%	-169,1218	153,9303

Tab. 48: Simulierte Ankunftszeiten bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen

Die angegebenen Werte beziehen sich auf Minuten ab dem Tageswechsel. Vorgefundenen Abweichungen in den Ankunfts- resp. Durchführungszeiten liegen modellseitig nunmehr im Bereich von -1,40 % – +0,96 % (nominal -10,29 bei ECHO_3 und +8,08 Minuten bei STA_7). Diese Abweichungen sind so zu interpretieren, dass die Umsetzung der ECHO Maßnahmen für die Patienten der Quelle ECHO_3 mit ca. 10 Minuten im Mittel früher stattfindet, als in der Vergleichsbasis und bei der Quelle STA_7 die Patienten im Mittel ca. 8 Minuten später auftreten als in der Vergleichsbasis.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Im Hinblick auf die Frage, ob die Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden. Das 95 % Konfidenzintervall der Differenz bei zwei Stichproben zeigt in allen Fällen, dass der Wert 0 von der oberen und der unteren Grenze eingeschlossen wird.

Die folgenden Boxplot-Diagramme veranschaulichen abschließend hierzu die Verteilungen der simulierten Ankunftszeiten für die kard. Ambulanz (Quelle AMB_1), die kard. Station (Quelle STA_1) sowie die Durchführungszeiten für die Echokardiografie (Quelle ECHO_2) (siehe Abb. 99 - Abb. 101). Zum Vergleich ist jeweils ein Boxplot aufgeführt, welche die entsprechende Verteilung der Realwerte im Teil 2 der Datenbasis aufzeigt. Auch auf Basis dessen konnte keine Beanstandung gefunden werden. Die höhere Anzahl an Ausreißern in den simulierten Werten kann damit erklärt werden, dass die simulierten Werte einen deutlich größeren zahlenmäßigen Umfang aufweisen, als die im Vergleich stehenden Realdaten.

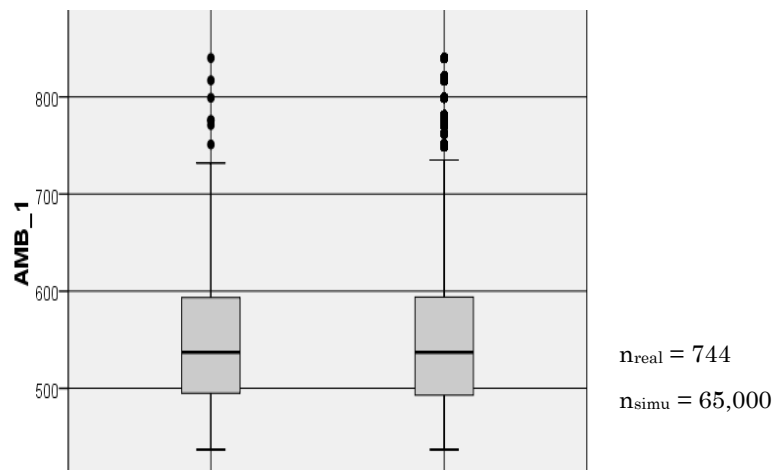


Abb. 99: Boxplot Verteilung Ankunftszeiten AMB_1 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis)

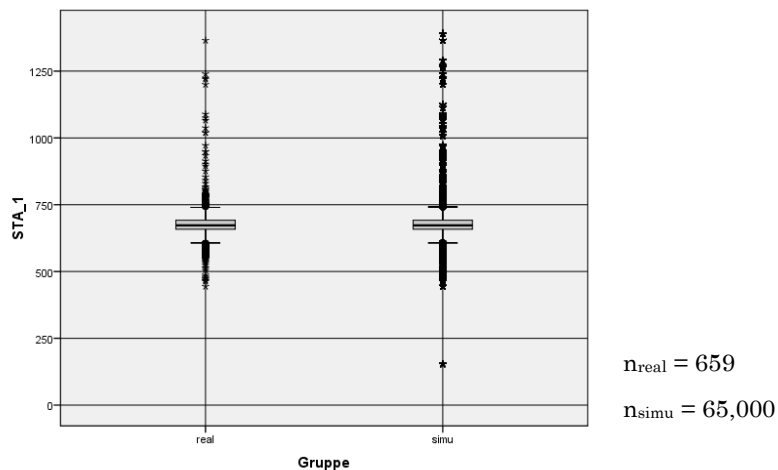


Abb. 100: Boxplot Verteilung Ankunftszeiten STA_1 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis)

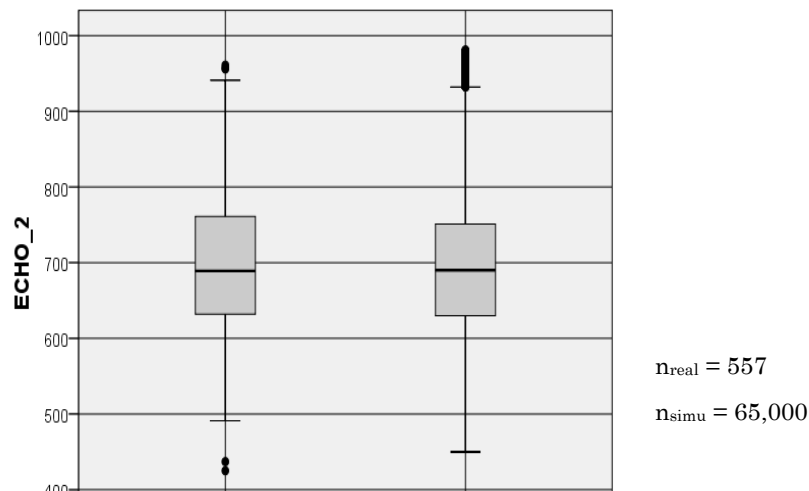


Abb. 101: Boxplot Verteilung Durchführungszeiten ECHO_2 im direkten Vergleich (Teil 2 Datenbasis)

(c) Anzahl Maßnahmen

Verbunden mit der Anzahl der in das System einfließenden Patienten, stellt sich nun die Frage nach der Anzahl an Maßnahmen, welche die Patienten im Verlauf des Aufenthaltes modellseitig wahrnehmen, und ob dies den Gegebenheiten des Realsystems entsprechen.

Die Anzahl der Patientenzugänge hat in der zurückliegenden Betrachtung eine leichte Abweichung nach oben ergeben, mit +0,17 % für die Anzahl stationärer Zugänge und +0,11 % für die Anzahl ambulanter Zugänge. Auf der Basis ist hier ebenfalls eine leichte Abweichung nach oben in der Anzahl der Maßnahmen zu erwarten.

Die Einzelwerte zur Anzahl Maßnahmen und die Abweichungen im Vergleich zum ersten Teil der Datenbasis sind je Ressource im Anhang A74 aufgeführt. Für die gekennzeichneten akuten Maßnahmen wurde wegen des geringen Aufkommens der Datenbestand hier nicht zweigeteilt.

In Bezug auf die Echo-Maßnahmen liegen die Abweichungen im Maximum nach unten bei +0,22 % und +0,63 % im Maximum nach oben. Nominal betrachtet ist die Abweichung im Maximum bei +0,3259 Patienten im Mittel je Woche, was als sehr gut angesehen werden kann.

Die Abweichungen bei den EKG-Maßnahmen liegen bei -0,26 % im Maximum nach unten und +0,95 % im Maximum nach oben. Nominal betrachtet entspricht die größte Abweichung im Mittel -0,1042 Patienten je Woche. Auch dies stellt einen sehr geringen zahlenmäßigen Umfang dar und kann damit akzeptiert werden.

Bezogen auf die HKL-Maßnahmen (ohne Notfälle) liegen die Abweichungen im Maximum nach unten bei -2,44 % und im Maximum nach oben bei +1,61 %. Nominal betrachtet ist die größte Abweichung bei +0,1174 Patienten im Wochenmittel. Bei der Abweichung von -2,44 % zeigt sich wieder, dass das Aufkommen in der Stichprobe verhältnismäßig gering ist und bei lediglich 5 Patienten auf Jahressicht liegt. Entsprechend ist die nominale Abweichung hier lediglich bei -0,0051 Patienten im Wochenmittel und damit akzeptabel.

Unter diesem Gesichtspunkt sind auch die HKL-Akut Fälle zu sehen, welche bereits deutlich höhere prozentuale Abweichungen im Wochenmittel aufzeigen. Das Maximum nach unten liegt bei -13,30 % und das Maximum der Abweichungen nach oben bei +5,56 %. Nominal betrachtet liegt das Maximum nach unten bei -0,0028 und das Maximum nach oben bei +0,0809 Patienten im Wochenmittel. Unter dem Gesichtspunkt, dass Patienten nur als ganze Einheit auftreten liegt dies im tolerierbaren Bereich.

Eine Betrachtung aller HKL-Maßnahmen in Summe (inklusive Notfälle) ergibt eine Abweichung von +0,65 % oder 0,2194 nominal in Bezug auf die Zielgröße der Vergleichsbasis. Diese Abweichung korreliert erwartungsgemäß mit der Abweichung nach oben in der Anzahl der Patientenzugänge. Nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Korrelation der Abweichungen in der Anzahl der HKL-Maßnahmen mit der Abweichung in der Anzahl der stationären Patientenzugänge, in Bezug auf die Realwerte (siehe Abb. 102).

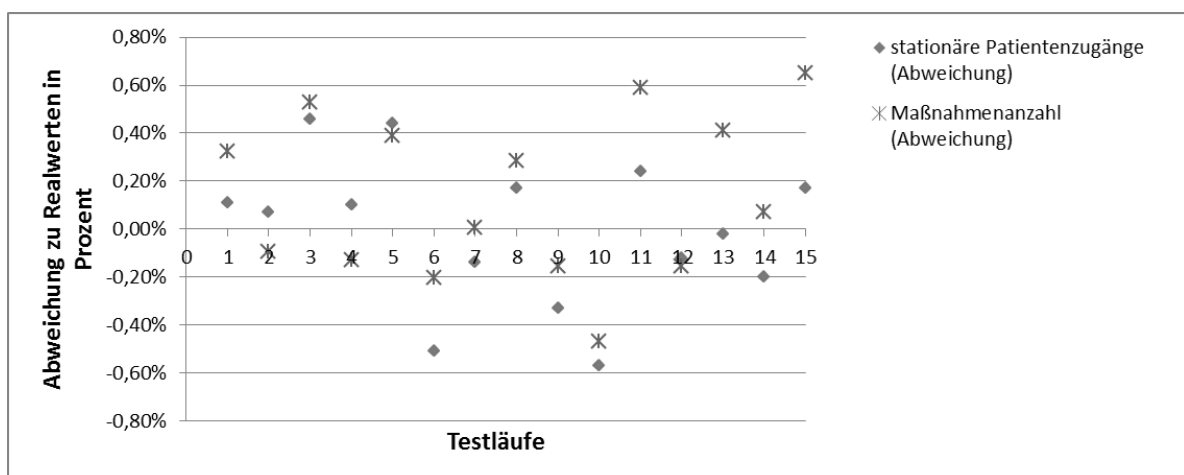


Abb. 102: Korrelation der Abweichung Maßnahmenanzahl mit der Abweichung in der Anzahl der Patientenzugänge

Die aufgezeigten 15 Testläufe zeigen optisch eine gute Korrelation. Im Maximum beträgt die Abweichung zwischen den Zugängen und den resultierenden HKL-Maßnahmen 0,48 % oder +0,3454 Maßnahmen nominal im Wochenmittel. Damit

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

findet sich die größte Abweichung bei Nummer 15, welches der finale Testlauf war. Wenngleich die Abweichung in der Anzahl der resultierenden Maßnahmen als signifikant (leicht) höher, im Vergleich zur Abweichung der stationären Patienten angesehen werden können, wird hierin jedoch für den weiteren Verlauf keine Beanstandung gesehen.

Die im Rahmen der Maßnahmenanzahl durchgeführte Justierungen bezogen sich nicht auf einzelne Modellparameter, welche zur Justierung direkt angepasst werden konnten. Wie die Ankunftszeiten, ist die Anzahl der Maßnahmen in den Rohdaten je Patient/Patientenverlauf hinterlegt. Ausgangsbasis waren damit hier die Daten aus dem SAP IS-H*med, welche als Rohdaten aufbereitet in den Modellablauf eingehen. Die Angaben speziell zu der Art der HKL-Maßnahme waren in diesen nicht vollständig. Diesbezüglich wurden das HKL-Buch und die empirische Erhebung mittels Erhebungsbogen herangezogen, um ein verlässliches Justierungsziel für die Anzahl einzelner Maßnahmentypen auf Wochenbasis zu erhalten. Die Justierung wurde wieder im dem SQL-Skript durchgeführt, welches die Rohdaten in die zentrale Datenbank lädt. Dies erfolgte indem in den Rohdaten die Maßnahmenart aktualisiert resp. angepasst wurde. Das Simulationsergebnis nach der Justierung ist im Anhang A74 je Maßnahmenart aufgeführt.

Zur Bestimmung der Modellgenauigkeit erfolgt nun wieder eine Betrachtung in Bezug auf den Teil 2 der Datenbasis. Die Einzelwerte sind im Anhang A75 aufgeführt. Bezogen auf die gekennzeichneten akuten Maßnahmen, erfolgt der Vergleich auf Basis des an Mangel von Vorkommnissen nicht-geteilten Datenbestandes.

Die Abweichungen liegen für die EKG und ECHO-Maßnahmen innerhalb des Niveaus von $\pm 2,50\%$. Auf diese Grenze bezogen gibt es den nicht-akuten HKL-Maßnahmen nur eine Abweichung, welche dies überschreitet. Die HKL-TAVI Maßnahme liegt mit $+8,20\%$ prozentual deutlich darüber. Nominal ist die Abweichung $+0,0321$ Maßnahmen im Wochenmittel. Auch hier tritt wieder der Umstand des seltenen Ereignisses ein.

Akute HKL-Maßnahmen weichen nominal betrachtet im Maximum nach unten um $-0,0028$ und im Maximum nach oben um $+0,0566$ Patienten im Wochenmittel ab. Dies entspricht einer sehr geringen Abweichung.

Bezogen auf die Gesamtheit der HKL-Maßnahmen (ohne Notfälle) beträgt die Abweichung $+0,54\%$ bzw. $0,3217$ nominal. Bezogen auf die Gesamtheit der akuten HKL-Maßnahmen liegt die Abweichung bei $+0,92\%$ resp. $+0,1107$ Patienten nominal

im Wochenmittel. Damit korrelieren auch die Abweichungen im Teil 2 des Datenbestandes mit den hier vorliegenden leicht erhöhten Patientenzugängen.

Bezogen auf die Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden (siehe Anhang A75).

(d) Bearbeitungszeiten

Eine Auswahl der wesentlichen Bearbeitungszeiten im Modell ist im Anhang A76 mit den Einzelwerten des finalen Ablauftests aufgeführt.

Bearbeitungszeiten von Maßnahmen und Prozessschritten sind im Modell als log. Normalverteilung hinterlegt und über Mittelwert und Varianz parametrisiert. Zudem sind über parametrisierte Minimal- und Maximalwert untere und obere Schranken definiert. Diese Annahmen gilt es nun hinsichtlich des erreichten Deckungsgrades zur Realität zu überprüfen. Vergleichsgrundlage ist der Datenbestand aus dem ersten Teil der zweigeteilten Datenbasis, welche für die Modellparametrisierung genutzt wurde.

Wie sich zeigt, weisen die im Rahmen der Simulation erzeugten Bearbeitungszeiten in der Betrachtung der Mittelwerte nur geringe Abweichungen auf. Im Maximum ist dies $-0,63\%$ nach unten und $+1,43\%$ nach oben. Nominal findet sich die größte Abweichung mit 5,42 Minuten in der Dauer der MITRA-Maßnahme (siehe Anhang A76). Da eine solche Maßnahme (MitraClip) eine im Mittel fast achtstündige Dauer aufweist (473 Minuten), entspricht dies im Verhältnis zur Maßnahmendauer einer nur geringen Abweichung von $1,15\%$.

Bei der Aufstellung der Einzelwerte ist zu beachten, dass der logarithmierte Mittelwert aus der Stichprobe der logarithmierten Einzelwerte ermittelt wurde. In der Konsequenz führt somit ein Logarithmieren der Mittelwert in der Spalte „Mittelwerte“ der Modellparametrisierung nicht zwangsläufig zum angegebenen logarithmierten Mittelwert der Spalte „Mittelwerte (log.)“.

Zur Bestimmung der Modellgenauigkeit wird im Weiteren nun wieder ein Vergleich mit dem zweiten Teil der Datenbasis vorgenommen. Hierbei wurden drei Abweichungen für die Maßnahmen ABLAE, MITRA und TAVI festgestellt, die größer als $\pm 2,50\%$ sind (siehe Anhang A77 fett markiert).

Ursächlich hierfür sind signifikante Abweichungen in den Mittelwerten der Vergleichsbasis (siehe Anhänge A76, A77). Auch hierbei handelt es sich um seltene Ereignisse, welche entsprechend wenige Vorkommnisse innerhalb der Stichprobe im

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Datenbestand aufweisen und in der Zweiteilung dessen zu signifikanten Abweichungen in den einzelnen Mittelwerten der beiden Vergleichsdatenbestände führen (siehe Tab. 49).

Ressource	Anzahl Maßnahmen im Gesamtdatenbestand (1 Jahr)	Mittelwerte (Teil 1 Datenbasis)	Mittelwerte (Teil 2 Datenbasis)
ABLAE	7	96,5000	93,3333
MITRA	6	473,0000	504,3333
TAVI	8	188,0000	181,7500

Tab. 49: Anzahl Maßnahmen im Jahr bei HKL-Maßnahmen mit Abweichungen

Bezogen auf die Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte für die Bearbeitungszeiten auf dem vorliegenden Niveau akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden (siehe Anhang A77).

Die folgenden Boxplot-Diagramme veranschaulichen hierzu abschließend die Verteilungen der simulierten Bearbeitungszeiten beispielhaft für die Maßnahmen EKG-Belastung, HKL-Coro und ECHO-TEE (siehe Abb. 103 - Abb. 105). Zum Vergleich ist jeweils ein Boxplot-Diagramm aufgeführt, welche die entsprechende Verteilung der Realwerte im Teil 2 der Datenbasis aufzeigt. Auch auf Basis dessen konnte keine Beanstandung gefunden werden. Die höhere Anzahl an Ausreißern in den simulierten Werten kann auch hier damit erklärt werden, dass die simulierten Werte einen deutlich größeren zahlenmäßigen Umfang aufweisen, als die im Vergleich stehenden Realdaten. Somit auch entsprechend mehr Ausreißer erzeugen.

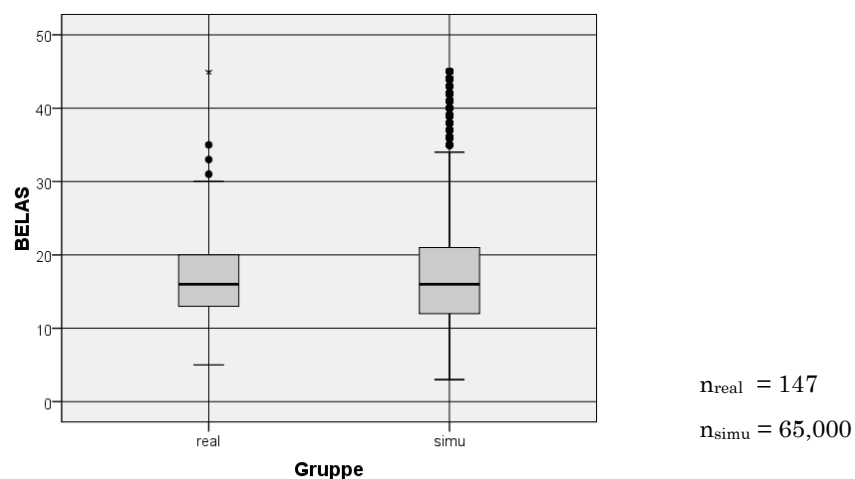


Abb. 103: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten EKG- Belastung im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis)

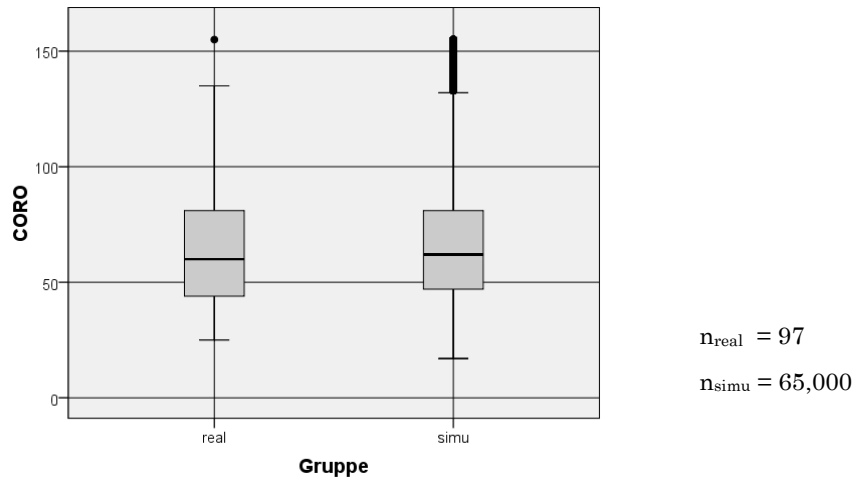


Abb. 104: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten HKL-Coro im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis)

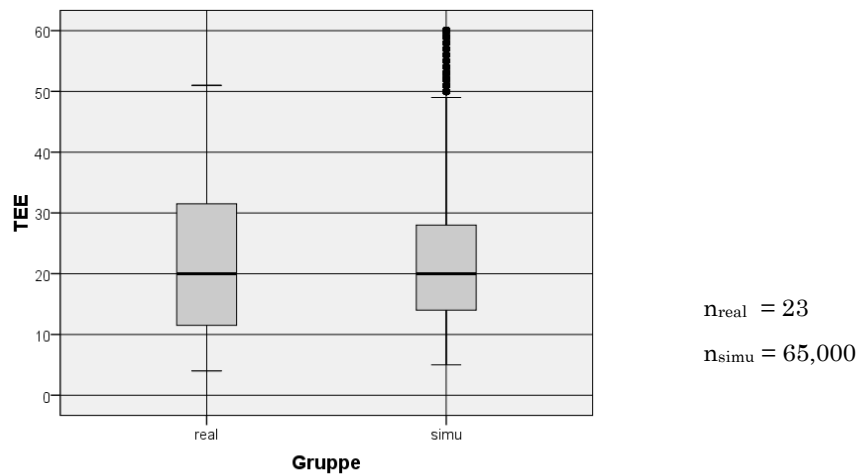


Abb. 105: Boxplot Verteilung Bearbeitungszeiten ECHO-TEE im direkten Vergleich mit Realdaten (Teil 2 der Datenbasis)

(e) Wartungen und Störungen

Im Folgenden werden die Validierung und Justierung der Wartungen und Störungen beschrieben. Die Ergebniswerte der Simulation zur Dauer dieser sind in der nachfolgenden Tabelle den Realwerten gegenübergestellt (siehe Tab. 50).

Bezeichnung	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)		n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual
MALFU	17	30	540	251,4706	249,3720	4157	251,22492	-0,2457	-0,10%
MRO	5	40	585	197,0000	198,8373	1350	194,38444	-2,6156	-1,33%

Tab. 50: Simulierte Wartungen und Störungen bzgl. Abweichungen und Justierungen

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Die Justierung erfolgte hier wieder auf Basis des Mittelwertes, welcher über die Systemparameter angepasst wurde.

Auf Grund der recht geringen Anzahl von 17 Störungen (MALFU) und 5 Wartungen (MRO) innerhalb der Stichprobe der Realdaten, wurde hier keine Zweiteilung des Datenbestandes vorgenommen. Die ermittelten Abweichungen auf Basis der simulierten Werte sind mit -0,10 % (-0,25 Minuten) und -1,33 % (-2,62 Minuten) sehr gering und führen damit zu keiner Beanstandung. Hinsichtlich der Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden (siehe Tab. 51).

Bezeichnung	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten)				simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual	unten	oben
MALFU	17	30	540	251,4706	4157	251,22492	-0,2457	-0,10%	-91,9868	92,4781
MRO	5	40	585	197,0000	1350	194,38444	-2,6156	-1,33%	-284,9479	290,1790

Tab. 51: Simulierte Wartungen und Störungen bzgl. Abweichungen und Konfidenzintervallen

Hinsichtlich der Anzahl an Wartungen resp. zum zeitlichen Abstand derer, beschränkt sich die Validierung auf den Umstand, dass diese im dreimonatigen Abstand angesetzt wurden und entsprechend im Modell so in den Ergebniswerten ersichtlich vorzufinden sind. Varianzen auf Basis von klinikbezogenen Präferenzen in der terminlichen Lage der Wartungen konnten im Modell nicht berücksichtigt werden. Der zeitliche Abstand der Wartungen ist im Modell immer exakt 3 Monate je HKL.

Bezogen auf das Auftreten von Störungen wurde ein zeitlicher Abstand im Modell als Verteilung hinterlegt. Störungen treten mit diesem zeitlichen Abstand mit der oben angegebenen mittleren Länge auf. Es wurde diesbezüglich keine Beanstandung in den simulierten Daten gefunden.

(f) Warte-, Durchlauf-, Liegezeiten und Terminabweichungen

Den Warte-, Durchlauf-, Liegezeiten und Terminabweichungen ist zu eigen, dass sie nicht direkt im Modell parametrisiert sind, sondern sich aus dem Modellablauf u.a. in Abhängigkeit der Anzahl der Patienten, den Terminverfügbarkeiten und der stochastischen Maßnahmendauern ergeben. Da der Modellaufbau nicht mit diesen Werten erfolgt ist, bedarf es hier keiner Zweiteilung des Datenbestandes an

Realdaten, zumal die Vergleichsgrundlagen hier auch nur recht eingeschränkt vorhanden ist. Bezogen auf die Warte- und Durchlaufzeiten wurden an den Engpassressourcen EKG, ECHO, HKL und der kard. Ambulanz jeweils empirische Erhebungen mittels Laufzettel und Erhebungsbogen durchgeführt (siehe Kapitel 6), welche hier zum Zweck der Validierung und Justierung herangezogen werden können. Auch die Liegezeiten sind im Modell nicht direkt parametrisiert, sondern ergeben sich über die Terminverfügbarkeiten resp. über die zeitliche Lage der innerhalb der Restliegezeit durchzuführenden Maßnahmen. Jedoch sind die Liegezeiten auf den kard. Stationen im Realsystem systemseitig erfasst (SAP-Bewegungsdaten), welche nun zur Validierung genutzt werden können. Wobei hier die Einschränkung zum Tragen kommt, dass diese hinsichtlich des Entlassungszeitpunktes nicht verlässlich sind (siehe Unterabschnitt 6.3.2) und diesbezüglich wieder eine empirische Erhebung erfolgt ist. Zum Test der Abbildungsgüte, wird als Teil 1 des Datenbestandes der Umfang an Bewegungsdaten genutzt, aus welchem auch die Patientenrohdaten abgeleitet wurden.

Als Stellschrauben im Modell, um die hier gegenständlichen Validierungsgrößen zu justieren, können die Patientenrohdaten (in Bezug auf die Liegezeiten), sowie Vor-/Nachbereitungszeiten von Maßnahmen und Nebentätigkeiten (Störlast) der Ressourcen (in Bezug auf Warte-, Durchlaufzeiten und Terminabweichungen) genutzt werden. Maßnahmendauern und die Anzahl an Patientenzugängen sind bereits justiert und validiert. Diese werden entsprechend hier nicht weitere betrachtet.

Im Anhang A78 ist für die kard. Ambulanz eine Übersicht der Kennzahlen und deren Abweichungen zu den Vergleichsgrößen aus dem Realsystem aufgeführt. Wie sich hier zeigt, weichen die Simulationsergebnisse nach Justierung für die kard. Ambulanz nominal nur sehr gering ab. Größte Abweichung zeigt sich in der Gesamtdurchlaufzeit (DLZ gesamt) mit 3,34 Minuten nominal oder 2,14 %. Eine Terminabweichung wird hier nicht explizit aufgeführt, da es im Bereich der ambulanten Aufnahme nur einen Aufnahmetermin gibt und die Wartezeit hier mit 1,65 Minuten im Mittel recht gering ausfallen. Nachgelagerte Termine z.B. im ECHO oder EKG werden für Ambulanzpatienten im Realsystem nicht vergeben. Können somit auch hier zur Validierung nicht näher betrachtet werden.

Hinsichtlich der Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 mit dem 95 % Konfidenzintervall der Differenz zweier unabhängiger Stichproben geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden (siehe Anhang A78 zu dem Konfidenzintervall).

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Im Folgenden werden die Validierungsgrößen der Terminabweichung für die Funktions-/OP-Bereiche betrachtet. Die Einzelwerte sind im Anhang A79 aufgeführt. Wie sich zeigt, sind hinsichtlich der Terminabweichungen keine Vergleichswerte aus dem Realsystem aufgeführt. Hier konnten leider keine verlässlichen Vergleichswerte aus den Erhebungswerten ermittelt werden. Grundsätzlich sind die simulierten Terminabweichungen aber durchaus als realistisch einzuschätzen und korrelieren mit den erhobenen Wartezeiten des Realsystems. Dieser Vergleich ist hier zulässig, da Patienten modellseitig, bis auf geringe Abweichungen durch zu frühes/verspätetes Auftreten, grundsätzlich pünktlich zum Termin in den Funktions-/OP-Bereichen eingestellt werden. Somit korreliert die Terminabweichung mit den Wartezeiten im Modell. Ein direkter Vergleich der simulierten Wartezeiten mit den Wartezeiten im Realsystem zeigt zwar deutliche prozentuale Abweichungen von bis zu -24 %, dies entspricht aber nominal betrachtet in der größten Ausprägung lediglich -3,07 Minuten (siehe Anhang A79). Das 95 % Konfidenzintervall der Differenz bei zwei Stichproben zeigt in dem Fall der Wartezeit im EKG, dass die Hypothese gleicher Mittelwerte der Verteilungen verworfen werden musste. Daher wird nun ein detaillierter Blick auf die Verteilung der Wartezeiten im EKG geworfen, um abzuklären ob es einer Korrektur am Modell bedarf. Zu diesem Zweck sind in den nachfolgenden Grafiken die Verteilung im Realsystem der simulierten Verteilung für die Wartezeiten als Boxplot gegenübergestellt (siehe Abb. 106).

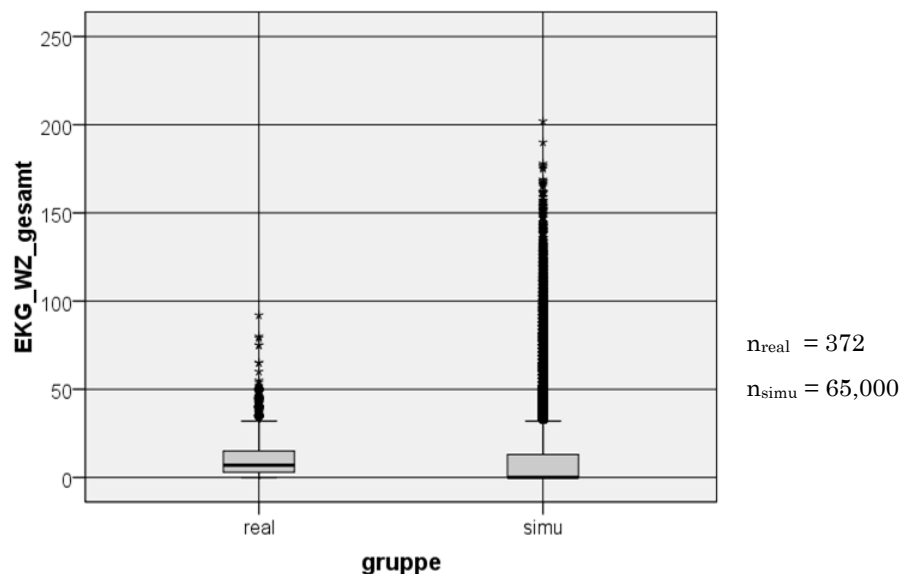


Abb. 106: Boxplot zur Verteilung der Wartezeiten im Funktionsbereich EKG im direkten Vergleich

Es zeigt sich im direkten Vergleich bei den Boxplot zunächst wieder eine deutlich höhere Anzahl an Ausreißern bei der Gruppe der simulierten Werte (simu). Dies ist darin zu begründen, dass die Stichprobe der simulierten Werte deutlich größer ist als die Vergleichsstichprobe. Darüber hinaus fällt auf, dass der Median, wie auch das

unterer Quartil auf Seiten der simulierten Werte leicht nach unten verschoben ist. Dies erklärt die Ablehnung der obigen Hypothese. Gleichwohl wird diese Abweichung hier als geringfügig eingeschätzt, welche sich modellseitig wie ausgeführt mit einer im Mittel um 3 Minuten zu geringen Wartezeit darstellt. Es erfolgt somit keine Korrektur am Modell. In wie fern dies modellseitig überhaupt korrigiert werden kann, bleibt an dieser Stelle offen.

Die Justierung von Wartezeiten und Durchlaufzeiten erfolgte an dieser Stelle, indem für die Aufnahmeressource, den Arzt der kard. Ambulanz und die Maßnahmen im Echo/EKG Nacharbeiten und Störlast im Modell eingestellt wurden (siehe Tab. 52). Die Parametrisierung erfolgt hier in gleicher Weise wie für eine Maßnahme über Minimal-, Maximalwerte, Mittelwert und Varianz einer log. Normalverteilung. Derartige Ressourcenbeanspruchungen erfolgen im Modell, ohne dass der Patient allokiert wird und betrifft somit ausschließlich die jeweilige Engpassressource. Für die Patienten verlängern sich auf der Basis die Wartezeiten und somit auch die Durchlaufzeiten, wenn die Engpassressource zusätzlich zeitlich belastet wird.

Ressourcenbezeichnung	Art	Minimum	Maximum	Mittelwert (log.)	Varianz (log.)
Pflegekraft am Empfang der kard. Ambulanz	Nacharbeit Aufnahme	2	10	1,5789	0,0833
Pflegekraft der kard. Ambulanz	Nacharbeit Ruhe-EKG/Erstkontakt	3	50	2,4041	0,2842
Pflegekraft der kard. Ambulanz	Nacharbeit Aufstellung des Maßnahmenplans	2	10	1,2474	0,0833
Arzt kard. Ambulanz	Nacharbeit Patientengespräch	2	10	1,2474	0,0833
Arzt kard. Ambulanz	Störlast nach Patientengespräch	2	80	2,5534	0,4143
Arzt kard. Ambulanz	Störlast nach Patientengespräch	2	80	2,5534	0,4143
Arzt kard. Ambulanz	Nacharbeit Aufstellung des Maßnahmenplans	2	10	1,3389	0,0833
ECHO	Nacharbeit Maßnahme	3	50	2,4391	0,2842
EKG	Nacharbeit Maßnahme	3	50	2,9291	0,2842
HKL	Nacharbeit Maßnahme	3	50	1,9591	0,2842

Tab. 52: Übersicht im Modell eingestellter Nacharbeiten und Zusatz Tätigkeiten der Engpassressourcen

Im Weiteren werden nun die Liegezeiten auf den kard. Stationen im direkten Vergleich mit den Realdaten betrachtet (siehe Tab. 53). Konkret werden modellseitig die Durchlaufzeiten der stationären Patienten herangezogen (Aufnahme bis Entlassung), da die Vergleichsgrundlage der SAP-Bewegungsdaten auch als Beginn des stationären Aufenthalts die Aufnahme und nicht die Einweisung in das Patientenzimmer haben. Eine dedizierte Betrachtung der Bettenbelegungsdauer (reine Liegezeit) ist mangels dokumentierten Zeitpunkts der Bettenbelegung in den Realdaten nicht möglich.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Um eventuelle Abweichungen besser zu lokalisieren, wird zum Zweck der Validierung und Justierung nach den Quellen und Restliegezeit (RL) differenziert (siehe Tab. 53). Im Weiteren erfolgt ergänzend die Betrachtung der Voruntersuchungsdauer (VU).

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Teil 1 des Datenbestandes)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
	n	Dauer im Minimum (Tage)	Dauer im Maximum (Tage)	Dauer im Mittel (Tage)	n	Dauer im Mittel (Tage)	nominal	prozentual
DLZ (STA_1,2,6,7) Ankunft - Entlassung	1280	0	42	4,5074	223186	4,4811	-0,0263	-0,58%
DLZ (STA_1,6) Ankunft - Entlassung	664	0	42	4,6205	115155	4,6309	0,0104	0,23%
DLZ (STA_2,7) Ankunft - Entlassung	625	1	32	4,3488	108031	4,3215	-0,0273	-0,63%
DLZ (STA_3,4,5) Ankunft - Entlassung	909	0	91	6,4356	149900	6,3007	-0,1350	-2,10%
RL (STA_1,2,6,7) VU- Ende - Entlassung	1289	0	42	3,5291	223186	3,5034	-0,0257	-0,73%
RL (STA_1,6) VU-Ende - Entlassung	664	0	42	3,6642	115155	3,6366	-0,0275	-0,75%
RL (STA_2,7) VU-Ende - Entlassung	626	0	36	3,3722	108031	3,3613	-0,0109	-0,32%

Tab. 53: Simulierte Liegezeiten auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen

Die Betrachtung erfolgt hier auf Tagesbasis. Wie die Aufstellung zeigt, sind die Abweichungen recht gering. Im Maximum liegen diese bei -0,1350 nominal oder -2,10 % für die Durchlaufzeit der Patienten von sonstigen Stationen (Quelle STA_3, STA_4, STA_5) auf den kard. Stationen. Umgerechnet entspricht dies ca. 3 Stunden, welche diese Patienten auf der Basis im Mittel die kard. Stationen früher wieder verlassen als im Realsystem.

Zur durchgeführten Justierung konnten die Patientenrohdaten genutzt werden. Es wurde ausschließlich die Zeit nach der letzten Maßnahme angepasst, welche sich in der Restliegezeit und der Gesamtdurchlaufzeit, sowie der Bettenauslastung widerspiegelt. Zu diesem Zweck wurde wie bei der Justierung der Ankunftszeiten das SQL-Startskript erweitert, indem für die einzelnen Gruppen von Quellen, für einen definierten Umfang an Patienten die Restliegezeit um einen Tag erweitert wurde (siehe Tab. 54 zu dem Umfang der Patienten).

Quelle	Umfang der Justierung in Minuten
STA_1, STA_6	210
STA_2, STA_7	169
STA_3, STA_4, STA_5	480

Tab. 54: Übersicht Justierungen in Bezug auf die Restliegezeiten

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Im Anhang A80 sind die Simulationsergebnisse bezüglich der in Tab. 53 aufgeführten Durchlauf- und Liegezeiten dem zweiten Teil der Datenbasis gegenübergestellt. Es zeigt sich eine maximale Abweichung von -0,1152 nominal oder -1,80 % bei der Durchlaufzeit der Patienten von den sonstigen Stationen. In diesem Zusammenhang stellt sich nun wieder die Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können. Es wurde für die Durchlauf- und die Restliegezeiten die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 geprüft. Bei keinem der aufgeführten Fälle konnte die Hypothese verworfen werden.

Wie bereits ausgeführt wurde, setzte sich die Durchlaufzeit aus der Restliegezeit und der Voruntersuchungszeit zusammen. Erstere wurden bereits betrachtet. Im Folgenden wird nun die bei der späteren Optimierung gegenständliche Voruntersuchungszeit validiert und justiert. Die nachfolgende Tab. 55 gibt diesbezüglich eine Übersicht der Voruntersuchungsdauer sowie zum Zeitpunkt zu dem die Patienten das Bett räumen (Minuten ab dem Tageswechsel) und stellt die simulierten Werte den Realdaten gegenüber.

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Teil 1 des Datenbestandes)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual
VU (STA_1,2,6,7) Ankunft - VU-Ende	1280	0	3276	1386,6375	223186	1407,1527	20,5152	1,48%
VU (STA_1,6) Ankunft - VU-Ende	664	0	3276	1395,5701	115155	1425,3484	29,7782	2,13%
VU (STA_2,7) Ankunft - VU-Ende	626	0	3179	1390,5831	108031	1387,7571	-2,8260	-0,20%
LZ Räumung Bett	213	550	990	769,2019	378515	765,0268	-4,1751	-0,54%

Tab. 55: Simulierte Voruntersuchungszeit und Zeitpunkt Räumung Bett auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen

Die maximale Abweichung liegt hier bei +29,8 Minuten nach oben, was 2,13 % entspricht, und -2,8 Minuten nach unten, was -0,20 % entspricht. Damit liegt der Mittelwert sehr nah an der Vergleichsbasis der Realdaten. Auch bezogen auf den Zeitpunkt zu dem die Patienten das Bett räumen, decken sich die Werte sehr gut. Die Abweichung beträgt ca. -4,2 Minuten oder -0,54 % bezogen auf den Mittelwert.

Im Anhang A81 werden die Simulationsergebnisse aus Tab. 55 zur Bestimmung der Modellgenauigkeit dem Teil 2 der Datenbasis gegenübergestellt. Die maximale Abweichung der Voruntersuchungszeit liegt nun bei +33,6 Minuten nach oben (+2,41 %) und -8,1 Minuten nach unten (-0,58 %). Damit liegt der Mittelwert auch hier sehr nah an der Vergleichsbasis der Realdaten. In Bezug auf die Frage, ob die

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

aufgezeigten Abweichungen der Mittelwerte akzeptiert werden können, wurde wieder die Hypothese getestet, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind. Auf dem Signifikanzniveau von 0,05 konnte bei keiner der aufgeführten Fälle die Hypothese verworfen werden (siehe Anhang A81).

Nun werden die Wartezeiten betrachtet, welche modellseitig im Zulauf auf die kard. Stationen, bei der Bettenallokation ermittelt wurden (siehe Tab. 56). Hierzu gibt es keine quantitativen Vergleichswerte aus dem Realsystem.

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual
STA_1	-	-	-	-	115515	329,7769	-	-
STA_2	-	-	-	-	108164	294,8795	-	-
STA_3 (ZNA)	-	-	-	-	110200	291,6365	-	-
STA_4	-	-	-	-	28645	337,1977	-	-
STA_5	-	-	-	-	14272	351,3929	-	-
STA_6	-	-	-	-	841	147,7432	-	-
STA_7	-	-	-	-	874	101,0904	-	-

Tab. 56: Simulierte Wartezeiten bei der Bettenvergabe im Modell

Modellseitig dauert es für Patienten, welche von der Quelle STA_1 kommen (elektiv von extern), im Mittel ca. 330 Minuten (5,5 Stunden) bis zur Bettenzuteilung (Einweisung im Patientenzimmer). Dies klingt zunächst unrealistisch viel, aber modellseitig wird zum Zeitpunkt der Ankunft die Bettenanforderung eingestellt. Das heißt, für den Patienten ist dies keine reine Wartezeit. Innerhalb dieser Zeit werden die Aufnahme, Anamnese und ggf. auch erste Untersuchungen, welche keines Bettes bedürfen durchgeführt. Dies entspricht dem Vorgehen im Realsystem. Die Dauer bis zur Einweisung im Zimmer wird hier, nach den Beobachtungen vor Ort und abgefragten Erfahrungswerten des Pflegepersonals, als realistisch eingeschätzt.

Abschließend werden nun noch die Wartezeiten auf die Anamnese und den Arztbrief betrachtet, welche modellseitig ermittelt werden konnten, zu denen aber auch keine quantitativen Vergleichswerte aus dem Realsystem vorliegen (siehe Tab. 57)

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual
WZ Anamnese Arzt	-	-	-	-	225397	18,0170	-	-
WZ Anamnese Pflege	-	-	-	-	225398	4,4517	-	-
WZ Arztbrief	-	-	-	-	223186	103,6192	-	-

Tab. 57: Simulierter Wartezeiten bei der Anamnese und dem Arztbrief

Patienten haben sich im Realsystem immer wieder beschwert, dass diese teils recht lange auf den Arztbrief warten mussten, nachdem diese das Patientenzimmer geräumt hatten und eigentlich entlassen waren. Dies spiegelt sich in den simulierten Werten wieder. Im Mittel warten die Patienten modellseitig 1 Stunde und 43 Minuten auf den Arztbrief. Im Maximum war dies mehr als ein Tag (1507 Minuten). Auch im Realsystem konnte dies so beobachtet werden. In diesen Fällen wurde der Patient nach Hause geschickt und der Arztbrief postalisch (an den Hausarzt/Patienten) nachgesendet. Auch die modellseitig größere Wartezeit der Patienten auf die Anamnese der Ärzte deckt sich mit den Beobachtungen im Realsystem. Die pflegerische Anamnese startete für gewöhnlich direkt nach der Aufnahme, mit der Aushändigung eines Erhebungsbogens an den Patienten. Die ärztliche Anamnese ist direkt von der zeitlichen Verfügbarkeit der Stationsärzte resp. den unterstützenden medizinischen Studenten (PJ) abhängig.

(g) Bettenauslastung

In Folgenden wird die Justierung und Validierung der Bettenauslastung erläutert. Als Vergleichsgröße zu den Simulationsdaten wird zunächst der Teil 1 des Datenbestands herangezogen. Justierungsgröße ist die Anzahl der Bettenkapazitäten auf den kard. Stationen.

Ausgehend von einer Bettenkapazität (ohne Zusatzbetten), wurde je Station die simulierte Bettenbelegung auf Stundenbasis ausgewertet. Hieraus wurde der Mittelwert gebildet, welcher nun dem Mittelwert aus dem SAP-IS H*med bei gleicher Auswertung gegenübergestellt wird (siehe Tab. 58).

Bezeichnung	Bettenauslastung im Mittel (Teil 1 Datenbasis)	Bettenkapazität nach Justierung	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
			n	Bettenkapazität im Mittel	nominal	prozentual
kard. Station 1	31,42	37	725.760	31,21	-0,2100	-0,67 %
kard. Station 2	32,11	39	725.760	32,55	0,4400	1,37 %

Tab. 58: Simulierte Bettenbelegung auf den kard. Stationen bzgl. Abweichungen und Justierungen

Bezogen auf die kard. Station 1 wurde das vorhandene Zusatzbett mit als Ressource aufgenommen, um bezogen auf die Justierungskennzahl den Realdaten anzunähern. Auf Basis der vorliegenden, geringen Abweichungen sowohl prozentual als auch nominal, erfolgte für die kard. Station 2 keine Justierung. Testweise Variationen der Bettenkapazitäten im Modell vergrößerten die Abweichungen der simulierten Bettenauslastung.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Zur Bestimmung der Modellgenauigkeit nachfolgend die Betrachtung der Bettenauslastung mit dem Teil 2 der Datenbasis als Vergleichsgrundlage (siehe Tab. 59)

Bezeichnung	Bettenauslastung im Mittel (Teil 2 Datenbasis)	Bettenkapazität nach Justierung	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
			n	Bettenkapazität im Mittel	nominal	prozentual
kard. Station 1	31,47	37	725.760	31,21	-0,2600	-0,83 %
kard. Station 2	32,38	39	725.760	32,55	0,1700	0,53 %

Tab. 59: Simulierte Bettenbelegung der kard. Stationen bzgl. Abweichungen Teil 2 der Datenbasis

Auch bei diesem Vergleich fallen die Abweichungen sowohl prozentual wie auch nominal sehr gering aus. Die Nachfolgende Grafik veranschaulicht die prozentuale Bettenbelegung im Wochenverlauf für die kard. Stationen 1+2 im Modell (siehe Abb. 107).

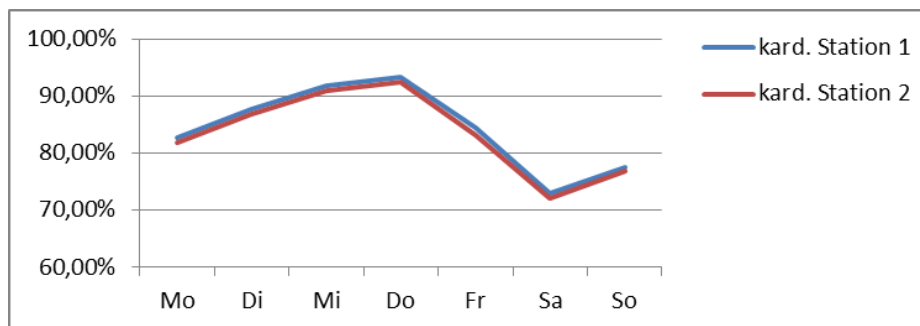


Abb. 107: Simulierte Bettenbelegung auf den kard. Stationen im Wochenverlauf in Prozent

Erwartungsgemäß steigt auch im Modell die Auslastung in den Betten zur Wochenmitte stark an und fällt an den Wochenenden wieder ab. Sonntag finden bereits erste Aufnahmen statt, welche sich entsprechend auch in der Bettenbelegung im Modell wiederfinden.

Nachfolgende Grafiken stellen abschließend noch die im Mittel allokierten Betten im Modell (links) dem Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes) (rechts) im Wochenverlauf gegenüber (siehe Abb. 108).

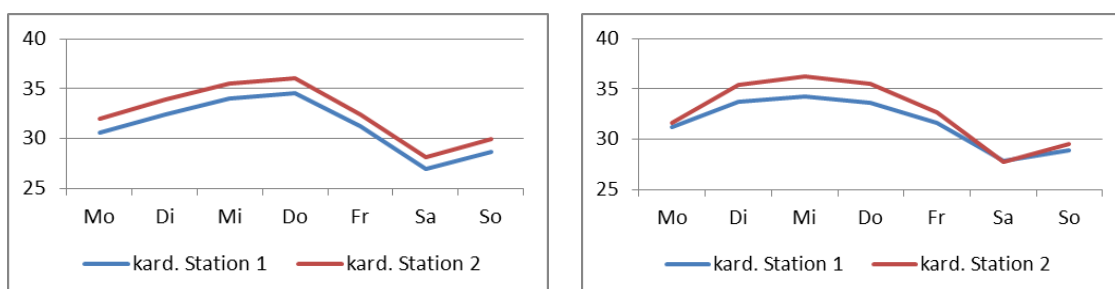


Abb. 108: Gegenüberstellung Bettenallokationen im Modell (links) und Realsystem (rechts)

Es lässt sich auf der Basis ein durchaus vergleichbarer Verlauf im Modell erkennen. Gleichwohl sind Abweichungen am Montag und Samstag für die kard. Station 2 zu sehen. Ursächlich hierfür wird eine im Realsystem stärkere Tendenz zur Entlassung der Patienten zum Wochenende hin gesehen und ein daraus resultierendes niedrigeres Niveau an belegten Betten am Montag, als dies auf der kard. Station 1 resp. im Modell der Fall ist. Dies wird aber im weiteren Verlauf bereits am Dienstag wieder ausgeglichen. Modellseitig konnte dieser Sachverhalt nicht stärker als bereits geschehen umgesetzt werden. Auch, findet sich dies offensichtlich nur bei der kard. Station 2. Die aufgezeigte Abweichung wird an dieser Stelle modellseitig akzeptiert.

(h) HKL-Auslastung

Ein weiterer Justierungs- und Validierungsgegenstand ist die Verteilung der Maßnahmen auf die einzelnen HKL-Labore sowie die resultierenden Belegungszeiten dieser. Modellseitig sind über Parameter die möglichen Labore als Ressourcenerfordernis je HKL-Maßnahme hinterlegt (siehe Abschnitt 9.11 (c) dortige Tab. 25). Darüber hinaus sind spezifische (abweichende) Erfordernisse, wie die Zuteilung zum HKL4 in den Patientenrohdaten hinterlegt. Diese Parametrisierung führt zu einer mengenmäßigen Auslastung der Herzkatheterlabore, welche hier Justierungsgegenstand ist. Ein Vergleich auf Basis der SAP-Daten (Teil 1 des Datenbestandes) ist hier nicht direkt möglich, da der SAP-Datenbestand verhältnismäßig viele Lücken (714 ca. 20 %) in den Laborangaben aufweist. Als Vergleichsgröße und hier somit Teil 2 des Datenbestandes werden die Angaben des HKL-Buchs herangezogen, welches dediziert die zugeteilten Labore je Maßnahme aufführt. Entsprechend wird nun eine Verteilung der Maßnahmen auf die Labore für den Ablauftest (simulierte Werte), wie auch für den Bestand an Realdaten des HKL-Buchs ermittelt und gegenübergestellt (siehe Tab. 60).

Labor	Verteilung im Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes - HKL-Buch)		simulierte Verteilung (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten
	n	prozentual	n	prozentual	prozentual
HKL1	1568	41,94 %	120823	42,17 %	+0,23 %
HKL2	1283	34,31 %	91196	31,83 %	-2,48 %
HKL3	686	18,35 %	55254	19,28 %	0,93 %
HKL4	202	5,40 %	19244	6,72 %	1,32 %

Tab. 60: Simulierte Verteilung der HKL-Maßnahmen auf die HKL-Labore bzgl. Abweichungen und Justierungen

Da der zeitliche Umfang der simulierten Werte mit 90 Jahren deutlich über der Vergleichsgrundlage mit einem Jahr liegt, ist entsprechend auch die Anzahl der Maßnahmen hier höher. Unter diesem Gesichtspunkt erfolgt die Betrachtung auf Sicht der prozentualen Verteilung der Maßnahmenanzahl zwischen den Laboren.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Wie sich zeigt, sind die größten Abweichungen mit -2,48 % im HKL2 und mit +1,32 % im HKL4. Dies deutet darauf hin, dass modellseitig im HKL2 zu wenig und im HKL4 zu viele Maßnahmen eingelastet wurden. Einer Justierung war dies nicht zugänglich, da Veränderungen sowohl in den Ressourcenerfordernissen der einzelnen Maßnahmen, wie auch Versuche der festen Umverteilung von Maßnahmen in den Patientenrohdaten, keinen positiven Effekt auf die Abweichungen zu den Realdaten brachte. An diesem Punkt kann über das Tolerieren der Abweichung noch nicht entschieden werden, da diesbezüglich zunächst die Belegungszeiten der HKL-Labore betrachtet werden sollten. Dies verbunden mit der Frage, ob die geringere Anzahl an Maßnahmen auch zu einer Unterauslastung in der betreffenden Laborressource geführt hat. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Belegungszeiten im Verhältnis zur Öffnungszeit (siehe Tab. 61). Das HKL4 wird im Weiteren nicht näher betrachtet, da für dieses keine belastbaren Vergleichswerte aus dem Realsystem hinsichtlich der Belegungszeiten ermittelt werden konnte. Für eine dedizierte Erhebung war dies nicht zugänglich.

Ressource	Belegungszeit im Realsystem (Erhebungsbogen HKL)	simulierte Belegungszeit (nach Justierung)	Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
	prozentual	prozentual	prozentual	unten	unten
HKL1	73,14%	74,30%	1,16%	-46,422	13,713
HKL2	69,38%	72,23%	2,85%	-40,163	22,296
HKL3	59,61%	55,21%	-4,40%	45,911	153,547
HKL4	-	77,91%	-	-	-

Tab. 61: Simulierte Auslastung der HKL bzgl. Abweichungen und Justierungen

Für das HKL2 kann hier auslastungsbezogen keine Abweichung der Belegungszeit nach unten festgestellt werden. Vielmehr ist das Gegenteil der Fall. Das HKL2 ist in den simulierten Daten mit 2,85 % höher ausgelastet als dies im Realsystem der Fall ist. Dem entgegen ist hier nun das HKL3 mit -4,40 % geringer als die Vergleichsgröße des Realsystems ausgelastet, welches zuvor aus Sicht der Anzahl zu viele Maßnahmen aufweist. Diese gegenläufigen Abweichungen für das HKL2 und HKL3, lassen sich nur so erklären, dass eingestellte Maßnahmen im Mittel länger (HKL2) resp. kürzer (HKL3) dauerten als im Realsystem. Da in der Dauer der Einzelmaßnahmen zuvor aber keine signifikanten Abweichungen festgestellt werden konnten (siehe Unterabschnitt 9.12.1 (d)), wird der Mix an Maßnahmen hier als ursächlich gesehen. Ein erneuter Justierungsversuch, auf Basis der Ressourcenzuordnung auf Maßnahmenebene brachte zwar signifikante Unterschiede in der Auslastung der Labore, aber eine Verbesserung der resultierenden Abweichungen der Belegungszeiten konnte so nicht erreicht werden. Eine Justierung erfolgte hier somit bezogen auf die Belegungszeit nicht.

Wie bereits ausgeführt, wird als ursächlich für die gegenläufigen Abweichungen der Maßnahmenmix gesehen. Es muss sich demzufolge um Maßnahmenverschiebungen zwischen den Laboren handeln, welche im Realsystem subjektiven Entscheidungen der behandelnden/einteilenden Ärzte zugrunde liegen. Bei der Analyse der Realdaten zeigte sich zum Beispiel, dass für eine PTA-Maßnahme wahrscheinlicher (299/85) das HKL3 als das HKL1 genutzt wird. Ferner wird im Realsystem wahrscheinlicher das HKL1 für eine PTCA als das HKL2 (102/48) genutzt. Auf Nachfrage im Realsystem wurden die Präferenzen durch die behandelnden Ärzte bestätigt. Diese subjektiven Verteilungen lassen sich offensichtlich nicht rein auf Basis der Ressourcenverfügbarkeiten und modellseitig hinterlegten Ressourcenerfordernisse nachbilden.

Hinsichtlich der Frage, ob die gefundenen Abweichungen der Mittelwerte im Modell akzeptiert werden können, wurde die Hypothese, dass die Mittelwerte beider Verteilungen identisch sind, auf dem Signifikanzniveau von 0,05 mittels des 95 % Konfidenzintervall der Differenz für zwei unabhängige Stichproben geprüft. Für die Belegungszeit des HKL1 und HKL2 konnte die Hypothese nicht verworfen werden. Für die Belegungszeit im HKL3 war die Hypothese hingegen zu verwerfen. Das Labor 3 ist eine Spezialressource der Elektrophysiologie. Im Realsystem ist diese mit 59,61 % im Modell mit 55,21 % ausgelastet. Dies zeigt, dass das HKL3 im Realsystem nicht die größte Engpassressource darstellt. Unter dem Gesichtspunkt der angestrebten Optimierung wird die vorliegende modellseitige Abweichung in der Auslastung des HKL3 hier als nicht erheblich eingeschätzt.

(i) Auslastung weiterer Ressourcen (EKG, ECHO und Arzt der kard. Ambulanz)

Im Folgenden werden nun die Funktionsbereiche EKG und Echo sowie der Arzt der kard. Ambulanz hinsichtlich ihrer Belegungszeiten betrachtet. Validierungs- und Justierungsgrößen sind hier die Kapazitäten der Ressourcen sowie über Parameter hinterlegte Ressourcenerfordernisse der einzelnen Maßnahmen.

Bei der betrachteten Belegungszeit handelt es sich um die aggregierte Maßnahmendauern im Vergleich zu der Dienstzeit für den Arzt der kard. Ambulanz resp. die Öffnungszeit für die Ressourcen in den Funktionsbereichen EKG und ECHO (siehe Abb. 109).

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

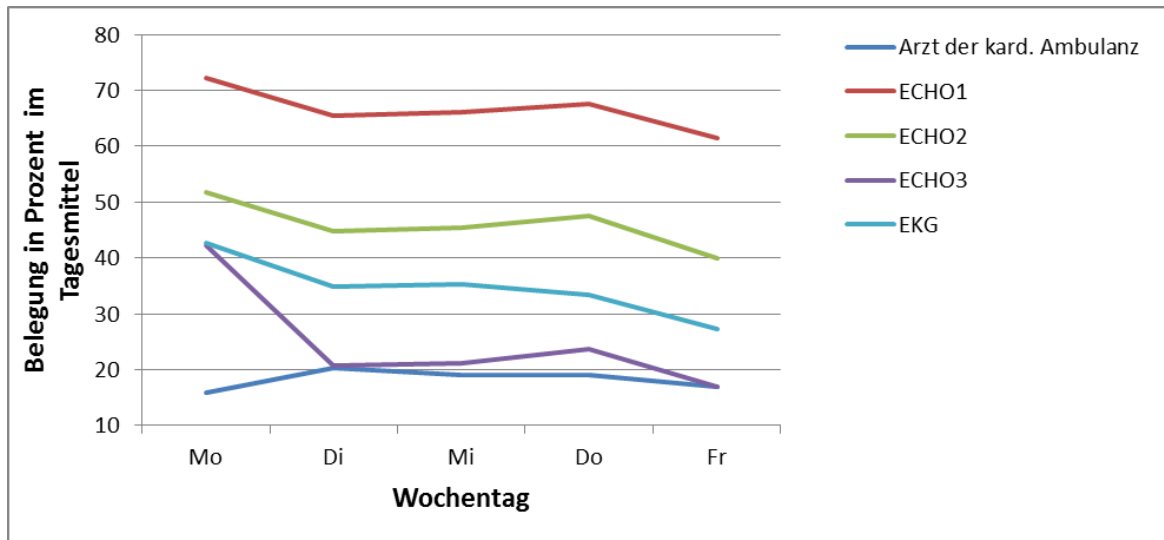


Abb. 109: Simulierte Auslastung im Funktionsbereich EKG, Echo und für den Arzt der kard. Ambulanz im Wochenverlauf

Wie die grafische Aufbereitung zeigt, sind die Auslastungen recht unterschiedlich. Während die Ressource ECHO1 mit im Tagesmittel zwischen 60 – 85 % recht hoch ausgelastet ist, ist der Arzt der kard. Ambulanz hier mit 10 – 20 % als verhältnismäßig gering ausgelastet angeführt. Dies ist darin begründet, dass hier nur patientenbezogene Belegungszeiten (Maßnahmendauern/Arztgespräch) Grundlage der Berechnung sind. Alle Nebentätigkeiten im Tagesgeschäft sind hier ausgeblendet. Dieser Sachverhalt ist auch für das ECHO2 zu sehen, welches durch einen Arzt besetzt ist und signifikant geringere Auslastung aufzeigt, als vergleichsweise das ECHO1, welches durch eine Pflegekraft mit weniger Nebentätigkeiten besetzt ist.

Leider ist ein direkter Vergleich der aufgeführten Auslastungskennzahlen mit Realdaten nicht möglich. Zum einen sind derartige Kennzahlen nicht aus den vorhandenen Datenbeständen des Realsystems herleitbar. Die SAP-Bewegungsdaten führen keine Beginn-Ende Zeiten und die durchgeführte empirische Erhebung hat nicht alle Maßnahmen erfasst, so dass keine verlässliche Berechnung der Belegungszeiten für das ECHO und den Arzt der kard. Ambulanz durchgeführt werden kann. Eine Abschätzung der Belegungszeit ist auf der Basis ebenso nicht möglich, da die Aktivitäten immer wieder durchmengt sind mit Nebentätigkeiten, bei welchen nicht klar ist ob diese patientenbezogen (laufende Maßnahme) oder nicht patientenbezogen waren.

Für den Funktionsbereich EKG waren die erhobenen Realdaten zwar geeignet, da die Maßnahmen (EKG-Belastung/EKG-Spiro) aber teils parallel liefen, war eine verlässliche Berechnung zur Raumbelegung im Nachhinein nicht möglich. Werden alle Maßnahmen im Datenbestand der Realdaten in der Belegungszeit summiert,

ergibt sich auf der Basis eine mittlere Auslastung innerhalb der Öffnungszeit von 28,58 % am Tag. Dies liegt zwar über den oben aufgezeigten Werten, unter dem Gesichtspunkt, dass hier aber keine klare Trennung bei parallel laufenden Maßnahmen möglich war, ist dies aber ein Indiz. Die tatsächliche Auslastung muss entsprechend unter diesem Wert liegen, was die Modellergebnisse tun.

(j) Weitere Validierungen

Über den bisherigen Schilderungen hinaus wurden im Voraus des finalen Ablauftests Validierungen mittels diverser Ablauftests vorgenommen, welche im Folgenden kurz umrissen werden.

Es wurden Ablauftests durchgeführt, um zu überprüfen, ob die Ressourcenkapazitäten im Modell korrekt allokiert und deallokiert werden, die eingestellten Kapazitäten nicht über- oder nach unten ins Negative unterschritten werden. Letzteres könnte z.B. vorkommen, wenn mehr Deallokationen als Allokationen erfolgen. Es wurden dahingehend im Modellablauf keine Abweichungen festgestellt.

Ein weiterer konkreter Punkt der Prüfung betrifft die Spezifikationen aus Anhang A57. Hierbei geht es u.a. um das korrekte Einschränken und Blockieren der Ressourcen zum Ende der Öffnungszeiten, die Umsetzung von Pausen und des Bereitschaftsdienstes, mit der Reaktivierung der Ressource außerhalb der Öffnungszeiten bei einem Notfall sowie der Ausfall einer Ressource bei einer Störung. Diesbezüglich gibt es eine Vielzahl von Prüfungspunkten, wie z.B. wird die Ressource korrekt entzogen, werden die Partikel entsprechend abgearbeitet/nicht mehr abgearbeitet, wird nur der Notfall durch die reaktivierte Ressource abgearbeitet oder werden die Partikel in der Warteschlange einer Ressource mit Störung korrekt umgeleitet. Auch diesbezüglich wurden in den vorgenommenen Ablauftests keine Abweichungen zum spezifizierten Verhalten festgestellt. Die Abarbeitung und das Verhalten entsprechen den Vorgaben des Realsystems.

Es wurde ferner detailliert betrachtet, ob die Terminvergabe im Modell korrekt verläuft. Im Speziellen, ob Anfragen an die Datenbank korrekt verarbeitet werden, sich der Terminkalender den Anforderungen entsprechend füllt und der angefragte frühest mögliche Termin zurückgegeben wird. Sofern eine konkrete Terminanforderung mit Zusatzerfordernissen (Tag, Uhrzeit, Spezialressource) erfolgt, wurde geprüft, ob sich die Terminvergabe hieran ausrichtet und zu einem gewünschten Termin bei der angefragten Ressource führt (siehe hierzu auch [Lippold 2014, S. 103]). Unregelmäßigkeiten im Ablauf oder Abweichungen wurden diesbezüglich nicht gefunden.

9. Aufbau, Verifizierung und Validierung des Ist-Modells

Gemäß den Schilderungen im Anhang A62 (c) wurde die Ressource Stationsarzt in der Kapazität im Modell herabgesetzt, im Vergleich zur tatsächlichen Ausprägung im Realsystem. Dies wurde damit begründet, dass eine Quantifizierung der Nebenaktivitäten im Realsystem, wie z.B. Telefonate, Konzile etc., für den Stationsarzt nicht möglich war. Es wurde nun geprüft, ob die Auslastung der Ressource der im Realsystem beobachteten entspricht. Als Objekte Vergleichsgröße wurden die resultierenden Wartezeiten bei der ärztlichen Anamnese und die Wartezeit auf einen Arztbrief herangezogen (siehe Unterabschnitt 9.12.1 (f)). Darüber hinaus wurde die Allokation/Deallokation der Ressource betrachtet. Es konnten hier keine Abweichungen identifiziert werden, welche zur Beanstandung des Modells oder der Parametrisierung geführt hätten.

Ferner wurde modellseitig geprüft, ob Patienten im Modell verbleiben und nicht abgearbeitet werden. Es wurde festgestellt, dass alle Patienten abgearbeitet werden. In keinem der durchgeführten Ablauftests ist ein Patient im Modell hängen geblieben.

9.12.5 Zusammenfassung

Mit der geschilderten operationalen Modellvalidierung wurde die den Modellaufbau stetig begleitende Verifizierung und Validierung des Modells erfolgreich abgeschlossen. Die finalen Ablauftests haben zu keinen Beanstandungen geführt, welche das Modell auf dem gewählten, sehr geringen Abstraktionsniveau in der Verlässlichkeit einschränken. Somit steht einer weiteren Verwendung zur Analyse, Optimierung, zur Entscheidungsfindung und für spätere Rückschlüssen auf das Realsystem dahingehend nichts entgegen.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Das Soll-Modell geht aus dem validierten Ist-Modell hervor. Hierbei wird darauf geachtet, dass die validierten Gegebenheiten des Ist-Modells unverändert bestehen bleiben. Lediglich ausgewählte, zu optimierende Sachverhalte, wie das Planungskonzept werden erweitert oder angepasst. Die resultierenden Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse können damit eindeutig den nachträglichen Veränderungen am Modell zugeschrieben werden und machen die Effekte im Vergleich mit den Simulationsergebnissen des Ist-Modells messbar. Etwaige ergebnisbeeinflussende Faktoren, wie diese im Realsystem immer wieder vorzufinden sind, werden durch den Modellaufbau, und die damit vorgenommene Abschottung gegenüber anderweitigen Einflüssen ausgeblendet. Nur so sind spätere Rückschlüsse aus dem Soll-Modell auf das Realsystem zulässig. Im Folgenden werden die zum Zweck der Optimierung vorgenommenen Anpassungen am Ist-Modell aufgeführt und das Planungskonzept im Detail erläutert.

10.1 Planungsdynamik, Planungsschrittweite und Planungshorizont

Es wurde in Unterabschnitt 2.4.3 über die Planungsdynamik ausgeführt. In den bisherigen Ausführungen zur Planung im Ist-Modell wurde von Einplanung gesprochen. Eine Ausrichtung auf eine Neuplanung erscheint für das Realsystem nicht praktikabel. Neuplanung bedeutet, dass die gesamte Planung neu aufgestellt wird. Dies bedingt, dass den Patienten und allen Beteiligten bei jedem Planungszyklus die Ergebnisse der Neuplanung zugehen müssen und diese sich (immer wieder neu) darauf einstellen müssten. Bis dato getroffene personelle, räumliche Vorbereitungen oder Vorbereitungen am Patienten und Informationen dieser könnten ggf. mit der Neuplanung verfallen. Daher wird von dem Ansatz der Neuplanung für eine spätere Umsetzung im Realsystem Abstand genommen. Für die reine Suche nach einer Planungsmethodik, resp. Planungsvorgaben und optimalen Parameterausgestaltung am Modell, kann die Neuplanung aber von Vorteil sein. So können dadurch bessere Lösungen als mit einer Einplanung gefunden werden (siehe Unterabschnitt 2.4.4). Zudem ermöglichen einzelne Testläufe mit jeweils neuen Planungen einen anschließenden direkten Vergleich der resultierenden Planungsergebnisse miteinander. Unter diesem Gesichtspunkt wird im Weiteren die Optimierung mittels Neuplanung in Bezug auf die Optimierungsparameter und im Speziellen die Zugangsplanung praktiziert.

In Bezug auf die Terminvergabe und die Patientenauswahl wird entsprechend den bisherigen Festlegungen im Ist-Modell, auch im Soll-Modell an der Einplanung festgehalten. Unabhängig davon kann jeder Neustart der Simulation (z.B. je

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Optimierungslauf) auch für die Terminvergabe als eine Neuplanung gesehen werden, da die Terminvergabe damit neu resp. von vorn beginnt.

Mit Blick auf den hier angestrebten Einsatz eines Genetischen Algorithmus zur Optimierung stellt jeder Iterationslauf – jedes zu testende Individuum – eine neue Planungsvariante dar, welche losgelöst simuliert wird. Erwähnt werden sollte aber die Tatsache, dass bei einem Genetischen Algorithmus zwar jedes Individuum als eigenständige Lösung gesehen und getestet werden kann, die Population im Zusammenspiel mit der Selektion jedoch eine kontinuierliche Verbesserung der Lösung darstellt (eine Art Lernen) [Nissen 1997a, S. 22]. In diesem Sachverhalt weicht ein Genetischer Algorithmus in den einzelnen Individuen von einer völligen, zufälligen Neuplanung ab. In diesem Verhalten des Genetischen Algorithmus, wird aber dessen Stärke gesehen, im Vergleich zu einer rein zufälligen Neuplanung.

Um dies im Soll-Modell umzusetzen, bedarf es keiner Anpassung am Ist-Modell. Vielmehr ergibt es sich durch die spätere Eingliederung des Modells in den Optimierungsloop, wo dieses dann iterativ durchlaufen resp. aufgerufen wird.

Bezugnehmend auf die Ausführungen in Unterabschnitt 2.4.3 und die dortige Abb. 13, wird nun die Planungsschrittweite der Zugangsplanung, Terminplanung und Patientenauswahl bezogen auf das Soll-Modell betrachtet.

Die Planungsschrittweite legt fest, in welchem zeitlichen Abstand oder zu welchen Ereigniszeitpunkten die Neuplanung der Zugänge resp. ein Neustart der Simulation sinnvoll ist. Bei einer zu kleinen Schrittweite könnten sich Planungsvorhaben an Planungsvorhaben reihen, was nicht sehr effizient ist. Planungseffekte können sich nicht etablieren und sind damit ggf. nicht ausreichend messbar. Ist die Schrittweite hingegen zu groß bemessen, können Auswirkungen der Planung oder spezifisches Modellverhalten zu lange ungeachtet bleiben und ist auf dieser Basis wieder ineffizient. Unter der Optimierungssicht macht es keinen Sinn, eine Neuplanung durchzuführen, ohne die Ergebnisse der vorhergehenden Planung zu kennen. Im Genetischen Algorithmus bedingt es sogar den Ergebniswert, um die jeweilige Fitness zu bestimmen und damit das Erzeugen neuer Individuen (neuer Planungsvarianten) anzustoßen. Damit wird die Planungsschrittweite hier abhängig von der Laufzeit, bis verlässliche Ergebnisse der jeweiligen Planung vorliegen. Erst dann kann und wird im hier vorliegenden Ansatz eine Änderung der Planung resp. eine Neuplanung erfolgen.

In der vorliegenden Arbeit wird von einer Simulationslaufzeit von 7 Wochen ausgegangen. Gemäß der Festlegung in Unterabschnitt 9.12.1, werden hiervon 3 Wochen als Einschwingzeit angesehen und bleiben bei den Simulationsergebnissen unbeachtet. Die Planungshorizonte, als Reichweite der Planung, sich auf den einzelnen Planungsebenen differenziert zu betrachten (siehe Abschnitt 2.4). Auf Ebene der Zugangs- und für die Reservierungsplanung ist dies im Weiteren eine Woche. Somit wird eine Wochenplanung siebenmal je Simulationslauf eingestellt. Nachdem die Simulation ausgeführt wurde, erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse und eine Neuplanung wird angestoßen. Im Zuge der Aufstellung der neuen Planung ist jeder Wochentag der Planung zugänglich. In Bezug auf die Terminplanung und Patientenauswahl bleiben die Festlegungen des Ist-Modells unverändert. Die Terminplanung ist als kontinuierliche Einplanung von Terminen in die Terminkalender der Engpassbereiche angelegt und die Patientenauswahl als ad-hoc-Auswahlentscheidung an den Ressourcen.

10.2 Optimierung von Planungsparametern (Optimierungsgrößen)

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, konkrete Potentiale und eine Planungsmethodik zu finden, welche im Realsystem in den jeweiligen Bereichen implementiert oder als Handlungsempfehlungen leicht umgesetzt werden kann (White-Box). Ein frei agierender (heuristischer) Optimierungsalgorithmus, wie ein Genetischer Algorithmus, kann durchaus gute Planungsergebnisse liefern kann, bezogen auf das jeweilige Patientengut oder den jeweiligen Simulationslauf sind diese aber sehr spezifisch. Aus dem Datenmaterial der verschiedenen Simulationsläufe lassen sich nur sehr schwer generelle Lösungsansätze resp. der Weg zur Lösung - die vom Algorithmus vollzogene Planungsmethodik - ableiten (Black Box) (siehe Unterabschnitt 4.8.7 zur Ergebnisanalyse und Interpretation). Daher werden nun in der vorliegenden Arbeit u.a. im Bereich der Zugangsplanung Parameterwerte (Planungsparameter) ausgewählt und definiert, welche durch den Genetischen Algorithmus im Späteren einer Optimierung unterzogen werden (Optimierungsgrößen). Darüber hinaus wird das Ist-Modell im Bereich der Terminvergabe um ein Terminvergabekonzept erweitert, welches im Weiteren auf dessen Eignung und das sich daraus ergebende Verbesserungspotential hin überprüft und validiert wird. Auch das Terminvergabekonzept wird auf konkreten Planungsparametern bezogen. Das Planungskonzept wird auf ein Planungsraster abgebildet, welches Planungsparameter beinhaltet (siehe Abb. 110). Die jeweiligen Parameterausprägungen werden im Späteren durch den eingesetzten Optimierungsalgorithmus variiert und optimiert. Auf der Basis wird es dann möglich sein das Planungsraster sowie die gewählten Parameterausprägungen in das Realsystem zu übertragen.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

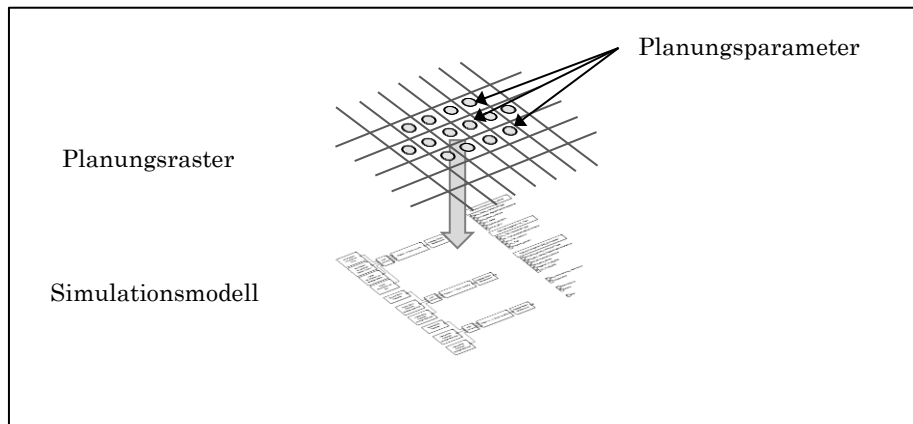


Abb. 110: Schematische Darstellung des Planungsrasters im Soll-Modell

Im Folgenden wird nun detailliert auf die Planungsparameter auf den hier zugrunde gelegten drei Planungsebenen eingegangen.

10.3 Zugangskontrolle

Gegenstand der Zugangskontrolle ist die Planung der elektiven Patienten von extern im Zulauf auf die kard. Stationen, die kard. Ambulanzen und die Funktions-/OP-Bereiche. Darüber hinaus erhalten Grundaustauslastungen durch interne Verlegungen und Störungen durch von außen einfließende Notfälle Zugang zum System, welche Einfluss auf die Planung nehmen, selber aber nicht planbar sind.

(a) Elektive Patientenzugänge

Optimierungsziel der Zugangsplanung ist, den mengenmäßigen Umfang an elektiven Patienten je Wochentag so zu planen, dass das modellseitig abgebildete System optimal ausgelastet ist (z.B. in Bezug auf die Ressourcenauslastung), aber nicht überbeansprucht wird (z.B. in Bezug auf die Termintreue, Wartezeiten)¹⁰⁴. Im Speziellen ist damit die Zielstellung verbunden die Vorgabewerte aus dem Realsystem, in Bezug auf die Anzahl einzubestellender Patienten je Wochentag, zu optimieren und zu validieren.

Die Planungsparameter an den definierten Zugangspunkten sind zunächst:

- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Station 1 je Wochentag,
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Station 2 je Wochentag und
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Ambulanz je Wochentag.

¹⁰⁴ Hierbei handelt es sich wieder um das im Abschnitt 2.3 angesprochene und von Gutenberg als Dilemma der Ablaufplanung bezeichnete Problem.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Modellseitig gibt es die Möglichkeit, Patienten ambulant (prästationär) auf den kard. Stationen oder in der kard. Ambulanz einzubestellen, um erforderliche Voruntersuchungen und Abklärungen ambulant im Vorfeld einer stationären Aufnahme oder avisierten HKL-Maßnahme zu durchlaufen. Dies wird im Realsystem bereits sporadisch praktiziert, wenn z.B. zum Aufnahmetag kein Bett mehr verfügbar ist und der Patient auf der Basis wieder nach Hause entlassen wird. Speziell in Einrichtung 1 wird auch der Ambulanzdienst zur prästationären Abklärung und Durchführung von Voruntersuchungen bei einer angedachten HKL-Untersuchung genutzt. Die stationäre (Wieder-)Aufnahme erfolgt dann binnen 3 Tagen resp. am Tag der geplanten HKL-Maßnahme. Das bedingt aber eine kurzfristige Terminverfügbarkeit im HKL sowie ein freies Stationsbett am Tag der Wiederaufnahme. Die Möglichkeit zur prästationären Abklärung wird hier als Ansatz zur Optimierung gesehen, da hierdurch ggf. die Bettenkapazitäten geringer belastet würden. In wie fern dieser Ansatz Vorteile birgt, gilt es zu validieren und die optimale Anzahl an prästationären Patienten in den einzelnen Zugangspunkten zu ermitteln. Wie ausgeführt wurde, wird diese Möglichkeit sporadisch bereits im Realsystem praktiziert. Daher ist die Implementierung dessen bereits im Rahmen des Ist-Modells erfolgt. So wurden die Abläufe für prästationäre Patienten zur Vorbereitung auf ein HKL auf den separaten Pfaden 2 und 16 abgebildet und modellseitig mit den Quellen AMB_3, STA_6 und STA_7 verknüpft (siehe Unterabschnitte 9.6.2 und 9.7.2. Damit kann dieser Sachverhalt im Rahmen der Zugangsplanung ebenfalls dem Optimierer zugänglich gemacht und geplant werden. Modellseitig kann zudem über den Parameter „KARDSTAT_WAUFP_PreBookOffset“ ein Zeitpunkt definiert werden, ab welchem im Voraus zum Aufnahmezeitpunkt das Bett allokiert wird.

Die konkreten Optimierungs- resp. Validierungsgrößen sind diesbezüglich:

- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Station 1 je Wochentag (Quelle STA_6) zur prästationären Abklärung,
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Station 2 je Wochentag (Quelle STA_7) zur prästationären Abklärung,
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge der kard. Ambulanz je Wochentag (Quelle AMB_3) zur prästationären Abklärung.

Der Optimierer kann die Patienten im Rahmen der Zugangsplanung zwischen den Pfaden 1+2 sowie zwischen den Pfaden 1+16 wechseln (siehe Unterabschnitt 9.6.2 zu den Pfaden). Da nicht jeder Patient die Voraussetzungen für eine prästationäre Untersuchung erfüllt, z.B. mangels Mobilität, wird im Modell eine Begrenzung auf maximal 7 Patienten je Woche eingestellt. Dies entspricht den Angaben der Ärzte in

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

der Referenzeinrichtung, hinsichtlich der aus ihrer Sicht möglichen Anzahl an Patienten je Woche, welche die Voraussetzungen hierfür erfüllen.

Auch die elektiven Zugänge in den Funktions-/OP-Bereichen sind bezogen auf ihre Anzahl je Wochentag im Soll-Modell zu beplanen und dahingehend einer Begrenzung unterworfen. Aus der Definition heraus handelt es sich um planbare Patienten mit ambulantem Kontakt in den betrachteten Funktions-/OP-Bereichen. Grundsätzlich können diese Patienten als geeignetes Mittel gesehen werden, um über die Zugangsplanung punktuell die Auslastung der Bereiche zu verbessern, indem freie Kapazitäten an Zeiten geringer Auslastung genutzt werden. Nun kann es aber sein, dass der Optimierungsalgorithmus, im Rahmen der Zugangsplanung die Anzahl der externen, ambulanten Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen immer weiter erhöht. Da diese Möglichkeit nicht unbeschränkt im Realsystem gegeben ist, ist dies im Soll-Modell zu beschränken. In den betrachteten HKL-Laboren der drei Referenzeinrichtungen gibt es nur ca. 1-2 solcher Fälle pro Woche auf der Basis eines Vertrages mit einer benachbarten Klinik, welche selber nicht über ein HKL-Labor verfügt. Unter dem Gesichtspunkt der vertraglichen Bindung sind kurzfristige Veränderungen hieran nicht möglich. Entsprechend wird diese Optimierungsmöglichkeit zwar im Modell Vorgehalten aber für den weiteren Verlauf nicht eingesetzt. Sprich, die Patientenzugänge an der Quelle HKL_1 werden weiterhin wie im Ist-Modell über eine parametrisierte Verteilungsfunktion erzeugt und auch im Soll-Modell nicht vom Optimierer bestimmt. Sofern derartige ambulante Anforderungen für die Funktionsbereiche EKG (Quelle ECKG_1) und ECHO (Quelle ECHO_1) vorliegen, werden die Patienten in der Einrichtung 3 über die kard. Ambulanz geleitet und sind damit aus Sicht der hier zugrunde gelegten Patientenrohdaten bereits als Ambulanzpatienten eingruppiert und berücksichtigt. Somit wird hier diese Optimierungsvariante für die Funktionsbereiche EKG und Echo im Soll-Modell nicht angewendet, um den organisatorischen Gegebenheiten der Einrichtung 3 weiter zu folgen. Dennoch wird die Möglichkeit der Nutzung zu Testzwecken und mit Blick auf andere Einrichtungen hier offengehalten und in dem vorliegenden Planungskonzept grundsätzlich für alle betrachteten Funktions-/OP-Bereiche berücksichtigt. Die konkreten Optimierungsgrößen sind diesbezüglich:

- die Anzahl elektiver Patientenzugänge von extern, je Wochentag im Funktionsbereich Echokardiografie,
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge von extern, je Wochentag im Funktionsbereich Elektrokardiografie und
- die Anzahl elektiver Patientenzugänge von extern, je Wochentag im OP-Bereich Herzkatheterlabor.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

In der Umsetzung der Planung im Soll-Modell wird zum Start der Simulation ein Umfang von einer Woche an Patienten je Zugangspunkt über eine Zufallsverteilung generiert (Anzahl Patienten je Wochentag). Dies erfolgt damit initial wie im Ist-Modell. Im Weiteren wird dieser initiale Zugangsplan den iterativen Manipulationen des Optimierers unterworfen und ergibt die neuen Zugangsplanungen.

Bezogen auf das geplante elektive Patientengut, darf der Planungsalgorithmus die Reihenfolge auf dem Zeitstrahl manipulieren. Hierzu kann der Zugang der Patienten innerhalb der Wochenplanung verschoben werden, z.B. von Montag auf Dienstag, um die Menge der Patienten je Wochentag zu verändern. Auch ist es dem Optimierer erlaubt, weitere Patienten in die Planung einzustellen oder geplante Patienten wieder herauszunehmen. Dies birgt die Gefahr, dass der Algorithmus sich auf ein Patientengut einschwingt und z.B. Patienten mit langen Laufzeiten aus der Planung „herausoptimiert“. Um diesem vorzubeugen und Lösungen dahingehend robust zu machen, bleibt auch im Soll-Modell die Festlegung bestehen, dass die Patienten erst bei der Einsteuerung in das Klinikmodell durch ein zufälliges, gleichverteiltes Ziehen aus den Patientenrohdaten einen Behandlungsverlauf zugewiesen bekommen (siehe Unterabschnitt 9.8.4). Die Informationen werden dem Modell im weiteren Ablauf dann punktuell entsprechend der bisherigen Spezifikationen zugänglich gemacht. Es kann damit sein, dass ein Patient sich im ersten Durchlauf zu einem Notfall entwickelt und im nächsten Iterationslauf der Notfall bei einem anderen Patienten auftritt (gezogen wird). Die Zuweisungen je Patient variieren damit je Simulationswoche, was eine Optimierungslösung im Rahmen der Zugangsplanung zusätzlich robust macht, hinsichtlich zufälliger Ereignisse. Durchaus ließe das Simulationsmodell auch ein anderes Vorgehen zu. Unter der Annahme im Voraus bekannter Verläufe und Maßnahmenanforderungen, könnten die Zuweisung der Patientenverläufe resp. im Vorfeld bekannte und im Verlauf durchzuführende Maßnahmen direkt an die Planungs-ID der Patienten gekoppelt werden (siehe hierzu beispielhaft [Kühn et al. 2012]). Bei der Planung würde sich dann auch stärker die Reihenfolge der Patienten gemäß der Ressourcenbeanspruchung optimieren lassen. Sofern auch ein Herausoptimieren einzelner Patienten oder Patientengruppen unterbunden werden soll, könnte in diesem Fall die Möglichkeit Patienten in der Menge zu reduzieren im Algorithmus deaktiviert werden. Konkret heißt dies, ausgehend von einer festen Anzahl an Zugängen, wird die Reihenfolge der Patienten optimiert.

(b) Notfälle und nicht-elektive Patientenzugänge in den Funktions-/OP-Bereichen und auf den kard. Stationen

Bezüglich der Einlastung von Störgrößen und der Grundauslastungen bleiben die Festlegungen des Ist-Modells uneingeschränkt bestehen, im Speziellen in Bezug auf den unbeschränkten Zugang von Notfällen und deren Varianzen im Auftreten. Dadurch wird die Robustheit der späteren Lösung gefördert und zugleich richtet sich die elektive Zugangsplanung an diesen Einflussgrößen aus.

(c) Zusammenfassung - Rahmen des Optimierungsalgorithmus

Zusammenfassend wird in Bezug auf die Zugangsplanung als Rahmen für den Planungsalgorithmus festgehalten und spezifiziert:

- Es wird der Umfang von einer Woche an elektivem Patientengut je Zugangspunkt geplant. Dies betrifft die Quellen STA_1, STA_2, STA_6, STA_7, ECHO_1, EKG_1 und HKL_1.
- Elektive Patientenzugänge von extern sind in den Funktions-/OP-Bereichen (EKG, ECHO und HKL) im Umfang beschränkt. Die Planung derer kann zu bzw. abgeschaltet werden. Für die Einrichtung 3 sind im Weiteren die elektiven Zugänge über die Quellen ECHO_1, EKG_1 und HKL_1 nicht Planungs- resp. Optimierungsgegenstand.
- Die Menge an elektiven Patienten wird je Zugangspunkt initial zufällig erzeugt und kann vom Optimierer im Weiteren variiert werden.
- Der Zugang von elektiven Patienten darf vom Optimierer innerhalb einer Woche zwischen den Aufnahmetagen (Wochentagen) verschoben werden, als Teil der Reihenfolgeplanung.
- Dem Algorithmus ist es im gegebenen Umfang möglich, Patienten zwischen den Pfaden 1+2 sowie 1+16 zu verschieben, im definierten Umfang von max. 7 Patienten je Woche zur prästationären Abklärung.
- Notfallpatienten erhalten weiterhin uneingeschränkten Zugang zum System, werden in jeder zu simulierenden Woche neu erzeugt und gehen als Störgrößen uneingeschränkt in das Modell ein.
- Grundauslastungen im Modell, in Form von elektiven und nicht-elektiven Patienten resp. Maßnahmenanforderungen von sonstigen Bereichen (sonstige Stationen, Intensivstationen, sonstige Ambulanzen) werden im Zufluss auf die direkt beplanten Bereiche unverändert in Menge und zeitlichem Auftreten zum validierten Ist-Modell beibehalten.
- Optimierungsgegenstand sind ausschließlich die definierten Planungsparameter (Optimierungsgrößen) aus dem Planungsraster.

Die Zugangsplanung stellt damit einen „Masterplan“ auf Wochenbasis dar, welche im Modell angewendet wird.

10.4 Terminvergabe mit Reservierungskonzept

Im Soll-Modell wird die Terminvergabe durch ein Terminvergabekonzept erweitert, welches auf dessen Eignung und das sich daraus ergebende Verbesserungspotential hin überprüft und validiert wird. Im Folgenden wird auf die Terminvergabe in Bezug auf Änderungen im Soll-Modell eingegangen und daran das hier eingesetzte Terminvergabekonzept erläutert.

(a) Vergabe von Aufnahmetermenin für elektive Zugänge der kard. Normalstationen sowie der kard. Ambulanz

Aufnahmezeitpunkte der elektiven Patientenzugänge (exkl. prästationärer Patienten) in der kard. Ambulanz und auf den kard. Stationen werden im Soll-Modell statt durch eine Terminvergabelogik durch den Genetischen Algorithmus bestimmt. Grundsätzlich unterscheidet sich die Terminvergabe für die stationäre und ambulante Aufnahme zu der eingesetzten Methodik in den Funktions-/OP-Bereichen. Wie bereits ausgeführt wurde, stellt der Aufnahmetermin der kard. Station und der kard. Ambulanz nur einen Zeitpunkt dar, dem eine Reihe weiterer Prozessschritte und Maßnahmen folgen. Der zeitliche Gesamtumfang dieser lässt sich nicht im Voraus bestimmen und kann somit in der Planung nicht in Form von Planwerten Berücksichtigung finden. Im Simulationslauf kann der Optimierer nun durch das eingebundene ablauffähige Simulationsmodell die Zeitpunkte der Einbestellung auf die Modellgegebenheiten, wie Engpässe, Öffnungszeiten, Ressourcenverfügbarkeiten und Einschränkungen derer durch auftretende Notfälle, ausrichten. Planungsziel ist diesbezüglich eine Terminvergaberegeln (Masterplan) zu finden, auf Basis welcher die Terminvergabe schließlich erfolgt. Die konkreten Planungsparameter sind in Anlehnung an die ambulante Aufnahmeplanung auf die drei Größen abgestellt, wie diese Cayirli & Veral [2003, S. 526] aufzeigen (siehe Unterabschnitt 2.4.6 (a)):

- Größe des Anfangsblocks (n_1): Anzahl der Patienten, die zum ersten Aufnahmetermin einbestellt werden,
- Blockgröße (n_i): Anzahl der Patienten, die den i -ten Aufnahmetermin erhalten und
- Terminvergabe-Intervall (a_i): Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmetermenin.

Alternativ kann im Soll-Modell vom Planungsalgorithmus für jeden Patienten direkt eine eigene Uhrzeit ermittelt werden. Im Ergebnis dieses Planungsansatzes zur Terminvergabe können aber sehr unstrukturierte Terminpläne entstehen, welche sich für den Ablauf als gut erweisen, aber nicht ausreichend transparent sind um im Realsystem nachvollzogen werden zu können. Daher wird im Weiteren die Anwendung und Optimierung der Terminvergaberegeln praktiziert.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Grundsätzlich kann es mit einer definierten Wahrscheinlichkeit im Realsystem dazu kommen, dass ein Patient zum Aufnahmezeitpunkt ohne vorherige Terminabsage nicht erscheint (no-show). Für die Ausprägung im Ist-Modell wurde die Möglichkeit des zu frühen bzw. verspäteten Patientenzugangs wie auch der no-show Thematik für bei Zugängen von extern nicht beansprucht, da mit den zugrunde gelegten Erhebungswerten bereits die tatsächlichen Zugangstermine (Ankunftszeitpunkten) vorliegen. Nun wird die Möglichkeit im Soll-Modell für den späteren Gebrauch und zu Testzwecken implementiert (siehe hierzu Anhang A82).

Um zwischen dem Ist- und Soll-Ablauf im Modell zu unterscheiden, wird im Soll-Modell ein Schalter an den Quellen implementiert, mit welchem über den Parameter „DB_Source_OP_Mode“ umgeschaltet werden kann. Im Ist-Ablauf werden die Zugänge über Verteilungsfunktionen (Parameterwert = „Distribution“) erzeugt. Bei Umschalten auf „DB“ als OP-Mode wird die vom Optimierer erzeugte Zugangsplanungen (u.a. Anzahl Patienten und Aufnahmetermin) aus der zentralen Datenbank genutzt (siehe hierzu Anhang A82).

(b) Terminanforderungen durch Zugänge von extern in den Funktions-/OP-Bereichen

Für die Terminvergabe in den Funktions-/OP-Bereichen an elektive Patienten von extern können grundsätzlich Planwerte genutzt werden. Im Rahmen der Zugangsplanung werden vom Optimierer die Anzahl und die jeweiligen Wochentage der Zugänge festgelegt. Die Terminfindung (Uhrzeit) für die Maßnahme in den Funktions-/OP-Bereichen auch mittels Optimierungsalgorithmus umzusetzen erscheint, speziell in Bezug auf die zu berücksichtigenden Restriktionen, wie Öffnungszeiten, geplante Wartungsarbeiten oder bereits vorhandene Termine im Soll-Modell nicht sinnvoll. Daher wird auch für das Soll-Modell der bestehende Weg im Ist-Modell beibehalten. Terminanforderungen durch Zugänge von extern werden an die Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche gerichtet und in der Länge entsprechend den Planwerten der jeweiligen Maßnahme sowie dem bestehenden Terminbestand vergeben.

(c) Terminanforderungen aus dem Modellablauf heraus (interne Anforderungen)

Bezogen auf die Terminanforderungen, welche sich aus dem Modellablauf ergeben (intern), können ebenso Planwerte zur Terminvergabe genutzt werden. Auch diesbezüglich wird der grundlegende Ablauf aus dem Ist-Modell beibehalten und Terminanforderungen an den jeweiligen Terminkalender gerichtet. Ergänzend werden im Soll-Modell die nachfolgenden Sachverhalte betrachtet und einer Optimierung zugänglich gemacht:

- der Zeitpunkt der Anmeldung einer HKL-Maßnahme in Bezug auf die vorherige Abklärung in den Funktionsbereichen EKG/Echo und

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

- Reihenfolge der angeordneten Maßnahmen bei Patienten der kard. Ambulanz,
- die zeitnahe Terminverfügbarkeit von Maßnahmen in den Funktions-/OP-Bereichen für elektive Patienten der kard. Stationen (im Rahmen der Voruntersuchung),
- die zeitnahe Terminverfügbarkeit von Maßnahmen in den Funktionsbereichen für elektive Patienten der kard. Ambulanz und
- die Berücksichtigung nicht-elektiver Patienten und Notfälle in der Terminplanung der Funktions-/OP-Bereiche.

Die ersten beiden der eben aufgeführten Optimierungssachverhalte wurden bereits erläutert (siehe hierzu Unterabschnitt 9.7.3, Anhang A55 0 und Abschnitt 9.11 (g)). Es handelt sich zum einen um die Maßnahmenfolge, der während eines Ambulanzaufenthaltes angeordneten Untersuchungen, gemäß den tatsächlichen Gegebenheiten im Realsystem (Variante A1) oder in Folge der Ressourcenverfügbarkeit (Variante A2). Weiterhin handelt es sich um den Sachverhalt, dass bei elektiven, stationären Patienten im zeitlichen Rahmen der Voruntersuchungen, aus Gründen der Terminverfügbarkeit, im Realsystem eine designierte HKL-Maßnahme bereits angemeldet wird, bevor die abklärenden Maßnahmen im EKG/Echo erfolgt sind (Variante S1) oder eine HKL-Maßnahme erst nach vorliegenden Befunden der vorherigen EKG-/Echo-Maßnahmen angeordnet wird (Variante S2). Von der vorgegebenen Reihenfolge (Variante S2) wird bisher im Realsystem und im Ist-Modell abgewichen. Im Soll-Modell kann nun der Einsatz der Variante A2 und S2 im Zusammenspiel mit den anderen Gegebenheiten der Terminplanung ausgetestet werden.

Grund für den Einsatz der Variante S1 im Realsystem ist die schlechte Terminverfügbarkeit von HKL-Maßnahmen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie bei gegebenen Ressourcen eine zeitnahe Terminverfügbarkeit sowohl für HKL-Termine als auch für vorhergehende Termine zur Abklärung in den Funktionsbereichen (EKG/ECHO) ermöglicht werden kann. Die gleiche Frage stellt sich für die Terminverfügbarkeit bei ambulanten Patienten bezogen auf die der ambulanten Aufnahme nachgelagerten Maßnahmen in den Funktionsbereichen. Es ist zum Zeitpunkt der Aufnahmeplanung nicht bekannt, welche Bereiche vom einzelnen, aufzunehmenden (ambulanten/stationären) Patienten durchlaufen werden, um für diese im Voraus einen Termin zu planen. Dies betrifft sowohl das Realsystem wie auch den Optimierungsalgorithmus. Es macht keinen Sinn, für alle Patienten in jedem Funktions-/OP-Bereich im Vorfeld einen Termin zu vereinbaren, wenn nicht klar ist, ob der Patient diesen überhaupt bedarf. Umgekehrt ist zum Zeitpunkt, zu

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

dem der Bedarf entsteht, die Terminverfügbarkeit nicht mehr oder nur noch eingeschränkt gegeben, wie sich im Realsystem zeigt.

Einen weiteren Optimierungsgegenstand im Zuge der Terminvergabe stellen nicht-elektive Patienten und im Speziellen die Berücksichtigung von Notfällen in der Terminplanung dar. Im Ist-Modell mangelt es, entsprechend der Ausprägung des Realsystems, an der Berücksichtigung von nicht-elektiven Patienten oder potentiell auftretenden Notfällen bei der Terminvergabe.

Für die Suche nach einem Lösungsansatz wurde bereits zu bestehender Literatur ausgeführt u.a. bzgl. Dellaert & Jeunet [2010]. Diese befassen sich mit einer solchen, hier geschilderten Problemstellung. Betrachtungsgegenstand ist einen Operationssaal mit nachgelagerter Normal- und Intensivstation. Es ist beabsichtigt für stationäre Patienten eine Planung aufzustellen, welche auch die nachgelagerten Bettenkapazitäten berücksichtigt. In der Ausgangssituation herrscht Ungewissheit dahingehend, wie viele Patienten auftreten, welche OP-Maßnahmen durchzuführen sind und welchen weiteren Verlauf die Patienten nehmen, z.B. ob die im weiteren beanspruchte Station eine Normal- oder Intensivstation ist. Der Ungewissheit begegneten Dellaert & Jeunet, indem sie zunächst das Patientenaufkommen hinsichtlich der möglichen Patientengruppen (Verläufe) abgrenzen. Für die verschiedenen Gruppen wurden nun in der Planung Kapazitäten reserviert. In verschiedenen numerischen Tests wurde ermittelt, welche Mengen an Reservierungen je Patientengruppe einzustellen sind, um möglichst optimale Werte in Bezug auf die Wartezeit der Patienten, Zielabweichung und Häufigkeit der Planänderungen für das operative Personal zu erhalten. Auf diesem Wege wurde eine Menge an Reservierungen je Patientengruppe, welche, bezogen auf die die zu erwartenden Patienten, im Ergebnis der Testungen für die Zielstellung und die Testvarianten als beste galt.

Dieser Ansatz wird in der vorliegenden Arbeit weiterverfolgt und auf die hier vorliegende Problemstellung adaptiert. Diesbezüglich kann in der vorliegenden Arbeit bereits auf eine Gruppierung der Patienten in Bezug auf den Zugangspunkt (Pfade und Quellen), auf eine Klassifizierung nach ambulant, stationär und prästationär sowie nach Dringlichkeit in elektive, nicht-elektive und akute Patienten (Notfälle) zurückgegriffen werden.

Bezogen auf Notfälle führen Dellaert & Jeunet [2010, S. 13] ausblickend aus, bedarf es noch einer zusätzlichen Betrachtung von Reservierungsregeln. In ihren Augen ist die Einplanung von Notfällen wichtiger als die Anpassung einer Planungsmethodik.

Cardoen et al. [2010] führen in ihrem Review explizit aus, dass es erst wenige Arbeiten gibt, die sich mit der Einplanung nicht-elektiver Patienten (zu denen auch die Notfälle zählen) befassen. „The review revealed that only limited research is applied to non-elective patient scheduling.” [Cardoen et al. 2010, S. 929].

Bezogen auf eine verlässliche Patientenplanung unter Berücksichtigung des Auftretens von nicht-elektiven Patienten, im Speziellen von Notfällen, sind drei alternative Ansätze vorstellbar:

1. Verlängerung der Planzeiten (Variante NE1),
2. Reservierungen für Notfälle/nicht-elektive Patienten (Variante NE2) und
3. Einschieben von Pufferzeiten (Variante NE3).

Eine Verlängerung von Planzeiten (Variante NE1) führt indirekt zu Leerzeiten der Ressource, da durchzuführende Maßnahmen im Erwartungswert der Maßnahmendauer unter den ausgeweiteten Planwerten liegen. Derartige zusätzlich geschaffene Leerzeiten können wie ein zeitlicher Puffer wirken und bezogen auf einen Tagesplan z.B. es in einer OP-Planung ermöglichen, Notfälle oder nicht-elektive Patienten einzuschieben. Mit dem Einschieben würden sich die nachfolgenden, bereits zeitlich geplanten Patienten im Termin verschieben. Die resultierenden Terminabweichungen könnten sich tendenziell durch die geschaffenen Puffer im weiteren Tagesverlauf sukzessive je Patient reduzieren. Dies gelingt umso besser, umso früher am Tag der Patient eingeschoben wird. Zu ermitteln ist in diesem Fall, wie groß der zusätzlich zeitliche Aufschlag auf die Planwerte anzusetzen ist und wie stark die Ressourcenauslastung durch diese Leerzeiten abfällt, wenn kein nicht-elektiver Patient resp. Notfall eingeschoben wird.

Direkte Reservierungen für nicht-elektive Patienten in den Terminkalendern (Variante NE2) ermöglichen im Voraus Termine für ggf. im späteren auftretende Patienten vorzuhalten, um diese im Falle dessen einzuschieben, ohne andere geplante Patienten zu verschieben. Für die Dauer der Reservierung kann der Erwartungswert der Maßnahmendauer bzw. der Notfälle genutzt werden. Wobei nicht klar ist, welche Maßnahme eingeschoben werden müsste. Im Falle der HKL-Maßnahmen sind deutliche Unterschiede in den Maßnahmendauern vorhanden. Zudem stellt sich für Notfälle die Anforderung diese einer sofortigen Behandlung zuzuführen. Also ggf. auch außerhalb einer zuvor eingestellten Reservierung. Grundsätzlich ließe sich der Notfallpatient aber einschieben und die vorhandene Reservierung könnte durch den verdrängten Patienten genutzt werden. Es wäre somit zu ermitteln wie viele Reservierungen einzustellen sind und welcher Länge die Reservierungen sein sollten, um evtl. Terminabweichungen zu minimieren. Darüber hinaus bleibt die Frage, was

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

passiert, wenn kein Notfall oder keine nicht-elektive Maßnahmenanforderung auftritt. In diesem Fall entsteht entweder ein Leerstand oder ein Patient z.B. vom Folgetag müsste vorgezogen werden, sofern diese Möglichkeit überhaupt besteht. Patienten müssen (speziell im HKL) nicht nur medizinisch vorbereitet werden (u.a. Aufklärung), sondern bereiten sich auch selber seelisch und moralisch auf einen Eingriff vor. Beides ist hier u.U. nicht mehr gegeben resp. nur eingeschränkt möglich.

Pufferzeiten (Variante NE3) stellen Belegungen im Terminkalender dar, welche eine Terminvergabe zu diesen Zeiten verhindern. Bei der Ressource entstehen damit in der Abarbeitung potentiell Leerstände zwischen den einzelnen Maßnahmen. Entgegen der Aufschläge auf die Planwerte könnten die Puffer gezielt in Menge und zeitlicher Länge im Tagesplan gestreut werden. Auf diesem Wege könnten die Puffer, mit einer entsprechenden höheren Anzahl oder längeren Zeit, auch einzuschiebende Patienten am Nachmittag, bei wenigen verbleibenden Patienten, noch kompensieren. Es gilt in Bezug auf die Puffer zu ermitteln, wann diese im Tagesplan liegen und in welchem zeitlichen Umfang sie anzusetzen sind, um die Terminabweichungen zu minimieren, bei gleichzeitig möglichst minimalen Leerlaufzeit, wenn keine Patienten einzuschieben sind. Unter dem Gesichtspunkt der höheren Flexibilität der Planung von Puffern, bei gleichzeitig zu erwartender höherer Granularität der Pufferelemente im Vergleich zu einer Reservierung, erscheint diese Variante als zielführend.

Im Folgenden wird nun, basierend auf den bisherigen Ausführungen in diesem Abschnitt, ein Ansatz unter Verwendung von patientengruppenbezogenen Reservierungen in den Terminkalendern der Funktionsbereiche EKG, ECHO und dem OP-Bereich HKL beschrieben. Der Ansatz geht auf die Berücksichtigung von nicht-elektiven Patienten und Notfälle in der Terminplanung in Form von Pufferzeiten nach der Variante NE3 ein und ist Grundlage der weiteren Arbeit. Hierbei stützt sich der Ansatz auf folgende Hypothesen:

1. Werden in dem Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche, im Vorfeld der elektiven, stationären Aufnahmen, patientengruppenbezogene Reservierungen eingestellt, sind die Maßnahmen dieser Patienten schneller umsetzbar und für die Funktionsbereiche besser planbar.
2. Werden in dem Terminkalender der Funktionsbereiche, im Vorfeld der elektiven Ambulanzbesuche, patientengruppenbezogene Reservierungen für dann (nicht-elektive) Folgetermine eingestellt, sind die Maßnahmen schneller umsetzbar und für die Funktionsbereiche besser planbar (quasi-elektiv).
3. Werden Pufferzeiten für Notfälle (von intern/extern) in der Terminplanung der OP-Bereiche berücksichtigt, ist eine verlässlichere Planung und eine höhere Termintreue möglich.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Der vorliegende Ansatz besteht darin, für die elektiven, stationären und ambulanten Aufnahmen im Soll-Modell, in einem noch zu definierenden Umfang, „vorsorglich“ patientengruppenbezogene Reservierungen in den Terminkalendern der Funktions-/OP-Bereiche (EKG/ECHO/HKL) vorzunehmen. Eine Reservierung definiert hier eine oder mehrere aufeinander folgende Termineinheiten (Terminslots) im Terminkalender. Elektive Zugänge der kard. Ambulanz stellten bis dato für die nachgelagerten Funktionsbereiche nicht-elektive Patienten bezogen auf die sich zum Ambulanztermin ergebenden Maßnahmenanforderungen dar. Diese Patienten haben zwar einen Termin für die kard. Ambulanz, aber keinen Termin für die im Rahmen dessen auftretenden Folgemaßnahmen in den Funktionsbereichen. Durch die Reservierungen werden diese Patienten zu „quasi-elektiven“ Patienten in der Planung der Funktionsbereiche. Jeder der aufgeführten Patientengruppen kann im Weiteren nur die der jeweiligen Gruppe zugeordneten Reservierungen nutzen. Ebenso werden, in einem noch zu definierenden Umfang, in die Terminkalender der OP-Bereiche Terminslots als Puffer für Notfälle eingestellt. Diese Puffer werden durch die Notfälle nicht direkt belegt, sondern stellen Leerzeiten im Ablauf dar. Ein Puffer entspricht einer Termineinheit. Mehrere Puffer können sich zu einem Terminblock verbinden.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht das hier verfolgte Prinzip der Terminreservierung grafisch (siehe Abb. 111). Hierbei wird auf die möglichen Szenarien abgestellt, für welche Reservierungen oder Puffer eingestellt werden.

Es wird aufgezeigt, wo die verschiedenen Reservierungstypen auftreten können und welche Bereiche (Patientengruppen) auf die abgegrenzten Reservierungstypen zugreifen dürfen. Konkret werden Reservierungen für elektive Aufnahmen der kard. Ambulanz und elektive Aufnahmen der kard. Stationen eingestellt. Letztere nur für Maßnahmen zur Abklärung (Voruntersuchungen).

Bezogen auf die spätere Optimierung stellt sich die grundsätzliche Frage, ob jeder Reservierungstyp in jedem Funktions-/OP-Bereich anzuwenden ist und ob es in jeder beplanten Ressource Pufferzeiten bedarf. Aus jetziger Sicht ist dem nicht so. So wurde bereits ausgeführt, dass es in den Funktionsbereichen ECHO und EKG keine eingehenden Notfälle gibt. Somit kann in deren Planung auf Puffer verzichtet werden. Ebenso ist zu hinterfragen, ob die einzustellenden Reservierungen resp. Puffer für jeden Tag individuell geplant werden oder für alle Tage in gleicher Weise aufgestellt und angewendet werden. Letzteres birgt das Risiko, dass etwaige Abweichungen, welche sich unter der Woche ergeben, ggf. nicht ausreichend berücksichtigt werden können. Drüber hinaus würden ggf. unterschiedliche

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Ausprägungen in den Öffnungszeiten unter der Woche z.B. in Bezug auf den Freitag nicht berücksichtigt werden. Daher wird die Planung eines jeden einzelnen Tages für sich angestrebt. Zunächst wird aber in der Betrachtung in Montag, Dienstag bis Donnerstag und Freitag differenziert. Sofern sich später das Erfordernis ergibt, jeden Wochentag einzeln zu betrachten, kann dies nachgezogen werden.

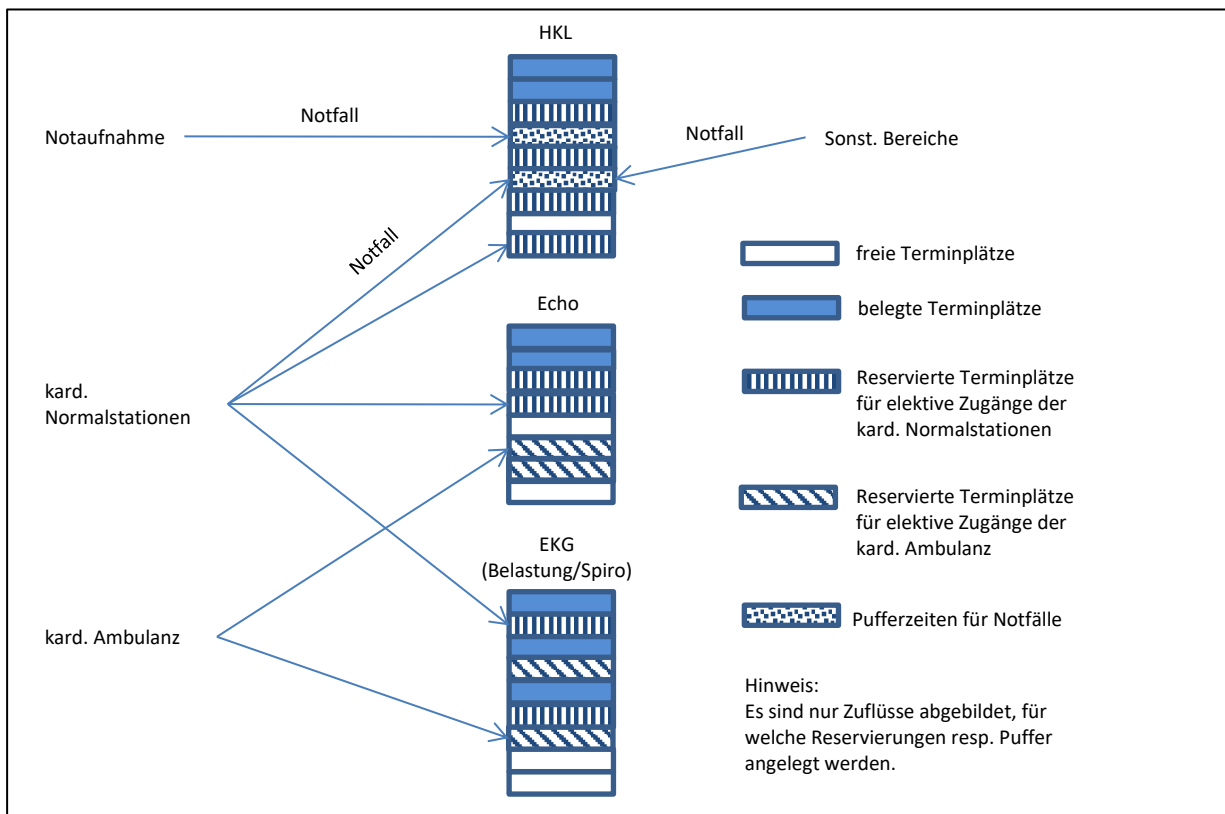


Abb. 111: Visualisierung des Reservierungskonzeptes

Als Rahmen und Wirkungsbereich für den Planungsalgorithmus wird festgehalten:

- Bestimmung der Anzahl und der zeitlichen Lage der Reservierungen je Reservierungstyp und Wochentag in den Terminkalendern der Funktions-/OP-bereiche.
- Bestimmung der Anzahl und der zeitlichen Lage der Pufferzeiten für Notfälle, je Wochentag in den Terminkalendern des OP-Bereichs (HKL).

Reservierungen werden modellseitig unter Berücksichtigung von Terminrestriktionen, wie Öffnungs- und Pausenzeiten, vorgenommen. Die Reservierungen in den Funktions-/OP-Bereichen werden initial zum Simulationsstart in die Terminkalender gemäß der Planung eingestellt. Im Weiteren wird diese Belegung der Optimierung unterworfen. Ebenso wird mit den Puffern für Notfälle verfahren.

Bezogen auf den hier geschilderten Ansatz, wurde die Terminvergabelogik im Modell erweitert¹⁰⁵. Zum Zeitpunkt der Terminanfrage wird im Modellablauf zunächst auf die den anfragenden Patiententypen entsprechenden, reservierten Termineinheiten zugegriffen. Sind diese aufgebraucht, oder ein freier Termin vor diesen verfügbar, werden reguläre, freie Termineinheiten belegt. Darüber hinaus wird festgehalten, dass Reservierungen verfallen, sofern diese nicht genutzt werden. Damit führen diese im Falle der nicht Nutzung zu einer freien Ressource und nicht-elektive Patienten könnten im Ablauf eingeschoben werden.

Abschließend sei noch auf die Möglichkeit hingewiesen, dass modellseitig die Planwerte zur Determinierung der Länge eines Termins parametrisiert sind (siehe Unterabschnitt 9.11 (e)). Die im Rahmen der Datenerhebung ermittelten Werte zur Dauer der Maßnahmen können nun im Soll-Modell hinterlegt werden, um die Terminabweichung zu reduzieren resp. die Termintreu zu erhöhen. Grundsätzlich kommt die Aufgabe zur Reduzierung der Terminabweichungen nach obigen Ausführung den Pufferzeiten zu (Variante NE3). Dennoch wird Potential auch in den Planwerten gesehen, da diese im Realsystem überwiegend als subjektive Schätzungen resp. historisch entwickelt geschildert wurden.

(d) Zusammenfassung - Rahmen des Optimierungsalgorithmus

Als Rahmen für den Planungsalgorithmus wird zusammenfassend festgehalten:

- Aufnahmetermine für elektive Patienten der kard. Stationen und kard. Ambulanzen (exkl. prästationäre Patienten) werden durch den Planungsalgorithmus bestimmt.
- Aufnahmetermine werden über die vom Planungsalgorithmus aufgestellte Terminvergaberegul determiniert. Hierbei wird der FCFS-Regel gefolgt.
- Aufnahmetermine können je nach Ausgestaltung der Terminvergaberegul auch mehrfach vergeben werden.
- Maßnahmentermine werden immer über den Terminkalender vergeben, auch für Patienten von extern, im direkten Zugang auf die Funktions-/OP-Bereiche.
- Es können vom Optimierer spezifische, patientengruppenbezogene Reservierungen in die Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche eingestellt werden, welche nur durch die jeweiligen Patientengruppen beansprucht werden können.

¹⁰⁵ Auf Modellebene betrifft dies die Bausteine „MakeAppointment“ für elektive und nicht-elektive Patienten (siehe Anhang A55 0).

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

- Es können im OP-Bereich HKL vom Optimierer spezifische, nicht patientengruppenbezogene Puffer eingestellt werden, welche nicht durch Patienten direkt beansprucht werden können.
- Reservierungen und Puffer können vom Optimierer in der zeitlichen Lage und Menge innerhalb der Funktions-/OP-Bereiche variiert werden. Wobei Puffer nur in den OP-Bereichen zur Anwendung kommen.

Damit stellt die Planung jeweils einen „Masterplan“ für die Terminvergaberegeln und die Reservierungsplanung dar, welche im Modell angewendet wird.

10.5 Patientenauswahl

Die Patientenauswahl ist eine ad-hoc Auswahlentscheidung. Im Ist-Modell wird diese regelbasiert getroffen. Die Auswahlregel basiert zunächst auf einem first-come, first-served (FCFS) Prinzip (wer zuerst kommt, wird zuerst abgearbeitet). Sickinger [2008, S. 48] hat diesbezüglich festgestellt, dass bei der Patientenauswahl die FCFS-Regel, bezogen auf die im Vergleich stehenden Auswahlverfahren, besser ist. Es wurden absolut betrachtet, nur geringfügige Abweichungen zwischen den Ergebnissen festgestellt. Zudem wird die FCFS-Regel als die fairste gegenüber den Patienten und die am einfachsten in der Praxis umzusetzende erklärt. Daher wird auch hier an dieser Auswahlregel für das Soll-Modell festgehalten. Davon abweichend werden im Ist-Modell Notfälle in der Auswahl höher priorisiert und es gibt die Möglichkeit nicht-elektive Patienten bei freier Ressource einzuschieben. Speziell das Einschleusen von nicht-elektiven Patienten könnte unter Umständen die Optimierung beeinflussen, da es sich bei dem Vorgehen um eine Sub-/Selbstoptimierung handelt. Dieses Vorgehen, wie auch die höhere Priorisierung der Notfälle, ist gängige Praxis im Realsystem und wird als Ausgangsbasis der Optimierung im Soll-Modell beibehalten. Die Bedingungen unter denen nicht-elektive Patienten eingeschoben werden können (siehe Anhang A58 (g)) wie auch die getroffenen Festlegungen zur Priorisierung innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten werden im Soll-Modell ebenso beibehalten.

Die im Modell vorgenommene Erweiterung um das Reservierungskonzept beeinflusst die Auswahlentscheidung nicht. Im Soll-Modell ermöglicht das hinterlegte Reservierungskonzept (vorsorglich), Termine für zukünftig auftretende Patienten aus der kard. Ambulanz in den nachfolgenden Funktionsbereichen einzustellen, um diese damit planbarer zu machen. Dies beeinflusst zwar nicht die Auswahlentscheidung im Soll-Modell, wohl aber das Ergebnis dieser. Patienten der kard. Ambulanz können die entsprechenden Reservierungen nutzen und gehen mit der Beanspruchung der Reservierung nun zum Termin als elektive Patienten in die Auswahlentscheidung

ein, wohin gehend diese sonst nicht-elektiven Status hatten. Dadurch reduziert sich potentiell das Risiko im Modell, dass Patienten der kard. Ambulanz in den Warteschlangen der Funktionsbereiche (als nicht-elektive Anforderungen) über Nacht hängenbleiben resp. im Realsystem ambulante Patienten auf einen anderen Tag verschoben werden.

Das im Ist-Modell hinterlegte Auswahlverfahren bleibt somit im Soll-Modell in allen Punkten unverändert bestehen.

10.6 Parametrisierung des Soll-Modells

In diesem Abschnitt wird auf die Parametrisierung des Soll-Modells eingegangen. Hierbei wird auf die Änderungen zum Ist-Modell abgestellt. Teils ist eine konkrete Parameterwahl noch nicht möglich, weil dies dem im Späteren aufzustellen Szenarien zuvorkommen würde. Dahingehend werden nur die möglichen Parameterwerte aufgeführt. Auch werden diverse zuvor angesprochenen Parameter und deren Wertausprägung, im Speziellen zum Planungskonzept, erst im Rahmen der Adaption des Genetischen Algorithmus und der Erweiterung zum Optimierungsmodell erläutert und aufgeführt.

(a) Zugangsplanung und Patientenrohdaten

Im Soll-Modell bleibt es bei der zufälligen Zuweisung von Patientenrohdaten (Patientenverläufen). Im direkten Vergleich zum Ist-Modell ändert sich die Anzahl an elektiven Patientenzugängen, die Zeitpunkte und die Art wie diese bestimmt werden. Im Soll-Modell werden hierfür nicht mehr Verteilungsfunktionen bzw. Zeitpunkte aus den Rohdaten (Zugangszeitpunkte des Realsystems) genutzt, sondern sie werden nunmehr durch den Optimierer bestimmt. Zu diesem Zweck wird im Modell der Systemparameter „DB_Source_OpMode“ auf „DB“ resp. 1 in der Parameterdatei eingestellt.

(b) Zu frühes/verspätetes Auftreten der Patienten und no-show

Das Soll-Modell wurde für Zugänge von extern, um die Möglichkeit des zu frühen/verspäteten Auftretens oder dem Ausbleiben (no-show) erweitert (siehe Anhang A82). In dem Zusammenhang wurden zusätzliche Parameter auf Systemebene implementiert und finden sich in der Gruppe „LATE_NO_SHOW“. Für jede Quelle werden hier die Parameter „NoShow_Probability“, „Timeliness_Max“, „Timeliness_Min“ und „Timeliness_Mean“ geführt. In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Einrichtung 3 ermittelten Parameter für die Unpünktlichkeit der Patienten (in Minuten) sowie die Wahrscheinlichkeit für ein no-show Ereignis in Prozent, bezogen auf den angegebenen Stichprobenumfang, aufgeführt (siehe Tab. 62). Die Unpünktlichkeit der Patienten wird hier in Minuten angegeben. Im Modell

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

werden die aufgeführten Werte als normalverteilt angenommen. Die entsprechende Hypothese auf eine Normalverteilung konnte für die kard. Ambulanz im Kolmogorow-Smirnow-Test (0,05 Signifikanzniveau) nicht widerlegt werden. Für die Patienten der kard. Ambulanz konnte im Realsystem kein Wert ermittelt werden, bezogen auf die Wahrscheinlichkeit einer no-show, da Terminabsagen nicht dokumentiert wurden. Hier kann im Späteren mit Schätzwerten gearbeitet werden. An dieser Stelle erfolgt aber keine derartige Schätzung.

Beschreibung	N	Min	Max	Mittelwert	St.Abw.	Verteilungsfunktion	Fehler 1. Ordnung
Aufnahmen der kard. Ambulanz							
Unpünktlichkeit elektiver Patienten der kard. Ambulanz	206	-58	55	-16,2233	16,2525	Normal	.175
no-show						-	
Quelle: Erhebungsbogen kard. Amb. (2012)							
Aufnahmen der kard. Stationen							
Unpünktlichkeit elektiver Patienten (vor 11 Uhr oder nach 12 Uhr aufgenommen)	952	-242	240	-24,4643	-11,0000	Normal	.000
Unpünktlichkeit bei den stationären Aufnahmen (vor 11 Uhr oder nach 12 Uhr)	2534					33,57%	
Stationäre Aufnahmen	355						
davon no-show	14					3,94%	
Quelle: empirische Datenerhebung (2012)							

Tab. 62: Unpünktlichkeit und no-show Wahrscheinlichkeit im Realsystem (Einrichtung 3)

Ein weiteres Problem stellt eine Gegebenheit im Realsystem dar. Da im Bereich der stationären Aufnahmen keine konkreten Aufnahmetermine vergeben werden, sondern nur ein Zeitfenster, konnten die hier aufgeführten Terminabweichungen nur erhoben werden in Bezug auf Abweichungen von dem Terminfenster. Im Modell wird auf der Basis eine als normalverteilt angenommene Zufallsverteilung auf die prozentual ermittelten unpünktlichen Patienten (33,75%) angewendet und für diese im Modell ein zeitlicher Aufschlag resp. Abschlag vorgenommen, um die Dauer einer Abweichung vom Aufnahmetermin zu erzeugen. Um diese zeitliche Dauer der Abweichung zu ermitteln, wurden aus den Realdaten nur die Patienten die außerhalb des Terminfensters auftraten herangezogen und die Zeitspanne bis zum Beginn/Ende des Terminfensters als Bezugsgröße genommen.

(c) Parametrisierung der Nutzung von Reservierungen

Damit modellseitig im Zuge der Terminanfragen auch Reservierungen genutzt werden können, wurden auf Systemebene in der Gruppe „Reservation“ die zugehörigen Parameter zusammengefasst. Bezogen auf jeden Bereich, welcher Reservierungen beanspruchen kann, finden sich hier die Parameter um die Art der Beanspruchung festzulegen. Je Bereich und Entsender sind die Parameter „AlsoUseFreeSlots“ und „SlotType“ vorgehalten. Ersterer legt fest ob nur Reservierungen genutzt werden dürfen (Wert 1) oder in der Anfrage der nächst mögliche Termin inklusive der eingestellten Reservierungen adressiert werden (Wert 0). Der zweite Parameter definiert die Art der Reservierungen, auf welche zugegriffen

werden darf. Wie ausgeführt wurde, kann sich dies unterscheiden. Modellseitig können hier die Werte „Free“ (Wert 3) für den Ist-Ablauf eingestellt werden, zu dem nur mit „Free“ gekennzeichnete Termineinheiten im Terminkalender angefragt werden. Weiterhin kann „RES_MKARD“ (Wert 4) und „RES_KSTAT“ (Wert 5) ausgewählt werden. Ersteres bezeichnen Reservierungen für ambulante, letzteres für stationäre Patienten.

(d) Reihenfolge von Maßnahmenanforderungen und Parameterwerte zur Terminvergabe

Bezogen auf die Reihenfolge der Maßnahmenanforderungen, wurde bereits im Abschnitt 10.4 (c) ausgeführt, dass die Reihenfolge der Maßnahmen, wie diese zum Ambulanztermin durchgeführt werden sollen, auf die Variante A1 und A2 abgestellt werden kann (siehe auch Anhang A55 0):

Variante A1: Reihenfolge entspricht den Vorgaben des Realsystems

Variante A2: Reihenfolge ist abhängig von der Ressourcenverfügbarkeit

Der Systemparameter „AMBULANZ_SequenceType“ kann im Soll-Modell auf „Free“ resp. 1 in der Parameterdatei eingestellt werden, für die Variante A2.

Für elektive Patienten der kard. Stationen wird im Soll-Modell auf die Variante S2 abgestellt (siehe Abschnitt 10.4 (c) und Anhang A55 0) Damit werden nicht-akute HKL-Maßnahmen erst terminlich angefragt, wenn die angesetzten Voruntersuchungen (EKG/Echo) zur Abklärung der HKL-Maßnahme durchgeführt wurden und die Befunde vorliegen (Vorgabe im Realsystem). Der Systemparameter „KARDSTAT_PREEXAM_OPMODE“ wird von „Request all in one iteration“ auf „seperate Request for HKL“ gesetzt. In der Parameterdatei entspricht dies eines Umstellen des Wertes von 1 auf 0.

(e) Planwerte für Maßnahmen

Wohingegen das Ist-Modell auf die im Realsystem Anwendung findenden Planwerte abstellt, kann im Soll-Modell auf die erhobenen Mittelwerte als neuen Planwert im Soll-Modell abgestellt werden. Die Planwerte sind in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt (siehe Tab. 63). Änderungen sind in der Spalte Planwerte Soll-Modell dick hervorgehoben.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Benennung der Maßnahme	Planwert Ist-Modell	Mittelwerte Realsystem*	Stichprobenumfang	Planwert Soll-Modell
EKG-Belastung	00:10	00:17	296	00:10
EKG-Spiro	00:20	00:31	45	00:30
Echo-TTE	00:15	00:18	202	00:15
Echo-TEE	00:30	00:21	48	00:30
Echo-TSE	00:45	00:38	2	00:45
HKL-Coro inkl. evtl. enthaltener PTCA, Biopsie etc.	01:00	01:05	195	01:00
HKL-Re-/Li-Katheter	01:00	01:19	14	01:00
HKL-PTCA	01:30	01:26	19	01:30
HKL-PTA	01:00	01:52	117	01:30
HKL-TAVI	02:30	03:01	8	02:30
HKL-EPU Stimulation	01:30	01:36	24	01:30
HKL-MitraClip	03:30	07:22	5	03:30
HKL-Ablation (einfach)	01:00	01:31	6	01:30
HKL-Ablation (komplex)	03:00	03:18	10	03:00
HKL-Sonstige (PFO-/LAA-Okkluder, ICD)	02:00	01:56	17	02:00

Tab. 63: Gegenüberstellung der Planwerte im Ist- und Soll-Modell

Trotz einer hohen Differenz zwischen Planwert und ermittelter Dauer, wird für die Maßnahmen HKL-MitraClip keine Änderungen vorgenommen. Der Stichprobenumfang wird hierauf bezogen als zu gering eingeschätzt. Da nach wie vor keine Termine für Notfälle vergeben, sondern Puffer in der Planung eingesetzt werden, ist hier kein Planwert für die Dauer dieser aufgeführt. Die Umsetzung der Änderungen erfolgt durch Anpassung der Systemparameter.

(f) Reservierung von Stationsbetten für prästationäre Patienten am Tag der Wiederaufnahmen

Der Zeitpunkt der Wiederaufnahmen prästationärer Patienten wird im Soll-Modell mit 9:00 Uhr fest eingestellt. Dies erfolgt über den Parameter „KARDSTAT_WAUFP_ArrivalTime“. Die Blockierung eines Bettes erfolgt ab dem Tageswechsel. Der Parameter „KARDSTAT_WAUFP_PreBookOffset“ wird diesbezüglich auf den Wert 0 eingestellt.

10.7 Validierung und Verifizierung der Implementierungen im Soll-Modell

Im Soll-Modell wurden Erweiterungen des Ist-Modells vorgenommen und Parameterwerte verändert. Dennoch ist hier keine erneute umfangreiche Validierung erforderlich, da das Ist-Modell an sich zwar erweitert, aber im Bestehenden nicht verändert wurde. Das bedeutet, es wurden nur Veränderungen resp. Erweiterungen am Modell vorgenommen, welche durch Parametrisierung ein Soll-Verhalten auslösen (z.B. Planwerte zu Maßnahmendauern, Einlesen von Planwerten aus der Datenbank, Nutzung von Reservierungen oder Varianten zur Reihenfolge der Terminanfragen. Teils sind diese „Schalter“ bereits in der Implementierung des Ist-Modells enthalten.

10. Umsetzung der Planung im Soll-Modell und Ausrichtung auf den Optimierungsalgorithmus

Zur Validierung konnte somit ein Ablauftest durchgeführt werden, um zu prüfen, ob das Soll-Modell mit den vorliegenden Änderungen in der Ist-Ausprägung nach wie vor die gleichen Ergebniswerte liefert. Dies war im Test der Fall. Ansonsten wurden Implementierungen, sofern möglich, losgelöst vom Modell auf ihre korrekte Funktionalität hin getestet und es wurde dediziert überprüft, ob die Anpassungen und verschiedenen Parametereinstellungen die spezifizierten Ergebnisse liefern, speziell in Bezug auf die Reservierungen. Dahingehend wurde geprüft ob die Patienten die testweise eingestellten Reservierungen entsprechend ihrer Zuordnung korrekt nutzen. Darüber hinaus wurde das Auslesen der Planung aus der Datenbank getestet.

Einige der zurückliegenden Ausführungen zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell sind konzeptioneller Art und dienen der Spezifikation des Verhaltens des Optimierers. Unter diesem Gesichtspunkt werden diese Sachverhalte erst im Späteren implementiert, getestet und validiert.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Als Optimierungsalgorithmus wird in der vorliegenden Arbeit ein Genetischer Algorithmus eingesetzt (siehe Kapitel 8 zur Auswahlentscheidung). Hierbei handelt es sich um eine Metaheuristik, welche einer problemspezifischen Adaption bedarf (siehe Abschnitt 4.9). Im Folgenden werden nun die erforderliche Adaption und der Einsatz eines Genetischen Algorithmus zur Umsetzung des beschriebenen Planungskonzepts für die abteilungsübergreifende Termin- und Reihenfolgeplanung beschrieben. Die Implementierung dessen erfolgte durch T. Severin [2014, S. 45 ff.] im MLDesigner.

11.1 Kodierung der Planung

Zunächst wird von einer haploid Kodierung ausgegangen, wie bei der Mehrheit der Anwendungsfälle [Mitchell 1996, S. 5, 17]. Ein Chromosom verfügt damit über genau einen DNA-Strang. Viele Genetische Algorithmen benutzen, u.a. aus der historischen Entwicklung heraus, Bit-Strings (z.B. 1001010111) im Chromosom zur Problemkodierung [Mitchell 1996, S. 117 f.]. Antonisse [1989] wirft die Frage auf, ob nicht alternative Repräsentationen zur Kodierung ebenso geeignet sein können. Darauf folgende Studien von Wright [1991] sowie Janikow & Michalewicz [1991] zeigen im direkten Vergleich, dass alternative Repräsentationen sogar bessere Lösungen in kürzerer Zeit finden können. Dieses Erkenntnis wird aber in Abhängigkeit des Problems und der Abstraktionsebene des Genetischen Algorithmus gestellt. Davis [1991, S. 56 ff., 63], ein sehr erfahrener Wissenschaftler auf dem Gebiet der Anwendung von Genetischen Algorithmen auf reale Problemstellungen, empfiehlt eine Kodierung zu wählen, welche die möglichst natürliche für die jeweilige Problemstellung ist [Mitchell 1996, S. 118]. Der Algorithmus ist dann dahingehend auszurichten, diese Kodierung zu nutzen. Solche Genetischen Algorithmen bezeichnet Davis als „Hybride Genetische Algorithmen“ (hybride genetic algorithm) [Davis 1991, S. 58]. Wie Davis ferner aufzeigt, können solche hybride Algorithmen bessere Ergebnisse und bessere Performance aufweisen [Davis 1991, S. 59, 63, 68 ff.]. Der Empfehlung von Davis wird in der vorliegenden Arbeit gefolgt und eine Repräsentation in Anlehnung an die reale Ausprägung gewählt.

Es wurde in den zurückliegenden Ausführungen spezifiziert, dass der Algorithmus die Zugangsplanung, die Terminvergabe für Aufnahmen der kard. Ambulanz und kard. Stationen sowie die Reservierungsplanung in den Funktions-/OP-Bereichen vornimmt. Damit stellt sich die grundlegende Frage, wie dies im Chromosom abgebildet resp. in der Abbildung differenziert wird.

Sind mehrere Variablen auf einem Chromosom repräsentiert, die nicht homogen oder miteinander verknüpft sind, wird von multi-component Chromosom als spezielle Form der 1-Chromosomenrepräsentation gesprochen [Pierrot & Hinterding 1997, S. 138]. Dies erhöht die Komplexität der Repräsentation und damit verbunden die Komplexität der genetischen Operatoren [Pierrot & Hinterding 1997, S. 138]. Davidor [1991] setzt diesen Ansatz zur Optimierung einer Roboter-Arm-Steuerung ein. Hierbei entsprechen n-Tupel je einer Arm-Konfiguration [Davis 1991, S. 149]. Er folgt damit der Empfehlung von Davis zur Hybridisierung (siehe [Davis 1991, S. 56 ff., 63, 68 ff.]). Es bedurfte daraufhin jedoch spezieller Crossover- und Mutationsoperatoren [Davidor 1991, S. 77 ff.]. Alternativ kann in Bezug auf die hier vorliegende Problemstellung jeder Zugangspunkt, resp. die Reservierungsplanung, auf einzelnen, unabhängigen Chromosom repräsentiert werden. Dies würde einem Multichromosomenansatz entsprechen, wie Juliff [1993], Pierrot & Hinterding [1997] oder Cavill et al. [2005] dies anwenden. Cavill et al. [2005] untersuchen, welchen Effekt und potentiellen Nutzen die Repräsentation in Multichromosomen in Bezug auf komplexere und effektivere Programme entfalten. Es wird ausgeführt, dass sich Multichromosomen hierbei als vorteilhafter erwiesen haben. Zu gleichem Schluss kommen auch Pierrot & Hinterding [1997], welche dies an einem gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblem testen sowie Juliff [1993] am praktischen Beispiel zur Optimierung einer LKW-Beladung. Der Anwendungsbezug, und damit der Grund, warum die Kodierung auf mehreren Chromosomen erfolgt, können sich hierbei durchaus unterscheiden. So können Multichromosomen eingesetzt werden, um unterschiedliche Optimierungssachverhalte abzubilden, bei denen sich die Chromosomen auch strukturell unterscheiden können. Oder, wie bei Pierrot & Hinterding [1997], um mittels gleich strukturierter Chromosomen den Suchraum zu partitionieren. Weitere Ansätze zum Einsatz von Multichromosomen finden sich bei Hinterding [1997] zur Lösung des Zuschnittproblems (Cutting-Stock), bei Ronald [1997] zur Lösung eines modifizierten Travelling Salesman Problems, bei Wight & Zhang [2005] zum Systementwurf einer Lüftungsanlage (heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC)) sowie bei Kerati et al. [2009] zur Optimierung der Crew-Einsatzpläne einer Fluglinie. Im konkreten Bezug auf die Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten, lassen sich bisher keine multichromosomalen Anwendungsfälle finden. Dennoch wird der Ansatz als vielversprechend aufgegriffen und diesbezüglich im Weiteren genutzt, um die Zugangsplanung für jeden Engpassbereich, die Vergabe von Aufnahmeterminen wie auch die Reservierungsplanung für jeden zu planenden Funktions-/OP-Bereich auf einem dedizierten Chromosom abzubilden (Dekomposition). Damit ist es möglich, einfache genetische Operatoren, in Bezug auf die dann einfach strukturierten und nun innerhalb der Chromosomen homogenen Gene, einzusetzen. Ferner lassen sich so

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

auch darüber hinausgehende, individuelle Gegebenheiten der Bereiche leichter in den separierten Chromosomen abbilden.

Im nun Folgenden wird die konkrete Umsetzung - die Kodierung des Erbgutes - in Bezug auf die drei definierten Planungsebenen beschrieben. Grundlage dessen sind die Spezifikationen aus Kapitel 10.

11.1.1 Zugangskontrolle

Im Rahmen der Zugangskontrolle werden elektive Patientenzugänge nun im Soll-Modell nicht mehr über Verteilungsfunktionen in den Quellen des Modells erzeugt, sondern mittels des Genetischen Algorithmus über Chromosomen geplant (siehe Unterabschnitt 9.7.2 und Abschnitt 10.3 zum Vergleich). Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick der Zugangspunkte und stellt zugleich die Abbildungsmethodik im Ist- und Soll-Modell gegenüber (siehe Abb. 112).















	Zugangsplanung					Störgrößen/Grundauslastung	
Patienten je Bereich	kard. Ambulanz	kard. Stationen 1+2	EKG	Echo	HKL	Notaufnahme	Sonstige Bereiche
Abbildung Ist-Modell	Tabelle 	Tabelle 	Tabelle 	Tabelle 	Tabelle 	Tabelle 	Tabelle 
Abbildung Soll-Modell	Chromosom 	Chromosom 	Chromosom 	Chromosom 	Chromosom 	Tabelle 	Tabelle 
Kürzel	CZ01	CZ02+CZ03 CZ07 (prästationär)	CZ04	CZ05	CZ06		
Pfad im Modell	15	1, 2, 16	12	9	5	4, 8, 11, 14	3, 6, 7, 10,13

Abb. 112: Gegenüberstellung: Abbildung der Zugangsplanung im Ist-/Soll-Modell

Für jeden planungsrelevanten Zugangspunkt werden nun einzelne Chromosomen zur Beplanung eingesetzt. In Ergänzung sind in der Abbildung für die einzelnen Chromosomen die zugehörigen Pfade und eine eindeutige Bezeichnung (Kürzel) aufgeführt, unter welchem die Chromosomen im Weiteren geführt werden.

Gegenstand der Zugangsplanung ist die Festlegung des Umfangs an Patienten je Zugangspunkt und eine Zuordnung auf einen Wochentag, zu dem der Zugang laut Planung erfolgen soll.

(a) Chromosomen für die allgemeine Zugangsplanung (CZ01-CZ06)

Der Empfehlung von Davis [1991] wird in der vorliegenden Arbeit gefolgt und eine Repräsentation für die Chromosomen der Zugangsplanung (CZ01-CZ06) in Anlehnung an die reale Ausprägung gewählt. Damit ist der Aufbau eines Zugangschromosoms im resultierenden hybriden Genetischen Algorithmus bereits in einer recht einfachen Form möglich (siehe Abb. 113).

Planungs-ID	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	16	17	18	19
Tag	Mo.	Mo.	Mo.	Di.	Di.	Di.	Di.	Di.	Di.	Mi.	Mi.	Mi.	Mi.	Do.	Do.	Do.	Fr.

Abb. 113: Aufbau eines Chromosoms zur Abbildung der allgemeinen Zugangsplanung

Zur Identifizierung eines jeden Patienten wird als Planungs-ID eine fortlaufende Nummer vergeben. Jede Spalte im Chromosom repräsentiert damit einen Patienten. Die Länge des Chromosoms gibt in der Folge Auskunft über die Gesamtanzahl an geplanten Zugängen. Je Patient wird im Aufbau des Chromosoms in der dortigen Zeile Tag der Wochentag vermerkt, zudem der Zugang des Patienten geplant erfolgt. Der späteren Manipulation durch den Optimierer unterliegt in diesem Chromosomenaufbau lediglich der Tag des Zugangs. Der beispielhaft dargestellte Aufbau ist für die Zugangschromosomen CZ01-CZ06 identisch (siehe [Severin 2014, S. 48 ff.] zur Implementierung).

Mit Hilfe des Parameterwerts „InitLength“ wird die initiale Länge des Chromosoms und damit die Anzahl der Patienten zu Beginn der Optimierung angegeben. Die Länge des Chromosoms ist im weiteren Verlauf variabel und wird der Optimierung unterworfen (siehe Unterabschnitt 11.2.2 zum Aufbau des Operators zur Längenvariation. Alternativ kann zur Erzeugung einer Startpopulation die Länge der Chromosomen über den Parameter „RandomInitPopulation“ (Wert = „true“) rein zufällig innerhalb der parametrisierten Grenzen erzeugt werden. Als obere und untere Grenzen sind die Parameter „CZ0x_MinLength“ und „CZ0x_MaxLength“ je Chromosomen parametrisiert [Severin 2014, S. 58 f.] (siehe Tab. 64).

Benennung des Parameters	Parameterwert	Benennung des Parameters	Parameterwert
CZ01_MinLength	0	CZ04_MinLength	0
CZ01_MaxLength	30	CZ04_MaxLength	0
CZ01_InitLength	25	CZ04_InitLength	0
CZ02_MinLength	0	CZ05_MinLength	0
CZ02_MaxLength	50	CZ05_MaxLength	0
CZ02_InitLength	25	CZ05_InitLength	0
CZ03_MinLength	0	CZ06_MinLength	0
CZ03_MaxLength	0	CZ06_MaxLength	0
CZ03_InitLength	0	CZ06_InitLength	0

Tab. 64: Parameter des GA für die allgemeine Zugangsplanung in den Chromosomen CZ01-CZ06

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Um für die Planung im ECHO, EKG und HKL die elektiven Zugänge für die Einrichtung 3 zu deaktivieren (siehe Abschnitt 10.4), werden die Parameter `InitLength`, `MinLength` und `MaxLenght` der Chromosomen CZ04, CZ05 und CZ06 jeweils auf 0 gesetzt. Damit sind diese Chromosomen quasi deaktiviert und erzeugen keine Zugänge.

Der Tag des Zugangs (Aufnahmetag) wird initial zufällig belegt und kann im Weiteren vom Optimierer verändert werden. Die repräsentierenden Genausprägungen sind im Beispiel mit dem Kürzel der Wochentage aufgeführt, Mo. (Montag) - Fr. (Freitag). Anstelle der hier gewählten Textausprägungen verwendet Severin [2014, S. 48] in der Implementierung Zahlen von 1 (Montag) bis 5 (Freitag) für die Wochentage. Dies ermöglicht im Späteren eine leichtere Handhabung und Umsetzung der genetischen Operatoren. Der Raum möglicher Genausprägungen ist für die einzelnen Zugangspunkte in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt (siehe Tab. 65). Scale (Skalierung) bezeichnet hierbei die kleinste Einheit, in welche der durch Minimal- (min) und Maximalwert (max) aufgespannte Zahlenraum in Bezug auf die Genausprägungen untergliedert werden kann.

Beschreibung	min	max	scale
kard. Ambulanz	1	5	1
kard. Stationen 1+2	1	5	1
EKG	1	5	1
ECHO	1	5	1
HKL	1	5	1

Tab. 65: Wertausprägungen für die Zugangspunkte

Da die Skalierung, wie auch der Minimalwert, für alle Zugangspunkte als gleich angesehen wird, bedarf es nur eines Parameters für die maximale Anzahl. Diese wird durch den Parameter „NumberOfWorkdays“ im Algorithmus hinterlegt und im Ausgangszustand mit 5 parametrisiert. Sofern eine Einbestellung auch an den Wochenenden Bestandteil der Optimierung sein soll, ist lediglich der Parameter auf den Wert 6, für inkl. Samstag, oder auf 7, für inkl. Samstag und Sonntag, zu setzen [Severin 2014, S. 48].

(b) Chromosom für die prästationäre Zugangsplanung (CZ07)

Im Folgenden werden der Chromosomenaufbau und die Kodierung bezogen auf die prästationäre Zugangsplanung erläutert. Hierbei kommen zwei Merkmale zum Tragen. Zum einen gibt es eine hier anzuwendende mengenmäßige Beschränkung von 7 Patienten je Woche, für welche diese Möglichkeit in Betracht kommt. Zum anderen gibt es unterschiedliche Pfade, auf denen die Patienten laufen können. Entweder auf Pfad 2 über die kard. Stationen (ohne Bettenbelegung) oder Pfad 16 über die kard. Ambulanz (siehe Abschnitt 10.3). Bedingt durch die zusätzliche Anforderung einer

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Mengenbegrenzung, wird ein eigenes Chromosom (Kürzel: CZ07) zur Planung prästationärer Patienten entworfen (siehe Abb. 114). Die über dieses neue Chromosom geplanten Zugänge stellen zusätzliche Patienten im Sinne der Zugangsplanung dar. Entgegen der bisher erläuterten Zugangschromosomen ist dieses Chromosom zur Laufzeit in der Länge nicht variabel. Die Länge repräsentiert hier die maximale Anzahl möglicher Zugänge. Über den Parameter „CZ07_Length“ wird die Längenbegrenzung mit 7 eingestellt. Das Chromosom wird zum Start der Planung in der definierten Länge initialisiert. Hiermit wird gewährleistet, dass das Chromosom im Späteren nur zulässige Lösungen erzeugt. Zugleich besteht die Möglichkeit andere Parameterwerte der maximalen Anzahl prästationärer Zugänge zugrunde zu legen.

Planungs-ID	01	02	03	04	05	06	07
Tag	Mo.	Mo.	Mo.	Di.	Di.	Di.	Di.
Pfad	0	2	0	0	0	0	16

Abb. 114: Chromosoms für die Planung prästationärer Patienten

Die Genausprägungen für den Pfad werden initial zufällig mit 0 belegt und können die Werte 0, 2 und 16 annehmen. Die 0 repräsentiert hierbei den Status, dass der Patient keinen Zugang zum System erhält (siehe [Severin 2014, S. 53 ff.] zur Implementierung).

11.1.2 Terminvergabe

Im Folgenden wird nun auf die Repräsentation und Vergabe von Aufnahmetermeninen durch den Planungsalgorithmus eingegangen. Im Speziellen wird die Kodierung der Terminreservierungen erläutert.

(a) Erweiterung der Chromosomen (CZ01-CZ03) zur Vergabe von Aufnahmetermeninen
Zugänge von extern, welche mit Zugangspunkt kard. Stationen oder kard. Ambulanz geplant werden, bedürfen vom Optimierungsalgorithmus eines konkreten Aufnahmetermins (Uhrzeit). Dies erfolgt über Terminvergaberegeln auf Wochenbasis (Masterplan). An diesen ausgerichtet werden schließlich die konkreten Termine vergeben. In Bezug auf die Terminvergaberegeln wird auf die drei spezifizierten Größen abgestellt (siehe Abschnitt 10.4 (a)):

- Größe des Anfangsblocks (n_1): Anzahl der Patienten, die zum ersten Aufnahmetermin einbestellt werden,
- Blockgröße (n_i): Anzahl der Patienten, die den i -ten Aufnahmetermin erhalten und
- Terminvergabe-Intervall (a_i): Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Aufnahmetermeninen.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Dies wird nun auf die Terminvergabe an ambulante (kard. Ambulanz) als auch stationäre Patienten (kard. Stationen) bezogen. Auf der Basis werden zwei Chromosomen entworfen, welche die kard. Ambulanz (CT01) und die kard. Stationen (CT02) repräsentieren (siehe Abb. 115).

Genbezeichnung	n_1	n_i	a_i	Mo_begin	Tu_begin	We_begin	Th_begin	Fr_begin	Sa_begin	So_begin
Genausprägung	1	1	15	450	510	510	510	570	510	510

Abb. 115: Chromosomenaufbau zur Terminvergabe über Terminvergaberegeln

Der Aufbau ist für beide Chromosomen identisch. Zunächst sind als Gene die spezifizierten drei Größen abgetragen. Darüber hinaus werden im Chromosomen als Gene der Beginn des Einbestellungszeitraums je Wochentag angefügt. Auch die Wochenenden sind zwar hier vorgehalten, werden aber nur dann aktiv, wenn in der Zugangsplanung an diesen auch Patienten eingeplant sind. Die Wochentage Dienstag bis Donnerstag werden im Chromosom separiert, erhalten aber in der Beplanung, der Spezifikation entsprechend, zunächst den selben Wert für die Beginnzeit. Eine differenzierte Betrachtung ist somit bei Bedarf im Späteren leicht umsetzbar.

Die Parameterausprägungen für die Terminvergaberegeln sind durch Minimal- und Maximalwerte nach oben und unten beschränkt. Der Scale-Wert gibt wieder die Skalierung im Bereich der möglichen Genausprägungen an (siehe Tab. 66).

Benennung des Parameters für CT01	Parameterwert	Benennung des Parameters für CT02	Parameterwert
Min_BlockSize_1_AMB	1	Min_BlockSize_1_STA	1
Max_BlockSize_1_AMB	5	Max_BlockSize_1_STA	5
Scale_BlockSize_1_AMB	1	Scale_BlockSize_1_STA	1
Min_BlockSize_n_AMB	1	Min_BlockSize_n_STA	1
Max_BlockSize_n_AMB	3	Max_BlockSize_n_STA	3
Scale_BlockSize_n_AMB	1	Scale_BlockSize_n_STA	1
Min_Interval_AMB	15	Min_Interval_STA	15
Max_Interval_AMB	30	Max_Interval_STA	30
Scale_Interval_AMB	15	Scale_Interval_STA	15
Min_Begin_AMB	450	Min_Begin_STA	450
Max_Begin_AMB	690	Max_Begin_STA	690
Scale_Begin_AMB	15	Scale_Begin_STA	15

Tab. 66: Parameterausprägungen für die Terminvergaberegeln

„BlockSize_1“ bezeichnet hierbei die Parameter in Bezug auf n_1 , „BlockSize_n“ die Parameter in Bezug auf n_i und „Interval“ in Bezug auf a_i . „Begin“ bezeichnet die Parameter bezogen auf den Beginn der Aufnahmezeit. Die jeweiligen Wertangaben zu den Beginnzeitpunkten sind auf Minutenbasis ab dem Tageswechsel angegeben.

11. *Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell*

Mit der hier gewählten Parametrisierung werden zwar die Freiheitsgrade des Genetischen Algorithmus beschränkt, zugleich aber nicht akzeptable Bereiche, resp. nicht mögliche Gegebenheiten, ausgegrenzt. Dies kommt der späteren Effizienz des Algorithmus zu Gute. Darüber hinaus wird sichergestellt, dass immer zulässige Lösungen und damit lebensfähige Individuen erzeugt werden. In diesem Fall der Art, dass je Termin immer mindestens ein Patient möglich ist und im Minimum mindestens ein Aufnahmetermin mit 15 Minuten je Tag vorhanden ist.

Nachdem die Planungsregeln aufgestellt wurden, wird für jeden, im Zugang auf den kard. Stationen und der kard. Ambulanz geplanten Patienten, der Aufnahmetermin bestimmt. Hierbei wird zunächst die Planung aus dem Zugangschromosomen nach den Wochentagen und der fortlaufenden Planungs-ID sortiert und gemäß der Terminvergaberegel, der Reihenfolge nach, ein Termin zugewiesen (FCFS). Die Planung wird in der zentralen Datenbank (Tabelle patient_source) abgelegt und wochenweise im Modell eingesteuert.

Zur Anwendung kommt dieser Planungsansatz, wenn der Parameter „use_ApptRule_Chromosomes“ auf „true“ gestellt wird. Anderenfalls werden mit „false“ die Uhrzeiten je Patient direkt geplant, gemäß dem alternativen Ansatz im Anhang A83.

(b) Chromosomen des Reservierungskonzeptes (CR01-CR06)

Im Rahmen der Terminvergabe werden durch den Optimierungsalgorithmus Reservierungen und Puffer, in Anzahl und zeitlicher Lage in den Terminkalendern der Funktions-/OP-Bereiche, geplant, entsprechend der Spezifikationen im Abschnitt 10.4. Im Ergebnis handelt es sich auch hier um einen „Masterplan“ auf Wochenbasis, welcher eine Färbung der Terminkalender in den Funktions-/OP-Bereichen beinhaltet und als Vorgabe der Planung fungiert. Die hierfür umgesetzte Problemkodierung und Strukturierung der Chromosomen wird im Folgenden erläutert.

Traditionelle Konzepte der Produktionsplanung in Industriebetrieben gehen bei der Planung zunächst von einem groben (Vor-)Plan aus und verfeinern die Planung sukzessive, wobei das Ergebnis des vorausgehenden Planungsschrittes Input für den nächsten Planungsschritt darstellt (vgl. MRP Konzepte). In Anlehnung dessen wird die Planung im Rahmen des Reservierungskonzeptes in den folgenden drei Stufen erfolgen:

1. Bestimmung der Anzahl,
2. Bestimmung der Reihenfolge und
3. Vergabe der Zeitpunkte im Terminkalender.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Gegenständlich ist hier die Bestimmung der Anzahl an:

- reservierten Terminplätzen für elektive Patienten der kard. Normalstationen,
- reservierten Terminplätzen für elektive Patienten der kard. Ambulanz und
- Pufferzeiten für Notfälle

in den Terminkalendern der Funktions- und OP-Bereiche. Damit lassen sich diese drei Größen als Genausprägungen festhalten. Nicht jede dieser Genausprägung ist in jedem zu planendem Bereich relevant. So treten Notfälle z.B. nur in den betrachteten Herzkatheterlaboren auf, nicht aber in den Funktionsbereichen ECHO oder EKG.

In den Herzkatheterlaboren treten Patienten der kard. Stationen und Notfälle auf. Im Funktionsbereich ECHO und EKG sind dies Patienten der kard. Ambulanz und der kard. Stationen. Entsprechend bedarf es nur dieser in der weiteren Betrachtung und die zulässigen Gene sind damit je Bereich eingegrenzt.

Von zentraler Bedeutung ist nun die Frage, mit welcher zeitlichen Länge Reservierungen und Puffer in die Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche eingestellt werden. Sind die Reservierungen zu kurz, könnten diese im Zuge der Terminanfragen nicht genutzt werden. Oder, es kommt zu Terminverschiebungen bei Folgeterminen. In Bezug auf die Terminkalender ist zunächst zu betrachten, wie viele zusammenhängende Slots eine Reservierung resp. einen Puffer ausmachen.

Bezogen auf die Herzkatheterlabore lässt sich aus der Erhebung im Realsystem und den bisherigen Schilderungen festhalten¹⁰⁶:

- Im HKL1 und HKL2 werden überwiegend CORO, Re-/Li-Katheter und PTCA durchgeführt.
- Im HKL3 (elektrophysiologisches Labor) werden überwiegend Ablationen (ABLAE, ABLAK), TAVI und PTA vorgenommen.
- Im HKL1 und HKL2 werden, bis auf elektrophysiologische Ausnahmen, sämtliche Notfallmaßnahmen durchgeführt.

Die Mittelwerte und Planwerte von CORO, Re-/Li-Katheter und PTCA liegen nah beieinander (siehe Tab. 63 im Abschnitt 10.6 (e)). Die Länge der Reservierung wird auf die im Mittel bemessene Maßnahmendauer bezogen mit 1 Stunde 15 Minuten angenommen. Basierend auf den Ausführungen in Unterabschnitt 9.7.3 wurden die Termineinheiten für die Terminkalender der HKLs mit jeweils 15 Minuten ermittelt.

¹⁰⁶ HKL 4 wird in dieser Betrachtung für Reservierungen außen vorgelassen, da die Ressource im Wochenverlauf nur eingeschränkt verfügbar ist und nur ein kleines Volumen an Maßnahmen aufweist.

11. *Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell*

Damit entspricht die Größe der angesprochenen Reservierung 5 Termineinheiten. Die Maßnahmen Ablation, TAVI und PTA sind mit einem deutlich höheren Zeitaufwand verbunden. Für diese wird eine Länge der Reservierung mit 2 Stunden 15 Minuten angenommen. Dies entspricht 9 Termineinheiten von je 15 Minuten. Die einzustellenden Puffer für Notfälle werden im HKL mit einer Termineinheit von je 15 Minuten angenommen.

Für die weitere Planung wird festgehalten, dass im Terminkalender des HKL1 die Puffer für die Notfälle eingestellt werden. Im Terminkalender des HKL2 werden die Reservierungen von je 5 Termineinheiten eingestellt und im HKL3 die Reservierungen zu je 9 Termineinheiten. Dies erfolgt über dedizierte Parameter des Algorithmus (siehe Tab. 67).

Für jedes der drei Herzkatheterlabore wird ein Chromosom aufgestellt. Die Chromosomen differenzieren sich nach dem soeben definierten Planungsgegenstand wie folgt:

- Chromosom 1 (CR01): Puffer im Terminkalender des HKL1 für Notfälle mit einem Planwert von je einer Termineinheit,
- Chromosom 2 (CR02): Reservierungen im Terminkalender des HKL2 für elektive Patienten von den kard. Stationen mit einem Planwert von je 5 Termineinheiten,
- Chromosom 3 (CR03): Reservierungen im Terminkalender des HKL3 für elektive Patienten von den kard. Stationen mit einem Planwert von je 9 Termineinheiten.

Bezogen auf die ECHO- und EKG-Ressource wird in gleicher Weise verfahren. Die Chromosomen differenzieren sich diesbezüglich wie folgt:

- Chromosom 4 (CR04): Reservierungen im Terminkalender der Echoressource 1 für elektive Patienten von den kard. Stationen und Patienten der kard. Ambulanz für ein normales Echo (TTE) mit einem Planwert von je einer Termineinheit (15 Minuten),
- Chromosom 5 (CR05): Reservierungen im Terminkalender der Echoressource 2 für elektive Patienten von den kard. Stationen und Patienten der kard. Ambulanz für ein Schluckecho (TEE) mit einem Planwert von 2 Termineinheiten (je 15 Minuten),

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

- Chromosom 6 (CR06): Reservierungen im Terminkalender der Elektrokardiografie für elektive Patienten von den kard. Stationen und Patienten der kard. Ambulanz für ein Belastungs-EKG/Spiro-EKG mit einem Planwert von 2 Termineinheiten (je 10 Minuten).

Die zugehörigen Parameter des Algorithmus können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden (siehe Tab. 67)

Bezeichnung des Parameters	Parameterwert
BlockSize_HKL1	1
BlockSize_HKL2	5
BlockSize_HKL3	9
BlockSize_ECHO1	1
BlockSize_ECHO2	2
BlockSize_EKG	2

Tab. 67: Parameterausprägung für Planwerte der Reservierungen und Puffer

Diese hier vorgenommenen Festlegungen können als Einschränkung in den Freiheitsgraden des Optimierungsalgorithmus gewertet werden. Grundsätzlich könnten für jeden Terminkalender alle Möglichkeiten an Reservierungen und Puffern vorgesehen werden. Der Genetische Algorithmus wäre theoretisch, mit entsprechender Fitnessausrichtung, in der Lage, die nicht benötigten Reservierungen z.B. für Patienten der kard. Ambulanz im HKL fallen zu lassen und eine Ausrichtung auf die tatsächlich erforderlichen zu erreichen. Auch ließe sich die Länge der Reservierungen allein durch den Genetischen Algorithmus determinieren. Die Freiheitsgrade des Optimierungsalgorithmus wären in diesem Fall jedoch sehr groß. Es ist somit von einer großen Anzahl an Durchläufen auszugehen, bis der Optimierer eine gute Ausprägung in der Planung erreicht. Unter dem Gesichtspunkt, dass im hier vorliegenden Modell Einschwingzeiten zum Tragen kommen und jeder Planungslauf eines noch unbestimmten zeitlichen Umfangs bedarf, wird versucht, dem Optimierungsalgorithmus so weit wie möglich entgegenzukommen, indem der zu optimierende Sachverhalt auf das Wesentliche beschränkt und um die im Voraus auszuschließenden Möglichkeiten bereinigt wird.

Um die Länge des Chromosoms zu determinieren, wird zum Start des Algorithmus die maximale Anzahl verfügbarer Reservierungen resp. Puffer in den initial leeren Terminkalendern der jeweiligen Funktions-/OP-Bereiche ermittelt. Hierbei werden die Vorgabewerte zur Länge der Reservierung resp. des Puffers zugrunde gelegt und nur die mit „Free“ gekennzeichneten Terminslots berücksichtigt. Etwaige

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Terminrestriktionen, wie Terminvergabezeiten und Pausen, sind auf diesem Weg bereits einbezogen¹⁰⁷. Der Algorithmus hätte damit die Möglichkeit, in der Maximalausprägung nahezu sämtliche freien Terminslots mit Reservierungen zu belegen. Dies könnte dazu führen, dass keine Termine mehr an andere, elektive Patienten vergeben werden können und auf der Basis Patienten im Modell hängen bleiben. Grundsätzlich sollte in einem solchen Fall eine schlechte Bewertung der Planung resultieren und der Algorithmus von sich heraus in der Lage sein, diese Gegebenheit zu vermeiden. Dennoch wird versucht, dies im Voraus auszuschließen. Hierzu bleibt bei der Ermittlung der Anzahl an maximal möglichen Reservierungen ein Umfang, wie er erforderlich ist, um die längste Maßnahme im jeweiligen Bereich einzuplanen, an Terminslots zum Ende des Tages unberücksichtigt. Durch den so geschaffenen Freiraum können immer Patienten eingeplant und abgearbeitet werden, auch wenn diese nicht berechtigt sind Reservierungen zu nutzen. Für die einzelnen Chromosomen der Reservierungsplanung wurden auf dem Wege nachfolgende Werte je Wochentag errechnet (siehe Tab. 68).

Chromosom	beplanter Terminkalender	Parameterwert				
		Montag	Dienstag bis Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
CR01	HKL1	31	31	31	0	0
CR02	HKL2	5	5	5	0	0
CR03	HKL3	2	2	2	0	0
CR04	ECHO1	26	26	26	0	0
CR05	ECHO2	11	11	11	0	0
CR06	EKG	19	19	19	0	0

Tab. 68: Anzahl Gene in den Reservierungschromosomen

Die aufgeführten Werte sind im Algorithmus parametrisiert. Die Parameterbezeichnung setzt sich zusammen aus dem Chromosomenkürzel, in Verbindung mit „_Length_“ und dem jeweiligen Wochentag.

In der Repräsentation stellen die ermittelten Werte die Anzahl der Gene auf dem Chromosom dar. Die einzelnen Gene werden fortlaufend nummeriert und als Index im Chromosom geführt (siehe Abb. 116). Mit dieser Repräsentation sind die Chromosomen zur Laufzeit in der Länge stetig, was die Anwendung der genetischen Operatoren nicht unnötig erschwert.

¹⁰⁷ Mit diesem Ansatz ist es möglich, auch Abweichungen z.B. zum Test von früheren/späteren Öffnungszeiten innerhalb einer Klinik oder in Bezug auf die Gegebenheiten einer anderen Klinik automatisch im Modell umzusetzen. Ermöglicht wird dies, da die Chromosomen zum Simulationsstart mit den jeweils verfügbaren Reservierungen/Puffern erzeugt werden.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

← maximale Anzahl verfügbarer Reservierungen resp. Puffern im Terminkalender der jeweiligen Ressource →

Index	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Wert																				

Abb. 116: Aufbau des Chromosoms für die Reservierungsplanung

Jedes Gen, mit zugewiesenem Indexwert, repräsentiert somit einen tatsächlich verfügbaren Terminblock in der jeweiligen Länge einer Reservierung oder eines Puffers im Terminkalender des betreffenden Funktions-/OP-Bereiches. Sofern der zeitliche Umfang, wie bei den Puffern für Notfälle, nur einen Terminslot ausmacht, besteht der Terminblock in der Konsequenz nur aus einer Termineinheit. Bezogen auf den Aufbau der Chromosomen, wirken auch hier die genetischen Operationen im Späteren nur auf die Werte im unteren Bereich. Indexwerte sind für die genetischen Operatoren nicht zugänglich.

Um nun eine Planung zu ermöglichen, werden im nächsten Schritt die Ausprägungen definiert, welche die Gene im Chromosom annehmen können. Diese sind:

- 0 = FREE: freibleibend (ohne Reservierung/ohne Puffer),
- 1 = RESERVED_1: Reservierung für elektive Zugänge der kard. Ambulanz,
- 2 = RESERVED_2: Reservierung für elektive Zugänge der kard. Stationen,
- 3 = RESERVED_5: Puffer für Notfälle.

Damit ergibt sich eine Belegung, wie diese in der nachfolgenden Abbildung exemplarisch für das Chromosom der Echoresource 2 veranschaulicht ist (siehe Abb. 117).

← maximale Anzahl verfügbarer Reservierungen resp. Puffer im Terminkalender der Ressource →

Index	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Wert	0	1	1	2	1	0	0	1	1	1	2	0	0	1	0	2	2	0	0

Abb. 117: Beispielhafte Belegung des Chromosoms für die Terminplanung

Initialisiert werden die Chromosomen für alle Gene mit dem Wert Null. Der Genetische Algorithmus verändert im Weiteren die Genausprägungen im gegebenen Rahmen (0-3). Hierdurch erfolgt die Bestimmung der jeweiligen mengenmäßigen Umfänge. Die Auswertung (abzählen) der beispielhaften Belegung oben ergibt:

- 0 = 8 Terminblöcke,
- 1 = 7 Terminblöcke,
- 2 = 4 Terminblöcke,
- 3 = 0 Terminblöcke.

Damit ist die erste Stufe der Planung erfolgt.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

In der zweiten Stufe werden nun die Verteilung und Reihenfolge der Reservierungen/Puffer im Tagesverlauf abgeleitet. Diesbezüglich wird die Indexnummer des Chromosoms genutzt, welche bereits durch die fortlaufende Nummerierung eine Reihenfolge innehat. Der Optimierungsalgorithmus kann die Reihenfolge der Belegung variieren, indem z.B. der Wert von dem Index 08 mit dem Index 18 ausgetauscht (Crossover) oder mit einem anderen Wert belegt wird (Mutation). Zur Erinnerung: Der Indexwert entspricht der fortlaufenden Nummer eines definierten Terminblocks im Terminkalender des jeweiligen Funktions-/OP-Bereiches. Durch die Veränderung der Belegung ändert sich die resultierende Reihenfolge. Die Werte für Reservierungen und Puffer im Chromosom werden zum Auslesen der Planung entsprechend dem Indexwert im betreffenden Terminkalender abgetragen (siehe Abb. 118). In der beispielhaften Darstellung entspricht eine Reservierung (Terminblock) zwei Termineinheiten.

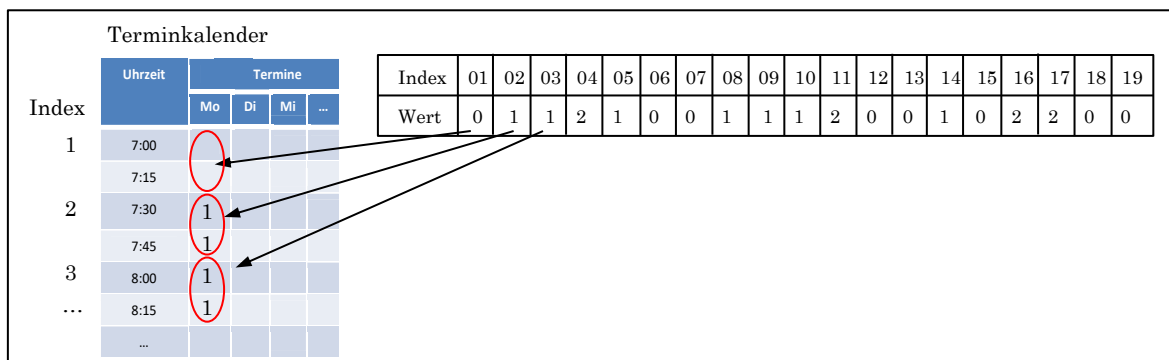


Abb. 118: Beispielhafte Auswertung der Terminreihenfolge

Mit 0 belegte Werte führen im Terminkalender zu freibleibenden Terminslots. Der erste Wert im Chromosomen, welcher größer 0 ist, findet sich hier im Index 02 mit dem Wert 1. Entsprechend der Indexnummer 02 wird im Terminkalender der zweite verfügbare Terminblock von 2 Termineinheiten durch den mit Wert 1 gekennzeichneten Reservierungstyp belegt (Reservierung für elektive Zugänge der kard. Stationen). Ebenso werden die weiteren Belegungen im Chromosom entsprechend der Indexnummern eingetragen, bis alle Indexnummern des Chromosoms abgetragen sind. In der Folge ergeben sich in den Terminkalendern der Funktions-/OP-Bereiche Belegungen der definierten Reservierungstypen resp. an Puffern, in der geplanten Menge und Verteilung. Mit der Eintragung der Reservierungen in den zugehörigen Terminkalender ergeben sich abschließend die konkreten Zeitpunkte (Stufe 3). Im Beispiel ist dies für die erste Reservierung die Uhrzeit 7:30 – 08:00 Uhr. Damit es beim Abtragen der Planung in die Terminkalender zu keinen Kollisionen mit eingetragenen Terminen kommt, erfolgt

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

dies noch bevor der erste tatsächliche Termin in den jeweiligen Terminkalender eingestellt wird.

Bisher ist die Umsetzung zur Bestimmung von Reservierungen resp. Puffern nur auf einen Tag ausgerichtet. Wie zuvor spezifiziert wurde, ist die Planung von Terminreservierungen jedoch je Wochentag durchzuführen. Die Umsetzung in den Chromosomen erfolgt, indem die gesamte Anzahl an verfügbaren Reservierungen/Puffer einer Woche eingebracht wird. Aus Gründen der besseren Transparenz und evtl. schnelleren, genetischen Operationen, wird jeder Wochentag als eine Ebene des Chromosoms umgesetzt. Damit bildet der Aufbau des Chromosoms den des Terminkalenders, auch bezogen auf die Wochentage, nach. Die Struktur ist in Abb. 119 schematisch veranschaulicht.

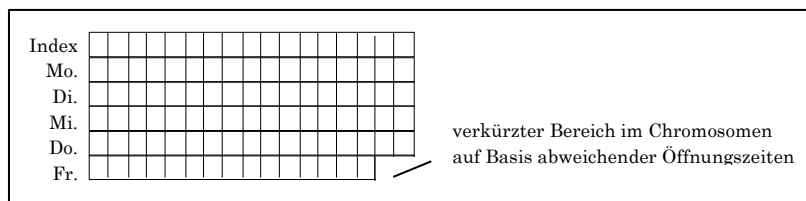


Abb. 119: Schematischer Aufbau zur Unterteilung der Chromosomen auf Tagesbasis

Auch hier werden zwar die Wochentage Dienstag – Donnerstag einzeln aufgeführt, in der Belegung aber zunächst identisch gehalten. Bei Bedarf kann eine dedizierte Betrachtung erfolgen.

11.2 Umsetzung der genetischen Operatoren

Im Ergebnis der Problemkodierung in den Chromosomen verfügt jedes Individuum über einen Chromosomensatz von 15 haploiden Chromosomen¹⁰⁸. Aus der multichromosomalen Umsetzung und der zur Laufzeit variablen Länge der Zugangschromosomen entstehen spezifische Anforderungen und Möglichkeiten für die Umsetzung der genetischen Operatoren. Zunächst wird im Folgenden auf die Selektion näher eingegangen. Darauf folgend wird betrachtet, wie hier die Mutation und das Crossover angewendet werden.

11.2.1 Selektionsoperator

Selektion bezeichnet den Auswahlmechanismus von Individuen aus einer Population zur Weitergabe des Erbgutes an die Nachfolgepopulation. Besser an ihre Umwelt (die Zielkriterien) angepasste Individuen werden mit einer höheren Wahrscheinlichkeit

¹⁰⁸ 7 Chromosomen zur Zugangsplanung, 2 zur Terminvergabe und 6 Chromosomen zur Reservierungsplanung.

ausgewählt (Selektionsdruck). Die Auswahl der Individuen erfolgt auf der Basis einer Bewertung mittels einer Fitnessfunktion (siehe Unterabschnitt 4.9.2 (d) zu den Grundlagen). Für den Aufbau der Bewertungsfunktion können eine Vielzahl von Kriterien herangezogen werden (siehe hierzu Unterabschnitt 2.4.10 zu allgemeinen Kriterien der Bewertung). Entscheidend für den Selektionsdruck und damit die Richtung, in die sich der Optimierer bewegt, ist zunächst einmal die Auswahl der richtigen Kriterien bezogen auf das spezifische Optimierungsziel.

(a) Aufstellen der Kennzahlen und Kostenfunktion

Die Fitness der Individuen repräsentiert den Grad der Zielerreichung (Güte) der einzelnen Individuen bezogen auf das Optimierungsziel. Im Abschnitt 7.2 wurden bereits bereichsspezifische Kennzahlen und Optimierungsziele aufgeführt, u.a.:

- Maximierung der Anzahl elektiver Patientenaufnahmen,
- Maximierung der Gesamtanzahl durchgeführter Maßnahmen,
- Minimierung von Leerstand in den Ressourcen,
- Minimierung der Wartezeiten elektiver/nicht-elektiver Patienten oder
- Minimierung der Terminabweichungen bei elektiven Patienten.

Durchaus ließe sich die Aufstellung noch fortführen. Es stellt sich hier die Frage, wie all die im Abschnitt 7.2 aufgeführten Optimierungsziele und Kennzahlen in eine Bewertungsfunktion gefasst werden können. Setzt sich die Bewertungsfunktion aus zu vielen Kennzahlen zusammen, weil es zu viele Optimierungssachverhalte und Nebenbedingungen gibt, kann die Gefahr bestehen, dass sich der Selektionsdruck verwässert und nicht mehr ausreichend spezifisch ist, um effizient zu wirken. Darüber hinaus stellt sich bei mehreren Bewertungskennzahlen, die Frage der Gewichtung untereinander. In der Literatur gibt es Anwendungsbeispiele die auf Kostenbasis die Güte bemessen (siehe [Cayirli & Veral 2003, S. 540 ff.] zu einer Übersicht). Kennzahlen in der Maximierung wie auch Minimierung werden in einer Kosten-/Ertragsfunktion miteinander kombiniert und mittels Multiplikatoren gewichtet, um daran den Selektionsdruck der einzelnen Zielgrößen zu prägen sowie eine Kompatibilität der Kennzahlen miteinander zu erreichen. Da sich die Effizienz der klinischen Einrichtung auch im Realsystem an den Kosten resp. den Erträgen orientiert und dieser Sachverhalt direkte Motivation der vorliegenden Arbeit ist, wird im Weiteren eine Kosten-/Ertragsfunktion zur Bewertung der einzelnen Planungen (Individuen) zugrunde gelegt.

Die Aufgabe besteht nun darin, die verschiedenen Kennzahlen in einer Ertragsfunktion zu vereinen, um einen Ertragswert ermitteln zu können, welcher im Zuge der Optimierung zu maximieren ist. Um dem Berechnungsansatz aus Abschnitt

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

1.1 weiter zu folgen, sind nun die Erlöse und Kosten aufzustellen. Die ursprüngliche Ertragsfunktion wird hierauf bezogen leicht angepasst und lautet damit wie folgt:

$$\text{Ertrag} = \sum_{i=1}^n (\text{Erlöse}_i - \text{Kosten}_i); \quad n \in N$$

Statt der DRG-Vergütung sind im Weiteren noch zu definierende Erlöse je Patient und statt Behandlungskosten die noch aufzustellenden Kosten je Patient Berechnungsgrundlage.

Die nachfolgende Tab. 69 gibt eine Übersicht der Bewertungsansätze für Erlöse im Modell.

Beschreibung	Bewertungsansatz
Aufnahme eines Patienten auf den kard. Stationen (inkl. prästationär)	+60
durchgeführte HKL-Maßnahme (für alle Patienten)	+500
durchgeführte EKG-Maßnahme (Patient von intern, stationär)	+0
durchgeführte ECHO-Maßnahme (Patient von intern, stationär)	+0
Aufnahme eines Patienten in der kard. Ambulanz (inkl. prästationär)	+60
durchgeführte EKG-Maßnahme (Patient von extern, ambulant)	+30
durchgeführte Echo-Maßnahme (Patient von extern, ambulant)	+40

Tab. 69: Übersicht Erlöse zur Berechnung der Fitness der Individuen

Damit wird das Augenmerk der Optimierung zunächst auf die Maximierung der Patientenzugänge und die in der Folge durchzuführenden Maßnahmen gelegt. Jeder zusätzliche Patientenzugang und jede durchgeführte Maßnahme führt im Modell zu einer höheren Ressourcenauslastung und potentiell zu einer Erlössteigerung. Die gewählten Vergütungsansätze orientieren sich an den Gegebenheiten im Realsystem. Es handelt sich hierbei jedoch nur um Näherungswerte, mit dem erklärten Ziel, eine Wertigkeit und eine Gewichtung zu erreichen. Bei den Erlösen wird dahingehend abgegrenzt, dass für stationäre Patienten keine weitere Vergütung für EKG- oder ECHO-Maßnahmen erfolgt. Wie im Realsystem sind diese Teil der stationären Krankenhausleistung und damit bereits abgegolten. HKL-Maßnahmen sind entgegen dem hier aufgeführten Wertansatzes im Realsystem deutlich höher bewertet. Der geringere Wert wird hier vor dem Hintergrund gewählt, dass bei einem sehr hohen Bewertungsansatz dieser Optimierungsgegenstand entsprechend eine sehr hohe Gewichtung erhält. Es könnte damit zu einer ungewollten Untergewichtung der Wertigkeit der Patientenaufnahmen und im Speziellen den im Weiteren betrachteten

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Wartezeiten/ Liegezeiten der Patienten kommen (zur Justierung siehe Unterabschnitt 12.6.3).

Den aufgeführten Erlösen stehen Kosten gegenüber. Die nachfolgende Übersicht zeigt die angesetzten Kosten, bezogen auf die mit Abschlägen bewertenden Vorkommnisse (siehe Tab. 70).

Beschreibung	Bewertungsansatz
Wartezeit gesamt (pro 15 Minuten)	-2
Liegezeit bei stationären Patienten (je Tag)	-1
Durchlaufzeit bei Patienten der kard. Ambulanz (pro Stunde)	-1

Tab. 70: Übersicht Kosten zur Berechnung der Fitness der Individuen

Die Wartezeit wird als zentrales Gütemaß geführt und direkt mit Kosten belegt. Eine Wartezeit bemisst sich in der Dauer der Patientenpartikel in einer Ressourcenwarteschlange und bezieht sich gleichermaßen auf elektive, nicht-elektive Patienten und Notfälle. Da speziell nicht-elektive Patienten nur bei freier Ressource eingeschoben werden, wird die Wartezeit für diese so nicht vollständig erfasst. Aus diesem Grund und weil es erklärtes Ziel ist, die Liegezeit der Patienten durch bessere Terminverfügbarkeiten und höhere Termintreue zu verkürzen, wird als weiteres bewertungsrelevantes Kostenkriterium die Liegezeit der stationären Patienten hinzugezogen. Für die Patienten der kard. Ambulanz wird als Pendant auf die Gesamtdurchlaufzeit abgestellt und diese mit Kosten unterlegt. Da bekanntermaßen die Wartezeit einen Teil der Liege-/Durchlaufzeiten darstellt (siehe Abschnitt 1.1), äußert sich hierin eine zusätzliche (Über-)Gewichtung der Wartezeiten.

Darüber hinaus sind zusätzliche „Strafkosten“ für im Modell auftretende besonders unerwünschte Vorkommnisse vorgesehen. Hierzu zählt insbesondere, wenn elektive Patienten der Funktions-/OP-Bereiche auf einen Folgetag verschoben werden, elektive Aufnahmen auf den kard. Stationen am Tag der Aufnahme kein Stationsbett zugewiesen bekommen haben oder Patienten der kard. Ambulanz nicht alle angeordneten Maßnahmen am Aufnahmetag absolvieren konnten (siehe Tab. 71).

Beschreibung	Bewertungsansatz
Terminverschiebung bei ambulanten Patienten (über Nacht in der Warteschlange)	-50
Terminverschiebung bei HKL-Patienten (je Tag)	-100
elektive Patienten warten über Nacht in der Warteschlange auf ein Stationsbett	-50

Tab. 71: Übersicht Strafkosten zur Berechnung der Fitness der Individuen

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Durchaus ließen sich auch andere Wertausprägungen für die hier gewählte Höhe der Erlöse, Kosten und Strafkosten finden und begründen. In der Suche der richtigen Werte kann eine eigene Optimierung gesehen werden. Die gewählten Werte beruhen auf einer eigenen, subjektiven Einschätzung. Es wurden die jeweiligen Gedankengänge diesbezüglich dargelegt. Die aufgeführten Werte sind im Modell parametrisiert und damit späteren Veränderungen und Justierungen zugänglich (siehe Unterabschnitt 12.6.3 (b) zur Justierung dieser). Die Parameter sind in der Datei „createTables.sql“ hinterlegt, welche diese gemeinsam mit den Prozeduren zur Berechnung der Kennzahlen in der zentralen Datenbank hinterlegt.

Zur Ermittlung der Erlöse und Kosten werden am Ende der Simulation alle der Bewertung zugrunde liegenden Patienten und erlösrelevanten Vorkommnisse über den definierten Messzeitraum hinweg betrachtet. Den bisherigen Ausführungen in Unterabschnitt 9.12.1 und Abschnitt 10.1 folgend, wird der Ertragswert je Lösung/Individuum, exkl. Einschwingzeit, ermittelt. Zur Berechnung werden die Datenbankfunktionen „Evaluate_Simulation“ und „Yield“ eingesetzt. Der errechnete Ertragswert wird in der Tabelle „simulation“ als „individual_earnings“ für jedes Individuum abgelegt.

Im vorliegenden Fall ist von einer stochastischen Simulation zu sprechen. Nissen & Biethahn [1999, S. 117], wie auch Law [2015, S. 226] weisen diesbezüglich darauf hin, dass damit verbunden die Ergebniswerte eines jeden Simulationslaufes durch die stochastischen Größen beeinflusst sind. In Bezug auf die vorliegende Arbeit heißt dies, dass trotz identischer Ausgangssituation in Bezug auf die eingestellten Planwerte, der sich ergebende Ertragswert variieren kann. Nissen & Biethahn halten diesbezüglich eine Lösung, welche nur einmal durch Simulation evaluiert wird, zumindest bei punktbezogenen Suchverfahren für nicht angebracht. Als ein häufig angeführtes Entscheidungskriterium bei Ungewissheit verweisen Nissen & Biethahn auf den Erwartungswert der Zielgröße. Dieser kann „bei stochastischen Simulationen durch den Mittelwert der Stichprobe von Simulationsläufen approximiert werden“ [Nissen & Biethahn 1999, S. 117]. Auch wenn es sich in der vorliegenden Arbeit um keine punktbasierte Suche handelt, wird unter diesem Gesichtspunkt jedes Individuum mehrfach getestet. Aus den jeweiligen Ertragswerten wird der Mittelwert gebildet und als Gütemaß der Lösung/des Individuums zur Berechnung der Fitness verwendet.

(b) Berechnung des Fitnesswerts (rangbasiert)

Wie bereits ausgeführt wurde, transformiert die Fitnessfunktion Zielfunktionswerte in nichtnegative Werte [Pohlheim 2000, S. 16] (siehe Unterabschnitt 4.9.2 (d) zu den

Grundlagen). Aus den bisherigen Festlegungen ergibt sich je Individuum ein Ertragswert, welcher zwar direkt vergleichbar ist, aber durchaus negative Werte annehmen kann. Um aus dem errechneten Ertragswert einen Fitnesswert herzuleiten, gibt es verschiedene Ansätze. In Unterabschnitt 4.9.2 (d) wurde bereits eine Auswahl derer, bezogen auf die hier zugrunde liegende Gruppe der Evolutionären Algorithmen, vorgestellt. Für die vorliegende Arbeit wird die reihenfolgebasierte Fitnesszuweisung in der Form des Rankings eingesetzt, um den Fitnesswert zu determinieren und das in Unterabschnitt 4.9.2 (d) beschriebene Problem des zu frühen Konvergierens resp. der Stagnation zu umgehen. Pohlheim [2000, S. 20] führt aus, dass die reihenfolgebasierte Fitnesszuweisung in diversen Arbeiten untersucht wurde und ein robustes Verhalten zeigte. Er bezeichnet diese Form als „die Methode der Wahl für die Fitnesszuweisung“ [Pohlheim 2000, S. 20]. Im Zuge der rangbasierten Fitnesszuweisung und Selektion werden die Individuen einer Population zunächst ihrem Ertragswert folgend der Größe nach absteigend sortiert. Das beste Individuum hat den Rang 1. Auf der Basis wird nun ein Fitnesswert zugewiesen. Die Zuweisung kann linear oder nicht-linear erfolgen. Der Selektionsdruck bestimmt in diesem Zusammenhang darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Individuum selektiert wird. Die nachfolgende Abb. 120 veranschaulicht eine nicht-lineare Fitnesszuweisung nach Michalewicz [1996, S. 60] mit beispielhaft 10 Individuen und drei Ausprägungen des Selektionsdrucks. Der Fitnesswert ist hierbei einer Normalisierung auf eins unterzogen worden, indem dieser durch die Summe aller Fitnesswerte dividiert wurde [Severin 2014, S. 70]. Hieraus ergibt sich die Selektionswahrscheinlichkeit bei zufälligem Ziehen mit Zurücklegen je Rang.

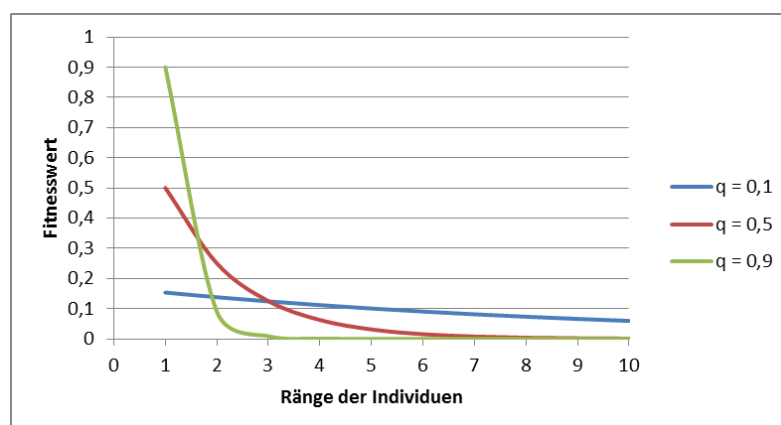


Abb. 120: nicht-lineares Ranking zur Berechnung des Fitnesswertes

Bei der nicht-linearen Fitnesszuweisung kann ein höherer Selektionsdruck gewählt werden, als dies im linearen Fall möglich ist [Pohlheim 2000, S. 19]. Umso höher der Selektionsdruck ist, umso wahrscheinlicher werden die besten Individuen gewählt

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

und eine Optimierung stagniert bzw. konvergiert früher, da die Diversität der Population früher verloren gehen kann. Um diesem vorzubeugen, kann die lineare, rangbasierte Fitnesszuweisung eingesetzt werden. Hierbei ist ein Selektionsdruck zwischen $[1,0 \ 2,0]$ möglich [Pohlheim 2000, S. 19]. Die nachfolgende Abb. 121 zeigt die resultierende Selektionswahrscheinlichkeit bei einer linearen, rangbasierten Fitnesszuweisung mit beispielhaft 10 Individuen und drei Ausprägungen des Selektionsdrucks.

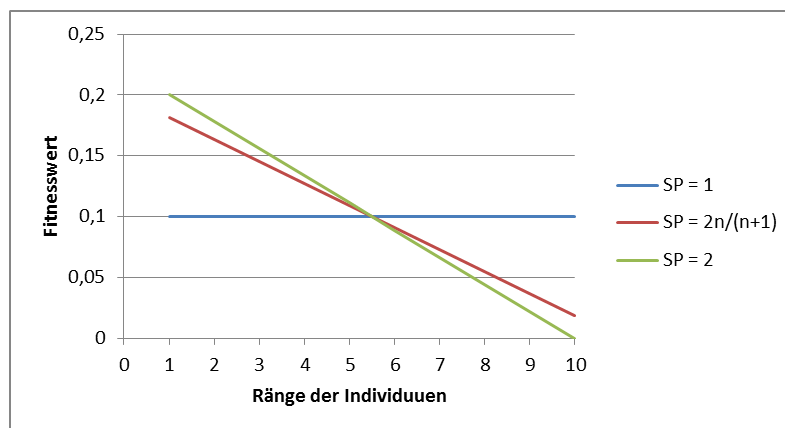


Abb. 121: Lineares Ranking zur Berechnung des Fitnesswertes [Severin 2014, S. 71]

Auch hierbei erfolgte bereits eine Normierung auf eins. Wird das beste Individuum, basierend auf dem Erwartungswert, zweimal gezogen, entspricht dies einem Selektionsdruck (SP) von 2 (siehe [Pohlheim 2000, S. 19, Abb. 3-2]). Hierbei ist zu beachten, dass dieser Sonderfall beinhaltet, dass das schlechteste Individuum einen Fitnesswert von 0 hat und somit nicht mehr selektiert werden könnte [Pohlheim 2000, S. 20]. In der vorausgehenden Betrachtung wurde festgehalten, dass in der vorliegenden Arbeit jedes, auch das schlechteste Individuum, die Möglichkeit haben soll, selektiert zu werden. Dies bedingt, dass alle Fitnesswerte größer Null sein müssen. Ein Selektionsdruck von 1 stellt dem entgegen einen für alle Individuen gleichen Erwartungswert dar, um gewählt zu werden. Den bisherigen Ausführungen folgend, sollen im Rahmen der Selektion bessere Individuen eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, gewählt zu werden. Es muss also hier ein Selektionsdruck größer 1,0 und kleiner 2,0 gewählt werden.

In der Wahl der Fitnesszuweisung und des Selektionsdrucks kann wieder eine eigene Optimierung gesehen werden. Für die vorliegende Arbeit werden jedoch eine lineare Fitnesszuweisung und ein Selektionsdruck von:

$$SP = \frac{2n}{n+1}$$

gewählt [Severin 2014, S. 71]. Die Variable n bezieht sich hierbei auf die Anzahl der Individuen der Population (Populationsgröße). Auf diesem Wege ist der Selektionsdruck so gewählt, dass bei z.B. 10 Individuen das schlechteste Individuum immer noch eine Selektionswahrscheinlichkeit von ca. 1,82 % hat. Zugleich ist der Selektionsdruck nach oben begrenzt, so dass der Genetische Algorithmus nicht zu früh konvergiert.

(c) Selektionsstrategie

Die Wahrscheinlichkeit der Selektion eines Individuums bezieht sich auf den im linearen Ranking zugewiesenen Fitnesswert. Da dieser in seiner Herleitung bereits auf eins normiert ist, handelt es sich damit gleichzeitig um die Selektionswahrscheinlichkeit. In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Selektion an sich nach der „Roulette Wheel“-Methode. Es handelt sich dabei um eine fitnessproportionale Selektion (siehe Unterabschnitt 4.9.2 (d)). Im Zuge dessen erhält jedes Individuum einen Abschnitt auf dem „Rouletterad“. Der jeweilige Abschnitt entspricht in der Größe der zugewiesenen Fitness des Individuums (siehe Abb. 122).

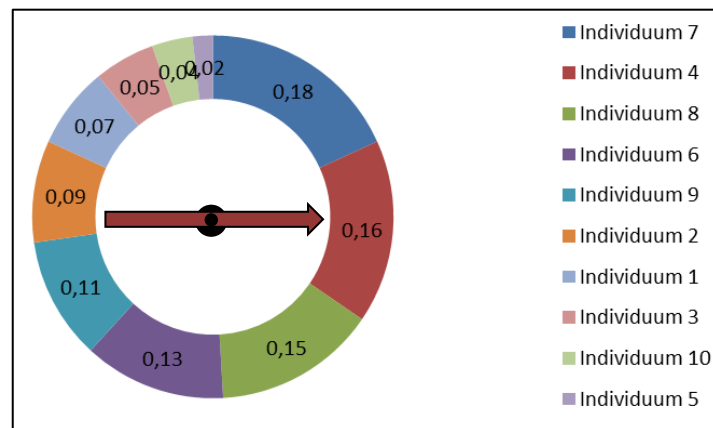


Abb. 122: Skizze zur Roulett-Wheel-Selektion mittels der normierten Fitnesswerte

Ein zufälliges Ziehen (Drehen des Rades) entscheidet über die Auswahl des Individuums. Individuen mit besserem Fitnesswert haben damit eine höhere Wahrscheinlichkeit ausgewählt zu werden als schlechtere. Damit entspricht die Fitness der Reproduktionswahrscheinlichkeit. Abgewichen wird von dieser Selektionsstrategie nur im Falle des Elitismus. Hierbei geht das beste Individuum unverändert in die Folgepopulation ein (siehe Unterabschnitt 4.9.2 (d)). Zu diesem Zweck wird ein Kontrollparameter „Elitism“ implementiert, welcher vor Optimierungsbeginn gesetzt werden kann, um den Elitismus zu aktivieren. Gezogene Individuen können erneut gezogen werden (Ziehen mit Zurücklegen), auch das bei Elitismus bereits gewählte Individuum. Da die Anzahl der erforderlichen Individuen

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

von der Art der genetischen Operation abhängt, wird zunächst ein Individuum gezogen und sofern ein weiteres erforderlich ist, das Zweite.

11.2.2 Mutationsoperator

In der vorliegenden Arbeit weisen Individuen mehr als ein Chromosom auf (multichromosomal). Chromosomen können hier mehrschichtig sein und in der Länge variabel. Hieraus ergeben sich verschiedene Anforderungen an den Mutationsoperator. Es werden im Folgenden Varianten der Mutation umgesetzt, welche je nach Anforderung chromosomenspezifisch zur Anwendung kommen. Diese können je nach Bedarf einzeln oder gemeinsam in einem Chromosom eingesetzt werden.

(a) Genmutation im Multichromosomenfall

Zur Ausführung der Mutation bedarf es zunächst der Selektion eines Individuums aus der Elternpopulation. Ausgehend von einem beispielhaften Aufbau mit 7 Chromosomen, wird der Ablauf bei der Mutation schematisch in Abb. 123 veranschaulicht.

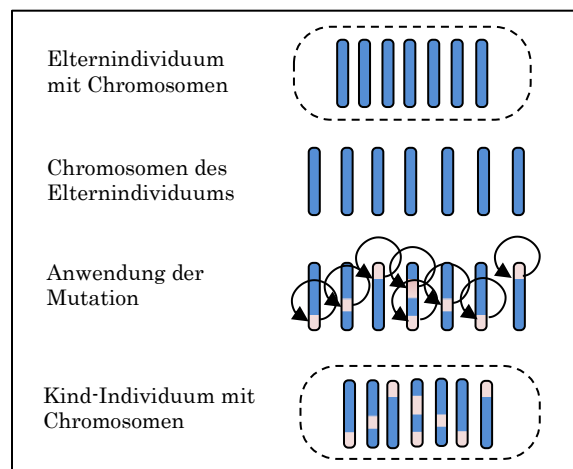


Abb. 123: Schematischer Ablauf der Mutation bei haploiden, multichromosomalen Individuen

Bezogen auf die Anwendung der Mutation stellt sich die grundsätzliche Frage, ob jedes Gen einzeln betrachtet wird. Alternativ kann die Anzahl zu mutierender Gene auch im Voraus ermittelt werden. De Jong [1975, S. 72] hat in seiner Arbeit (Einchromosomenfall) herausgestellt, dass eine Mutation mit auf jedes Gen bezogener Betrachtung „at each gene position“ vorteilhafter ist. In Bezug auf eine 3-Chromosomenrepräsentation wurde von Pierrot & Hinterding [Pierrot & Hinterding 1997, S. 144] festgestellt, dass sich eine stetige Mutation von einer Variablen je Chromosomen besser erwies als bei Chromosomen, die im Mittel um je eine Variable

mutiert wurden. Dies deckt sich mit der Erkenntnis von De Jong im Einchromosomenfall.

Dem folgend wird in der vorliegenden Arbeit die Mutation ausgeführt, indem ein jedes Chromosom des selektierten Individuums durchlaufen und für jedes Gen auf der Basis der hinterlegten Mutationswahrscheinlichkeit (Parameter „MutationRate“) einzeln geprüft wird, ob eine Mutation erfolgt oder nicht. Die Zuweisung einer neuen Ausprägung erfolgt schließlich gleichverteilt aus der Menge aller für das Gen zulässigen Genausprägungen.

(b) Genmutation bei mehrschichtigen Chromosomen

Wie festgehalten wurde, erfolgt eine anzuwendende Mutation für jedes Chromosom eines Individuums. Die vorliegenden Chromosomen sind teilweise mehrschichtig aufgebaut. Grundsätzlich ist, bis auf den Index, jede Schicht einer Mutation zugänglich (siehe Abb. 124).

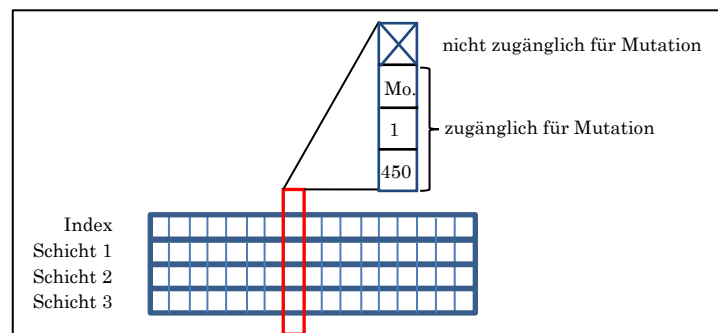


Abb. 124: Mutation bei mehrschichtigen Chromosomen

Den vorhergehenden Ausführungen folgend, wird im mehrschichtigen Chromosomen jede Schicht durchlaufen und für jedes Gen einzeln geprüft, ob dieses mutiert wird.

(c) Längenmutation der allgemeinen Zugangschromosomen

Bei Chromosomen der Zugangsplanung kommt eine Längenmutation zum Tragen. Hierbei handelt es sich um die Möglichkeit, Chromosomen in der Länge zu verändern, um Patienten der Planung zuzufügen resp. herauszunehmen. Es ist zu bestimmen, um wie viele Patienten die Planung zu- resp. abnimmt und an welchen Tagen die Patienten gestrichen resp. hinzugefügt werden. Der Mutationsoperator, welcher diesen Sachverhalt umsetzt, funktioniert wie folgt:

Zunächst wird eine Liste aller der Planung zugänglichen Wochentage aufgestellt. Grundlage ist die vorliegende Parametrisierung (min, max, scale). Im vorliegenden Fall sind dies 5 Wochentage (Mo.-Fr.). Die Liste wird um dieselbe Anzahl verlängert und mit Nullen gefüllt (siehe Abb. 125).

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

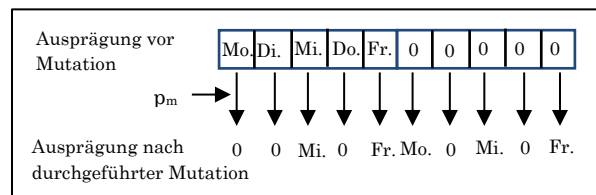


Abb. 125: Mutationsoperator zur Längenmutation

In der Repräsentation entsprechen die Belegungen Mo.-Fr. je einem auf den Wochentag geplanten Patientenzugang. Die Belegungen mit einer 0 entsprechen je einem möglichen weiteren Zugang je Wochentag (Mo.-Fr.). Der Mutationsoperator ist so ausgelegt, dass dieser gemäß den bisherigen Festlegungen je Eintrag der Liste, auf Grundlage der parametrisierten Mutationswahrscheinlichkeit, eine Mutation vollzieht. Hierbei können die mit Mo.-Fr. belegten Werte auf 0 mutiert und Belegungen mit einer 0 können auf Werte von Mo.-Fr. mutiert werden (siehe Abb. 125 zu einem Beispiel). Wird ein Wochentag in der vorderen Hälfte auf 0 mutiert, entspricht dies einem in der Planung zu reduzierenden Patienten am betreffenden Tag.

Im Ergebnis können sich Mutation in der vorderen Hälfte der Liste, z.B. von Mo. auf 0, mit Mutationen in der hinteren Hälfte von 0 auf Mo., ausgleichen. Oder, wie im beispielhaften Fall für Mittwoch, ein Patient der Planung hinzugefügt wird. So determinierte Änderungen werden schließlich in der Anzahl und den betreffenden Wochentagen auf das jeweilige Zugangschromosom abgetragen. Dies erfolgt, indem pro Wochentag, welcher auf eine 0 mutiert wurde und nicht ausgeglichen werden kann, zufällig ein Patient, welcher auf diesen Wochentag geplant wurde, aus dem jeweiligen Zugangschromosomen entfernt wird. Damit verkürzt sich schließlich die Länge des Chromosoms. Umgekehrt wird das Chromosom verlängert und mit dem determinierten Wochentag in der Genausprägung belegt, wenn eine Mutation von 0 auf einen Wochentag erfolgte, die nicht durch gegenläufige Mutation in der vorderen Hälfte der Liste ausgeglichen wird. Wird ein Patient im Chromosom hinzugefügt, sind in mehrschichtigen Chromosomen weitere Schichten mit Werten zu belegen. Dies erfolgt durch zufälliges Ziehen aus der Menge möglicher Genausprägungen und erfolgt gemäß den Vorgaben wie bei der Initialisierung der Chromosomen.

11.2.3 Crossoveroperator

Für die Anwendung des genetischen Operators Crossover bedarf es der Selektion zweier Individuen. Ausgehend von dem beispielhaften Aufbau mit 7 Chromosomen, wird schematisch in Abb. 126 veranschaulicht, wie nach Cavill et al. [2005, S. 1754] das Crossover in Bezug auf haploid, multichromosomal strukturierte Individuen durchgeführt werden kann. In der dargestellten Art und Weise wird das Crossover

auch in der vorliegenden Arbeit vollzogen. Bei der Durchführung ist zu beachten, dass, bezogen auf die funktionale Teilung, nur die jeweils gleichen Chromosomen der selektierten Individuen miteinander kombiniert werden dürfen (siehe Abb. 126).

Es stellt sich nun die Frage, wie viele Crossover Punkte bei der Ausführung zur Anwendung kommen. De Jong [1975, S. 119] stellt in seiner wegweisenden Arbeit das 1-Punkt-Crossover (im Einzelchromosomenfall) als effizientestes heraus. Er stellt fest, dass die Performance des Algorithmus mit zunehmender Anzahl Crossover-Punkte abnimmt „In fact overall performance was seen to degrade as the number of crossover points increased.“ [De Jong 1975, S. 162]. Pierrot & Hinterding [1997] sprechen sich in ihrer Arbeit, bezogen auf den Mehrchromosomenfall, für eine kleine Anzahl Crossoverpunkte aus und das Crossover an jedem Chromosom anzuwenden (siehe Abb. 126). Das 1-Punkt-Crossover wird bei drei Chromosomen etwa gleich gesetzt mit einem 3-Punkt-Crossover bei einem Chromosom [Pierrot & Hinterding 1997, S. 144]. In der vorliegenden Arbeit wird den Ausführungen gefolgt und je Chromosom das 1-Punkt-Crossover angewendet.

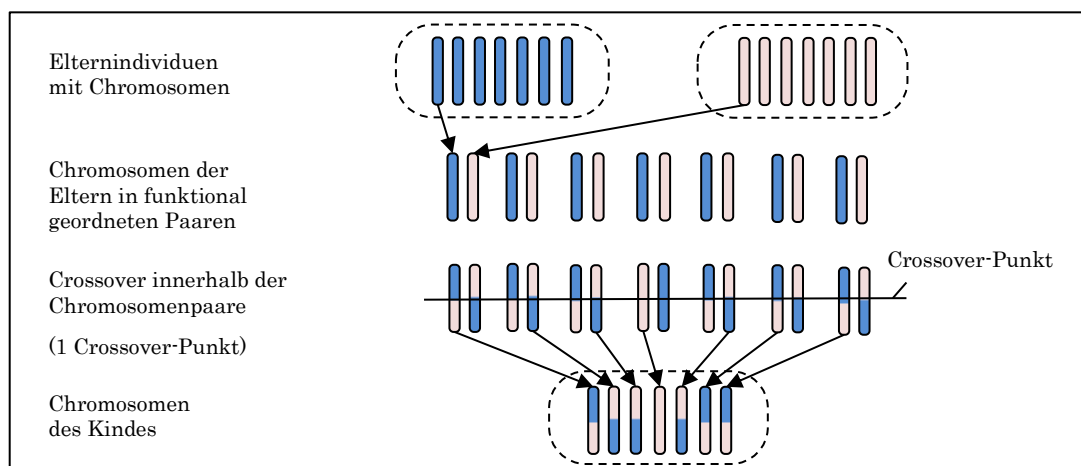


Abb. 126: Schematischer Ablauf des Crossover bei haploiden, multichromosomalen Individuen (in Anlehnung an Cavill et al. [2005, S. 1754])

Grundsätzlich lassen sich bei dem Crossover aus zwei Eltern- zwei Kinderindividuen erzeugen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird jedoch von nur einem Kind je Elternpaar in einem Crossover-Vorgang ausgegangen. Nachdem das Crossover vollzogen wurde, erfolgt dahingehend eine Aufteilung der Chromosomen auf ein Kind. Das Nachfolge-Individuum erhält durch gleichverteilte Auswahl je ein Chromosom entsprechend der funktionalen Aufteilung. Somit ist der Chromosomensatz für das Kind wieder vollständig.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Wie ausgeführt wurde, können in der vorliegenden Arbeit Chromosomen der Zugangsplanung in der Länge variieren. Die Chromosomen zwischen zwei Individuen einer Population können somit unterschiedlich lang sein. Bei dem Crossover von Chromosomen unterschiedlicher Länge können zwei Varianten auftreten (siehe Abb. 127). Liegt der Crossoverpunkt bei beiden Individuen auf dem Chromosom (Variante 1), erfolgt ein reguläres Crossover. Liegt der Schnittpunkt hingegen außerhalb eines der beiden Chromosomen (Variante 2), erfolgt das Crossover an dem Crossoverpunkt, jedoch wird nur das längere Chromosom geteilt und das abgeschnittene Ende an das kürzere Chromosom angefügt. Die Länge der Chromosomen nähert sich damit im Ergebnis einander an.

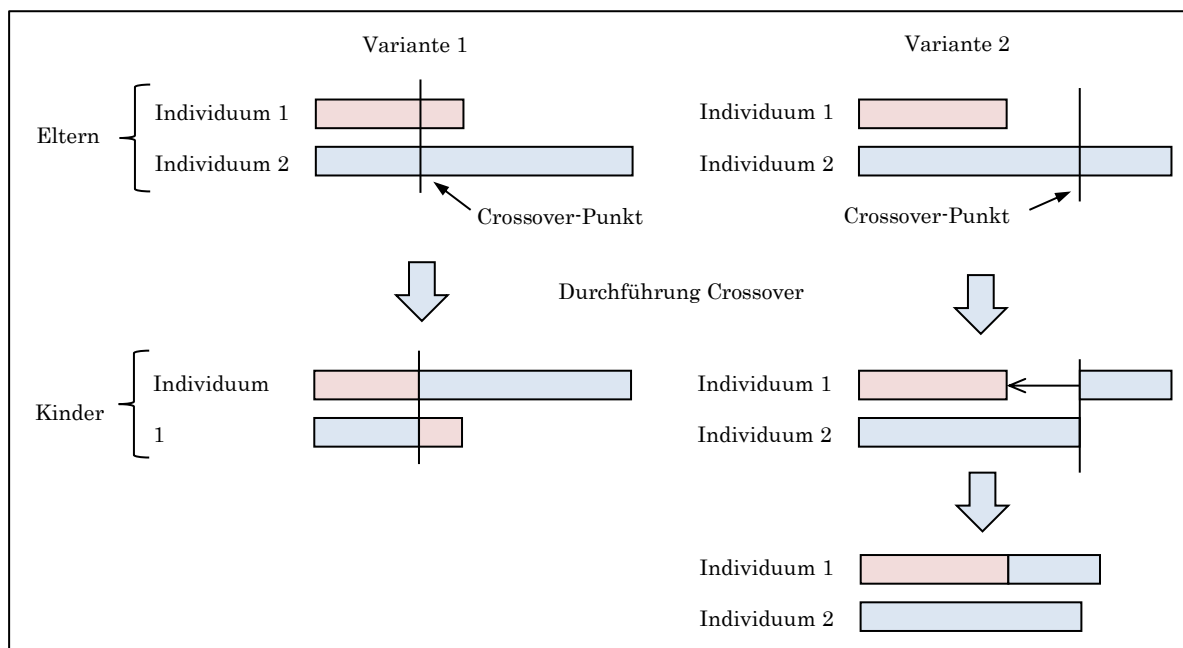


Abb. 127: Schematischer Ablauf des Crossover bei Chromosomen unterschiedlicher Länge

11.2.4 Wertausprägung der Kontrollparameter

In den zurückliegenden Ausführungen wurden die Kontrollparameter des Genetischen Algorithmus aufgeführt und erläutert (siehe Unterabschnitt 4.9.2). Mit Hilfe dieser wird der Genetische Algorithmus maßgeblich gesteuert bzw. die genetischen Operatoren parametrisiert. In der vorliegenden Arbeit kommen nachfolgende Parameter zum Einsatz:

- Crossoverrate (Crossoverwahrscheinlichkeit),
- Mutationsrate (Mutationswahrscheinlichkeit),
- Populationsgröße und
- Elitismus.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Die Kontrollparameter haben maßgeblichen Einfluss auf die Performance des Genetischen Algorithmus. Die Suche nach der optimalen Parameterausprägung kann als eine eigene Optimierung gesehen werden, wie u.a. De Jong [1975] und Grefenstette [1986] zeigen.

Hinsichtlich des Einflusses der Kontrollparameter und deren optimaler Ausprägung führte De Jong [1975] eine systematische Untersuchung durch. Es wurden fünf Test-Funktionen zugrunde gelegt, um die Parametereinflüsse auf die Performance des Algorithmus zu bemessen (siehe [De Jong 1975, S. 196 ff.] zu den Funktionen). Es wird hierbei in on-line- und off-line Performance¹⁰⁹ differenziert. Die von De Jong ermittelten Parameterausprägungen, welche zu einem guten Ergebnis für on-line und off-line Performance führten, sind in Tab. 72 aufgeführt.

Parameter	Ausprägung
Populationsgröße	50
Mutationsrate	0,001
Crossoverrate	0,6
Generation-Gap	1,0
Elitismus	nein

Tab. 72: Übersicht Parameterausprägungen nach De Jong [1975, S. 119 ff.]

De Jong [1975, S. 122] hat bezogen auf sein Testumfeld eine Populationsgröße von 50 Individuen, eine Mutationsrate von 0,001 und eine Crossoverrate von 0,6 als beste Konstellation aufgeführt. Das Generation Gap, die unveränderte Übernahme von Individuen der Eltern- in die Folgegeneration, wird von De Jong mit 1.0 angegeben. Damit wird die gesamte Population im Generationswechsel ersetzt. De Jong begründet dies damit, dass die Vorteile, welche überlappende Populationen in sich tragen würden, von dem Sachverhalt des damit einhergehenden Gendrifts (Allele gehen verloren) aufgewogen werden [De Jong 1975, S. 79 ff.]. De Jong & Sarma [1993, S. 20] führen aus, dass weiterführende Arbeiten, wie z.B. die von Whitley & Kauth [1988], herausstellen, dass Genetische Algorithmen mit sich überlappenden

¹⁰⁹ Bei der on-line Performance wird jede Veränderung (response) des Optimierungsalgorithmus (adaptiven Systems) betrachtet. „With on-line performance every response of the adaptive system is evaluated, reflecting Situations in which an adaptive system is used to dynamically improve the performance of a system.“ [De Jong 1975, S. 1]. On-line Performancemessungen sind motiviert durch Situationen, in denen adaptive Systeme eingesetzt werden, um dynamisch die „overall“ Performance des Systems zu verbessern [De Jong 1975, S. 12]. Off-line Performance betrachtet hingegen allein die Verbesserungen. „With off-line performance only responses which improve performance are evaluated, reflecting situations in which testing can be done independently of the system being controlled.“ [De Jong 1975, S. 1 f.]. Off-line Performance ist motiviert durch Evaluationen, die off-line getätigt werden. In diesem Fall sind die Messungen nicht in die „overall“ Performanceverbesserung des Systems eingebunden [De Jong 1975, S. 12].

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Generationen durchaus die negativen Effekte des Gendrifts überwinden können. Dies jedoch vor dem Hintergrund größerer Populationen.

Grefenstette [1986] untersucht die möglichst optimale Parameterausprägung an sechs Kontrollparametern, u.a. die Crossoverrate, die Mutationsrate und die Populationsgröße. Er setzt hierzu einen weiteren Genetischen Algorithmus ein (metalevel GA) und legte ein Set von numerischen Optimierungsproblemen zu Grunde. Der übergeordnete Algorithmus nutzte die Parametrisierung nach De Jong und dient der Ermittlung der Kontrollparameterwerte des darunterliegenden Basis-GA. Im Ergebnis setzten die besten Individuen die Populationsgröße auf 30, die Crossoverrate auf 0,95, die Mutationsrate auf 0,01 und nutzten elitäre Selektion (Elitismus) [Grefenstette 1986, S. 126]. Die so ermittelten Werte unterscheiden sich von der Parametrisierung nach De Jong und erreichen hiermit nach den Ausführungen von Grefenstette einen kleinen, aber signifikanten Vorteil (on-line). Er kommt zu der Erkenntnis, dass eine höhere Crossoverrate in der Reproduktion die ausgewählten Strukturen in hohem Umfang zerstört, was aber insbesondere bei kleineren Populationen von Bedeutung ist, da es nach seinen Ausführungen hier schneller zu Individuen kommen kann, welche die Population dominieren. Eine Erhöhung der Mutationsrate verhindert ebenfalls eine vorzeitige Konvergenz zu einem lokalen Optimum. In Bezug auf die Ausgangsparametrisierung nach De Jong von 0,001 erhöhte er diese im Experiment auf 0,01. In einer kleinen Population von 20 – 40 Individuen führten entweder hohe Crossoverraten kombiniert mit geringen Mutationsraten oder umgekehrt zu guten Ergebnissen. Dieser Sachverhalt wurde durch Hesser & Männer [1991, S. 30] bestätigt. In Bezug auf das Generation-Gap wurde von Grefenstette festgestellt, dass, wenn nur wenige Individuen unverändert in die Nachfolgepopulation eingehen, dies die Performance allgemein verbessert. Auch für den Elitismus, in Form des unveränderten Übergangs des besten Individuums in die Nachfolgepopulation, wurde dies festgestellt. Grefenstette weist darauf hin, dass die Ergebnisse nicht verallgemeinert und unabhängig von dem Anwendungsfall übernommen werden können [Grefenstette 1986, S. 128].

Schaffer et al. [1989] führten einen systematischen Test mit unterschiedlichen Parametrisierungen in Bezug auf eine Auswahl von 10 Optimierungsproblemen durch. Es wird ausgeführt, dass eine gute (on-line) Performance erwartet werden kann, bei einer Anzahl von 20 - 30 Individuen, einer Crossoverrate (2-Punkt-Crossover) von 0,75 - 0,95 und einer Mutationsrate von 0,005 - 0,01 [Schaffer et al. 1989, S. 55]. Dies entspricht annähernd der Parameterausprägung, welche auch Grefenstette anführt. Ferner stellen Schaffer et al. [1989, S. 57] fest, dass die

11. *Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell*

Kombination aus kleinen Populationen (<20) und Mutationsraten (<0,002) nie die beste Performance in ihren Tests zeigten.

Reeves [1993] untersucht in seiner Arbeit den minimalen Umfang, den eine Population haben sollte. Er stellt heraus, dass es durchaus Anwendungsfälle gibt, die es bedingen, eine möglichst kleine Populationsgröße aufzuweisen und wo die Anzahl der Evaluierungen begrenzt ist. Als minimale Populationsgröße wird festgehalten, dass aus der initialen Population jeder Punkt im Lösungsraum allein durch Crossover erreichbar sein soll [Reeves, Colin, R 1993, S. 93]. Das heißt, jede zulässige Genausprägung muss in der initialen Population vorhanden sein. Wie sich zeigt, steigt die geforderte Populationsgröße sehr schnell an. Schon bei $q = 3$ (q symbols to M position) wird eine Population von 20 Individuen angezeigt [Reeves, Colin, R 1993, S. 95]. In Bezug auf Alphabete mit höherer Kardinalität (als binär) werden nochmals größere Populationen erforderlich. Um trotzdem kleinere Populationen einsetzen zu können, wird zur Kompensation eine höhere Mutationsrate als im binären Fall erforderlich.

Als Pendant hierzu geben Hammel & Bäck [1998, S. 11] als Orientierung bezogen auf die Klasse der Evolutionären Algorithmen an, dass kleine konstante Mutationsraten große Populationen zum Erhalt der Diversität benötigen.

Ochoa et al. [2000] untersucht die maximale (kritische) Mutationsrate, zu der die Population sich noch konstruktiv weiterentwickelt. Hierbei werden zu hohe Mutationsraten als zerstörend (destruktiv) für die Population verstanden. Es wird festgestellt, dass der Selektionsdruck einen signifikanten Einfluss auf die Mutationsrate hat. Umso höher der Selektionsdruck, umso höher fällt die optimale Mutationsrate aus. Der Selektionsdruck kann durch das Selektionsverhalten variiert werden, z.B. mit oder ohne Elitismus.

In der weiteren Entwicklung wurde der Frage nachgegangen, wie sich das Optimierungsverhalten verändert, wenn die Parameter als dynamisch angesehen werden. De Jong [1975, S. 94] setzt testweise die Mutationsrate in Abhängigkeit zur Populationsgröße, um die Auswirkung im Rahmen der Suche nach einer optimalen Mutationsrate zu untersuchen. Aber, auch dies stellt auf eine statische Mutationsrate zur Laufzeit des Genetischen Algorithmus ab. Fogarty [1989] stellt erstmals die Mutationsrate in einen zeitabhängigen Bezug und damit variabel zur Laufzeit. Mit der sich im Zeitverlauf absenkenden Mutationsrate zeigt sich eine signifikante Steigerung der Performance. Hesser & Männer [1991, S. 31] kommen ebenfalls zu der

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Erkenntnis, dass die Mutationswahrscheinlichkeit während des Konvergierens zurückgehen sollte.

Bäck [1992] geht einen Schritt weiter und führt die Anpassung der Parameter dynamisch auf der Ebene des eigentlichen Optimierungsgegenstandes durch, ohne eine darüber liegende Metaebene, wie bei Grefenstette, einzusetzen. Bäck setzt hierzu den Mutationsparameter als Teil der genetischen Repräsentation und damit individuell für jedes Individuum um. Er konnte damit zeigen, dass unabhängig von den drei zugrunde gelegten Testfunktionen sich die im Zeitverlauf ändernden (selbst-adaptiven) Algorithmen bessere Ergebnisse lieferten als der Referenzalgorithmus. Er sieht dies als ein starkes Argument für die allgemeine Einführung von adaptiven Mutationsraten.

Pierrot & Hinterding [1997] betrachten die Mutations- und Crossoverrate bezogen auf Multichromosomenrepräsentationen. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Parameterausprägungen entsprechend der Anzahl an Chromosomen anzupassen sind [Pierrot & Hinterding 1997, S. 144]. Nur ein Chromosom(paar) dem Crossover resp. der Mutation zu unterziehen, brachte bei Pierrot & Hinterding kein gutes Ergebnis. Alternativ wird aufgeführt, die Rate im anteiligen Verhältnis je Chromosomen anzuwenden. In Bezug auf die Mutationsrate wurden im Falle einer 2-Chromosomenrepräsentation die besten Ergebnisse erzielt, indem die Mutationsrate durch die Anzahl der Chromosomen geteilt und auf jedes Chromosom angewendet wurde.

Hinterding [1997] betrachtet in einer weiteren Arbeit auch die hier zur Anwendung kommende multichromosomale Repräsentation unter dem Gesichtspunkt der Selbstadaption. Hierbei geht er denselben Weg der Repräsentation der Parameter wie Bäck. Die Kodierung erfolgt direkt im Erbgut, in diesem Fall aber in Form eines eigenen Chromosoms. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass der selbstadaptierende Genetische Algorithmus bessere Ergebnisse liefert als der Kontrollalgorithmus. Dieses Ergebnis konnte aber nicht bei einfachen Problemstellungen und ebenso nicht bei einem geringen Umfang an Evaluierungsläufen gezeigt werden [Hinterding 1997, S. 90]. Dies wird auf die Aufwendungen des Algorithmus zurückgeführt, sich zu Beginn der Optimierung von der Ausgangsparametrisierung zu lösen.

Die Parameterausprägungen der aufgeführten Untersuchungen unterscheiden sich u.a. hinsichtlich der zugrunde liegenden Problemstellung und der Repräsentation (Kodierung). Eine eindeutige, allgemeingültige, problemunabhängige Aussage hinsichtlich Parameterausprägung und Kombination konnte bis heute nicht gefunden

werden. Nach wie vor beschäftigt sich die Wissenschaft mit der Wirkung der Kontrollparameter im Zusammenspiel und die optimale Parametrisierung dieser (siehe [Yoon & Kim 2012, S. 65–79] in Bezug auf die Rolle von Crossover und Mutation bei Real-Kodierung des Erbguts). Die Entwicklung zeigt in die Richtung problemspezifischer Selbstadaption (ähnlich der Evolutionsstrategien). Aus dem Konsens geht hervor, dass ein adaptives Verhalten im Speziellen in Bezug auf die als am wichtigsten eingeschätzte Mutationsrate Performancevorteile birgt (siehe [Schaffer et al. 1989, S. 59; Bäck 1993, S. 7, 1996, S. 228; Kühn et al. 2013b]).

Auf Grundlage der bisherigen Schilderungen zurückliegender Untersuchungen werden die Parameterausprägungen für die vorliegende Arbeit wie folgt gewählt:

Das hier zu optimierende Simulationsmodell lässt einen relativ hohen Zeitaufwand zur Simulation eines Individuums erwarten (u.a. durch die Einschwingzeit). Zugleich sind durch den stochastischen Charakter die Individuen mehrfach zu simulieren, um den stochastischen Einfluss auszublenden (siehe Unterabschnitt 11.2.1). Vor diesem Hintergrund wird eine Populationsgröße von 30 Individuen gewählt. Dies wird in der Literatur noch als ausreichend groß bei Genetischen Algorithmen angesehen. Da es für die Wertausprägung der Crossover- und Mutationsrate derzeit keine Referenzen bezogen auf die hier vorliegende Problemstellung, die multichromosomale Umsetzung und reale Kodierung, gibt, erfolgt hier zunächst keine Festlegung. Im Weiteren werden verschiedene Wertausprägungen innerhalb der Spanne der in der Literatur aufgezeigten Wertausprägungen angesetzt und in Bezug auf die damit erreichte Performance des Algorithmus später miteinander verglichen (siehe Abschnitt 13.3 zu den Szenarien). Bezogen auf die Crossoverrate werden in der Literatur Werte von 0,6 – 0,95 aufgeführt. In der vorliegenden Arbeit wird auf 0,6, 0,75 und 0,95 abgestellt. Die Mutationsrate wird in der aufgeführten Literatur in der Spanne von 0,001 – 0,01 als am performantesten angegeben. Im Weiteren wird hier im statischen Fall eine Mutationsrate von 0,001, 0,005 und 0,01 getestet. Auf der Basis der relativ klein gewählten Populationsgröße werden die Mutationsraten in Ergänzung, mit dem damit verbundenen höheren explorativen Charakters, auch in höheren Ausprägungen von 0,02, 0,03 sowie 0,05 getestet. Der Entwicklungstendenz folgend wird zudem eine variable (selbstadaptive) Mutationsrate eingesetzt. Die umfangreiche Betrachtung der Mutationsrate ist hier nicht zuletzt vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Mutationsrate in der Literatur als der sensitivste Kontrollparameter ausgewiesen wird, mit großem Einfluss auf die (effiziente) Konvergenz des Genetischen Algorithmus [Schaffer et al. 1989, S. 55, 59; Bäck 1993, S. 7]. Der Elitismus wird zunächst nicht angewendet. Das Generation Gap wird De Jong folgend mit 1,0 gewählt (die gesamte Population wird ersetzt).

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Eine Übersicht der Parameter und deren gewählter Ausprägungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt (siehe Tab. 73).

Parameter	Ausprägung
Populationsgröße	30
Mutationsraten	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,03 / 0,05 / variabel
Crossoverrate	0,60 / 0,75 / 0,95
Generation-Gap	1,0
Elitismus	nein

Tab. 73: Übersicht der in der vorliegenden Arbeit gewählten Ausprägung der Kontrollparameter des GA

11.3 Variable Mutationsrate in Abhängigkeit zur Fitness der Einzelchromosomen

Im vorherigen Unterabschnitt wurde eingehend auf die Entwicklung und die Herausforderungen bei der möglichst optimalen Ausgestaltung von Kontrollparametern eines Genetischen Algorithmus eingegangen. Wie sich zeigt, ist dies zu großen Teilen als problemspezifisch anzusehen, somit abhängig von der Problemstellung wie auch der Problemkodierung. Als möglicher Ausweg wurden verschiedene Ansätze aufgeführt, welche auf die Selbstadaption - im Speziellen bezogen auf die Mutationsrate - abstellen. Diese Entwicklungstendenz wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie bei einem Genetischen Algorithmus mit Multichromosomenrepräsentation eine variable Mutationsrate ausgestaltet werden kann. Diesbezüglich wird der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte und in Kühn et al. [2013b] vorgestellte Ansatz auf die vorliegende Problemstellung bezogen umgesetzt. Zur Implementierung im MLDesigner siehe Severin [2014, S. 64 ff.]. Ziel ist zu überprüfen, ob sich der Ansatz auf die vorliegende Problemstellung bezogen eignet und ob sich die Performance des GA damit steigern lässt, um die erwarteten langen Optimierungszyklen zu verkürzen (siehe Kapitel 13).

Kühn et. al [2013b] gehen bei einer funktional gegliederten, multichromosomalen Repräsentation der Frage nach, ob mit einer chromosomenspezifischen, variablen Mutationsrate ein Performancevorteil bei einem Genetischen Algorithmus geschaffen werden kann. Der Ansatz sieht vor, dass neben der Fitness der Individuen (Individuenfitness) eine Fitness der Einzelchromosomen (Chromosomenfitness) bestimmt wird. Über die Fitness der Chromosomen determiniert sich schließlich die jeweilige auf das Chromosom anzuwendende Mutationsrate. Zudem wird die Mutationsrate im Zeitverlauf kontinuierlich abgesenkt. Dies erfolgt in Anlehnung an Fogarty [1989] und Hesser & Männer [1991]. Der Ansatz basiert auf der Idee, dass zu Beginn der Optimierung mit hohen Mutationsraten der Lösungsraum möglichst umfänglich erschlossen wird (hohe Exploration). Im weiteren Verlauf der

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Optimierung wird die Mutationsrate kontinuierlich um einen definierten Faktor je Generationswechsel abgesenkt. Damit werden die Bereiche des Lösungsraums, in den sich die Individuen bis dato angefounden haben, fokussiert (reduzierte Destruktivität). Die Lösungen werden durch ein im Verhältnis nun stärker wirkendes Crossover „geschärft“. Die variable Mutationsrate auf Basis der Chromosomenfitness ermöglicht die Mutationsrate individuell je Chromosomen auszugestalten. Sofern ein Chromosom bereits sehr gut aufgestellt ist, wird dieses anhand der besseren Chromosomenfitness weniger stark durch die resultierende Mutation verändert. Ist das Chromosom weniger gut ausgeprägt, wird ein größerer Sprung im Lösungsraum getätigt, durch eine resultierende höhere Mutationsrate. Die Mutationsrate wurde im Maximum mit 0,5 und im Minimum mit 0,01 angesetzt. Hiermit ist die maximale Mutationsrate zu Beginn mit 0,5 verhältnismäßig hoch, im Vergleich zu der bisher aufgeführten Literatur. Ein Absenken der Mutationsrate auf 0 erfolgt nicht. Somit bleibt immer die Möglichkeit der Mutation gegeben. Kühn et al. haben die Effekte ihres Ansatzes zur selbstadaptiven Mutationsrate an der GA-Performance untersucht. Getestet wurde der Ansatz an zwei Funktionen (De Jong, Schwefel), im nativen Fall ohne Crossover (NE) sowie mit zusätzlichem Crossover (MCE). Es wurden dahingehend Mutationsraten von 0,001, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2 und 0,5 angewendet. Darüber hinaus wurde der Ansatz nach Fogarty [1989] für die beiden Testfunktionen umgesetzt. Im direkten Vergleich der Ergebnisse konnte ein deutlicher Performancezugewinn bei dem vorgestellten selbstadaptiven Ansatz der Mutationsrate gegenüber den regulären statischen Mutationsraten, wie auch gegenüber dem von Fogarty vorgeschlagenen, rein zeitvarianten Ansatz, aufgezeigt werden. Darüber hinaus gibt es bei dem verfolgten Ansatz keine „Kosten“ der Selbstadaption, wie diese z.B. im Ansatz von Hinterding [1997] aufgetreten sind.

Es wird nun im Weiteren untersucht, ob sich die in Kühn et al. [2013b] aufgezeigten Effekte am hier vorliegenden komplexen Anwendungsfall der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung reproduzieren lassen.

Vorbedingung für die Anwendung ist eine funktionale Teilung der Chromosomen. Dies ist in der vorliegenden Arbeit bereits gegeben. Darüber hinaus bedingt der Ansatz, dass ein neues Individuum, wie in den Arbeiten von Hinterding [1997, S. 90] sowie Pierrot & Hinterding [1997, S. 140], entweder durch Mutation oder Crossover, nicht durch Anwendung beider, nacheinander entsteht [Kühn et al. 2013b]. Dieser Festlegung wird hier gefolgt und ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Mutationsrate auf die Güte des Chromosoms abstellt und darauf bezogen kleiner oder größer ist. Wird nun durch ein Crossover das Individuum verändert, ist die

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

anzuwendende Mutationsrate nicht mehr der Güte entsprechend und verfehlt in der Konsequenz die Zielstellung.

Für die weitere Umsetzung der variablen Mutationsrate sind folgende Schritte festzuhalten:

- Aufstellen von Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness,
- Berechnung der Chromosomenfitness und
- Ableitung der Mutationsraten.

11.3.1 Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness

Im Folgenden werden die Kennzahlen je Chromosomen definiert, anhand welcher die Chromosomenfitness je Chromosomen berechnet wird. Im grundsätzlichen Vorgehen werden Zielgrößen als Kennzahlen ausgesucht, welche durch die Planung des jeweiligen Chromosoms direkt beeinflusst werden. Die im Weiteren aufgeführten Kennzahlen werden für den jeweiligen Bereich im Messzeitraum (ohne Einschwingzeit) erhoben und zum Zweck der Normierung u.a. auf die Woche oder die Gesamtanzahl der jeweiligen Patienten bezogen. Zur Berechnung dieser werden die Datenbankfunktionen „Evaluate_Simulation“ und „Yield“ erweitert. Nach der Berechnung werden die Kennzahlen in der zentralen Datenbank in der „simulation“ Tabelle, unter der jeweiligen Bezeichnung der Kennzahl, abgelegt. Im Späteren wird auf der Basis dieser Kennzahlen die jeweilige Chromosomenfitness berechnet.

(a) Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Zugangsplanung (CZ01-CZ06)

Ziel der Zugangsplanung ist, einen Umfang an Patientenzuflüssen zu erreichen, damit die Ressourcen möglichst optimal ausgelastet werden (gleichmäßige Auslastung bei minimalem Leerstand). Gegenläufig dazu ist angestrebt, dass im weiteren Verlauf der eingesteuerten Patienten die Wartezeiten derer resp. die Durchlaufzeit im System möglichst minimal sind (vgl. Dilemma der Ablaufplanung). Die chromosomenspezifische Zielausrichtung zur Optimierung der einzelnen Zugangspunkte und die daran abgeleiteten Kennzahlen sind im Anhang A84 aufgeführt und erläutert.

In der Aufstellung wurden je Chromosom drei Kennzahlen aufgeführt. Zunächst wird je Zugangsbereich mit einer Kennzahl auf die zu maximierende Anzahl der Patienten abgestellt. Als gegenläufige Ziele wird mit zwei weiteren Kennzahlen die jeweilige Verfügbarkeit der Engpassressource zugrunde gelegt. Im Falle der stationären Aufnahme ist dies die zu minimierende Wartezeit auf ein Stationsbett. Für die Bewertung der Funktions-/OP-Bereiche wird auf die zu minimierende Wartezeit an

11. *Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell*

der jeweils beanspruchten Ressource (ECHO, EKG oder HKL) abgestellt, da sich die ambulanten, elektiven Patientenzugänge von extern sich tatsächlich nur auf diese Ressource beziehen und hier eine direkte Auswirkung der geplanten Anzahl an Patientenzugängen zu erwarten ist. Lediglich bei der kard. Ambulanz muss hiervon abgewichen werden, da nachgelagerte Ressourcenbeanspruchungen variieren und nicht direkt terminlich geplant werden (nicht-elektive Anforderungen). Auch eine Kennzahl, bezogen auf die Engpassressource Arzt der kard. Ambulanz, erscheint hier nicht sinnvoll, da der Zeitpunkt des Arztbesuches nicht terminiert und in der Reihenfolge des Auftretens im Ablauf variieren kann. Unter diesen Gesichtspunkten wird die Durchlaufzeit als Kennzahl gewählt, wie bereits auf Individuenebene in der Ertragsfunktion. Diese beinhaltet indirekt etwaige Wartezeiten und die Ressourcenverfügbarkeiten aller im weiteren Verlauf beanspruchten Bereiche. Als dritte Kennzahl wird wieder auf die besonders unerwünschten Vorkommnisse abgestellt. Im Konkreten, dass ein Patient am Tag der Aufnahme kein Stationsbett erhält, terminlich geplante Patienten am Tag des Termins nicht mehr abgearbeitet wurden oder Ambulanzpatienten nicht alle angesetzten Maßnahmen am Tag der Aufnahme durchlaufen haben. Dies ist entsprechend negativ zu werten und soll im Auftreten minimiert werden. Im Unterschied zu der Ertragsfunktion werden diese Kennzahlen nun nicht mit Erlösen/Kosten bewertet und gewichtet, sondern zunächst auf eine Bezugsgröße hin normiert, z.B. je Kalenderwoche oder je Patient. Die Gewichtung der drei Kennzahlen untereinander erfolgt im Späteren direkt über einen Multiplikator.

(b) Kennzahlen zur Berechnung zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Zugangsplanung (CZ07)

Im Rahmen der Zugangsplanung wird ein Chromosom (CZ07) geführt, welches die prästationären Patienten plant. Die diesbezüglich angesetzten Kennzahlen sind im Anhang A84 aufgeführt. Auch in diesem Fall sind es drei Kennzahlen mit gegenläufigen Zielstellungen und es wird nicht auf die Wartezeit einer zu beanspruchenden Engpassressource abgestellt, sondern auf die Durchlaufzeit. Der Hintergrund dessen ist darin zu sehen, dass es sich hier um ambulante Patienten handelt, welche kein Stationsbett beanspruchen und zum Zeitpunkt der Aufnahme keine patientenspezifischen Termine in nachgelagerten Ressourcen geplant sind.

(c) Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Terminplanung (CT01-CT02)

Die Kennzahlen zur Berechnung der Fitness der Chromosomen zur Terminvergabe sind im Anhang A85 aufgeführt. In der Strukturierung werden wie zuvor auch drei Kennzahlen angesetzt, welche an einer Bezugsgröße ausgerichtet werden, z.B. Wartezeit vor dem Ruhe-EKG je Ambulanzpatient. Da die Zugangsplanung bereits

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

die Zielstellung verfolgt, die Patienten in der Anzahl zu maximieren, kann hier nun dediziert auf die Auslastung der Engpassbereiche, wie die aufgeführte Wartezeit vor dem Ruhe-EKG oder die Wartezeit auf die ärztliche Anamnese bezogen auf die kard. Stationen, abgestellt werden. Daran ausgerichtet werden in den Terminvergabechromosomen eine möglichst optimale Einbestellungsfolge, die Terminabstände und die Anzahl Patienten je Termin gesucht.

(d) Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Reservierungsplanung (CR01-CR06)

Für die Chromosomen zur Planung von Reservierungen resp. von Puffern, sind die Festlegungen zu den konkreten Kennzahlen im Anhang A86 aufgeführt.

Mittels im Chromosom CR01 geplanter Puffer ist angedacht, die zeitliche Abweichung vom geplanten Termin (Termintreue) im HKL1 zu erhöhen und damit Terminverschiebungen und eintretende Notfälle zu kompensieren. Als gegenläufige Kennzahlen werden die Anzahl der behandelten Patienten im HKL1 je Woche (inkl. Notfälle) und die Terminabweichung je elektivem Patient zugrunde gelegt. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass es nicht erklärtes Ziel sein kann die Anzahl der Puffer zu maximieren. Zwar geht damit in der Erwartung eine Reduktion der Terminabweichung einher, aber die Anzahl der Patienten würde sich unverhältnismäßig reduzieren und damit tendenziell zu einer reduzierten Ressourcenauslastung führen. Dies wäre in Bezug auf das Gesamtziel nicht zielführend. Daher wird hier die zu maximierende Anzahl behandelter Patienten als gegenläufiges Ziel und Kennzahl eingesetzt.

Ziel der Terminreservierungen mittels der Chromosomen CR02-CR06 ist eine bessere Terminverfügbarkeit für elektive Patienten der kard. Stationen, bezogen auf die Maßnahmen im Rahmen der Voruntersuchungen (siehe Anhang A62 (d) zur zeitlichen Abgrenzung) sowie für elektiven Patienten der kard. Ambulanz, in Bezug auf die bessere Planbarkeit derer nicht-elektiven Maßnahmenanforderungen im EGK und ECHO. Die vom Optimierungsalgorithmus geplanten Reservierungen sind im Umfang möglichst effizient zu nutzen. Somit wird die erste Kennzahl nicht auf die reine zu maximierende Anzahl abgestellt, sondern auf den Nutzungsgrad, welcher zu maximieren ist. Werden alle eingestellten Reservierungen genutzt, ist der Nutzungsgrad optimal, unabhängig von der Anzahl eingestellter Reservierungen. Daher bedarf es einer zweiten Kennzahl, welche hier die zu maximierende Anzahl der Reservierungen selber ist.

In Ergänzung ist in der Aufstellung wieder die jeweilige Bezugsgröße je Kennzahl angegeben.

11.3.2 Berechnung der Fitnesswerte der Chromosomen

Nachdem nun die Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness aufgestellt wurden, wird im Folgenden erläutert, wie sich hieraus ein Fitnesswert errechnet. Je Chromosom werden die aufgeführten Kennzahlen in der Fitnessfunktion zunächst über einen Multiplikator gleichverteilt miteinander kombiniert. Jede Kennzahl geht somit zunächst mit dem gleichen Gewicht in die Fitness des Chromosoms ein und kann später justiert werden.

Die Berechnung der Fitness unterscheidet sich dahingehend, ob die jeweilige Kennzahl zu maximieren oder zu minimieren ist (siehe [Weicker 2007, S. 72]).

Berechnung bei Minimierung: $f_{C,i} = \frac{x_{C,i} - e_{C,i}}{x_{C,i}}$; $i = 1 \dots n$; $C = 1 \dots m$; $i, C \in N$

Berechnung bei Maximierung: $f_{C,i} = \frac{e_{C,i}}{x_{C,i}}$; $i = 1 \dots n$; $C = 1 \dots m$; $i, C \in N$

Chromosomenfitness: $F_C = \sum_i^n (f_{C,i} * g_i)$; $i = 1 \dots n$; $i, n \in N$

Hierbei sind:

F_C = Fitnesswert des Einzelchromosoms

$f_{C,i}$ = Zwischenwert der Einzelkennzahl des Chromosoms

$e_{C,i}$ = erreichte Ausprägung der jeweiligen Kennzahl

$x_{C,i}$ = maximal zu erwartende Ausprägung der jeweiligen Kennzahl

n = Anzahl der Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness

m = Anzahl der Chromosomen im Individuum

g = Gewichtung

Die aufgeführten maximalen Ausprägungen werden dem Algorithmus über dedizierte Parameter zugänglich gemacht.

In Bezug auf die Reservierungen gibt es eine Ergänzung. Hier wird bei der Kennzahl nicht von einer maximalen, sondern von einer tatsächlichen Ausprägung ausgegangen, welche zu der Gesamtanzahl eingestellter Reservierungen ins Verhältnis gesetzt wird.

Berechnung bei Minimierung: $f_{C,i} = \frac{u_{C,i}}{r_{C,i}}$; $i = 1 \dots n$; $i, n \in N$

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Hierbei sind:

$u_{c,i}$ = Anzahl genutzter Reservierungen

$r_{c,i}$ = Anzahl im Terminkalender eingestellte Reservierungen

Durch die aufgeführten Berechnungen wird im Ergebnis für die Optimierungsrichtungen eine Angleichung mit dem Zielwert 1 erreicht. Damit sind die Werte, sofern der Fitnesswert zu maximierende und zu minimierende Kennzahlen beinhaltet, miteinander kombinierbar.

Der Werte der sich ergebenden Fitness ist:

0 = schlechtester Wert und

1 = bester Wert.

Im Gegensatz zur Ertragsfunktion resp. dem Fitnesswert des Individuums stellt der sich hier ergebende Fitnesswert ein direktes Gütemaß der im jeweiligen Chromosom durchgeführten Planung dar.

11.3.3 Ableitung der Mutationsrate

Die Mutationsrate wird in Kühn et al. [2013b] auf die Chromosomenfitness zum jeweiligen Generationswechsel bezogen umgesetzt. In der gewählten Ausprägung können Mutationsraten im Bereich von 0,5 – 0,001 auftreten. Hiermit ist die Mutationsrate zu Beginn mit 0,5 verhältnismäßig hoch angesetzt, in Bezug auf die Ausprägung der bisher aufgeführten Literatur. Dem wird hier jedoch gefolgt. Die Festlegung wird mit der Erkenntnis von Wright [1991, S. 216] begründet, welcher feststellte, dass die Mutationsrate bei real-kodierten Repräsentationen (wie dies hier vorliegt) höher angesetzt werden sollte als bei Binär-Kodierungen. Bezogen auf den Algorithmus wird die maximale Mutationsrate im bereits existierenden Parameter „MutationRate“ übergeben. Im Weiteren wird dieser synonym als „MaxMutationRate“ bezeichnet. Für die Parametrisierung der minimalen Mutationsrate wird ein neuer Parameter „MinMutationRate“ angelegt. Ferner wird ein Parameter implementiert, welcher angibt, bei welcher Generation die minimale Mutationsrate erreicht werden soll. Hieraus errechnet sich die Absenkgeschwindigkeit der maximalen Mutationsrate im Zeitverlauf. Schließlich wird über den Parameter „dynamicMutationRate“ mit dem Wert „true“ die variable Mutation aktiviert. Im deaktivierten Fall (Parameterwert „false“) wird der Wert im Parameter „MutationRate“ als statische Mutationsrate angenommen.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Im Folgenden gilt es nun:

- die Ableitung der Mutationsrate aus der Chromosomenfitness und
- die zusätzliche kontinuierliche Absenkung der Mutationsrate im zeitlichen Verlauf zu erläutern.

Die Ableitung der Mutationsrate aus dem Fitnesswert folgt den Ausführungen in Kühn et al. [2013b]. Es wird hier auf eine lineare Funktion abgestellt, welche sich in der Arbeit von Kühn et al. als vorteilhafter erwies. Bezogen auf den hier zugrunde gelegten maximalen Wert von 0,5 und minimalen Wert von 0,001, innerhalb welcher die Mutationsrate jeden beliebigen Wert annehmen kann, ergibt sich die Funktion zur Berechnung als:

$$p_{m_c} = \text{MaxMutationRate} - (\text{MaxMutationRate} - \text{MinMutationRate}) * F_c; \quad 0 \leq F_c \leq 1;$$

Im Fall der Chromosomenfitness von 1 ist damit die Mutationsrate bei 0,001 und im schlechtesten Fall, bei einer Fitness von Null, liegt die errechnete Rate bei 0,5.

Im Weiteren ist eine Reduktion der Mutationsrate im zeitlichen Verlauf vorzunehmen. Grundsätzlich wäre dies schon allein dadurch zu erwarten und gegeben, dass sich die Lösungen sukzessive verbessern. Da hier aber keine Gesamtbetrachtung erfolgt, sondern eine chromosomenspezifische Sicht vorliegt, kann es durchaus sein, dass Chromosomen in der Planung sich als sehr schlecht erweisen, dies aber in der Gesamtbetrachtung als optimal anzusehen ist. In diesem Fall sollte keine unnötig hohe Mutation zu einem späten Zeitpunkt der Optimierung die vorliegende Planung wieder zerstören.

Das zeitliche Absenken der Mutationsrate erfolgt dem Ansatz von Kühn et al. [2013b] folgend. Der maximale Wert, welchen die Mutationsrate im Zeitverlauf annehmen kann wird mit jedem Generationswechsel sukzessive reduziert. Der Wert d , um den diese Reduktion erfolgt, berechnet sich wie folgt:

$$d = \frac{\text{MaxMutationRate}}{\text{MinMutationRateAtGen}} \times \text{aktuelle Generationsnummer}$$

„MinMutationRateAtGen“ bezeichnet hierbei den Parameter, welcher die Anzahl der Generationen angibt, bis zu welcher die minimale Mutationsrate erreicht werden soll. Initial ist diese zu parametrisieren.

11. Adaption des Genetischen Algorithmus zur Umsetzung der Planung im Soll-Modell

Der Wert d wird für die jeweilige Generation errechnet und von der maximal möglichen Mutationsrate abgezogen. Die vollständige Berechnungsgrundlage der Mutationsrate ist damit nun wie folgt:

$$p_{m_c} = \max(\text{MinMutationRate}, \text{MaxMutationRate} - (\text{MaxMutationRate} - d - \text{MinMutationRate}) * F_C)$$

Fällt die errechnete Mutationsrate unter den als minimale Mutationsrate angegebenen Wert, wird die anzuwendende Mutationsrate mit der minimalen Mutationsrate statisch für die weiteren Generationen gehalten. Dies erfolgt mit der Generation, welche am Parameter „MinMutationRateAtGen“ eingestellt wurde (siehe Abb. 128 beispielhaft für MinMutationRateAtGen=1000).

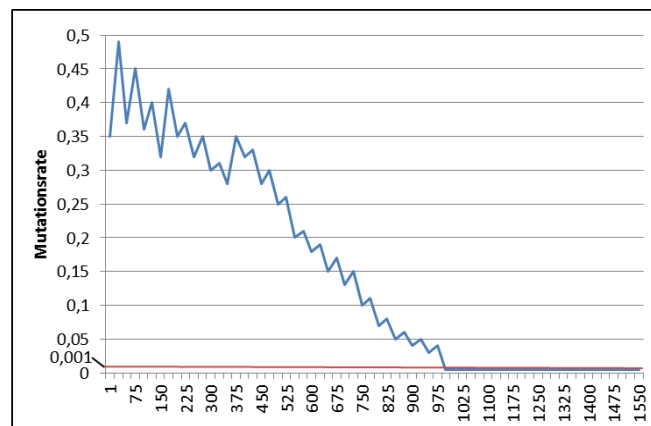


Abb. 128: Beispielhafte Darstellung der Mutationsraten im Zeitverlauf

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

In diesem Kapitel werden die Umsetzung der Optimierungsschleife, die Verbindung des Genetischen Algorithmus mit dem Simulationsmodell (Schnittstellen) und die darüber hinaus erforderlichen Erweiterungen zum Aufbau des Optimierungsmodells erläutert.

12.1 Export des Soll-Modells (Klinikmodell)

Das Klinikmodell (bisher als Simulationsmodell, Ist-/Soll-Modell bezeichnet) liegt zu diesem Zeitpunkt im MLDesigner auf Systemebene vor. Für die weitere Arbeit wird das Soll-Modell exportiert. In der Form eines exportierten Containers (ausführbares Programm)¹¹⁰ sind etwaige Änderungen im Aufbau des Modells nicht mehr möglich. Die Vielzahl der im Modell angelegten Systemparameter sind im Zuge des Exports nun in einer dedizierten Parameterdatei (Dateiendung .params) abgelegt und können hierüber eingestellt und angepasst werden. Mit Aufruf des exportierten Modells werden diese eingelesen. Um das exportierte Modell direkt aus dem aufzubauenden Optimierungsmodell aufrufen zu können, bedurfte es der Implementierung einer Prozesssteuerung und -überwachung extern laufender Simulationsprozesse. Von Seiten der Firma Mission Level Design GmbH wurde dahingehend freundlicher Weise eine Bibliothek „Processhandling“ zur Prozesssteuerung entworfen und bereitgestellt. Mit dieser können externe Prozesse nun gestartet („Process_Start“), anhand der Prozess-ID auf Seiten des Betriebssystems überwacht („Process_GetState“) und bei Bedarf gezielt beendet werden („Process_Kill“). Letzteres kommt zur Anwendung, um extern laufende Simulationen, welche einen definierten Zeitraum überschritten haben, hart zu beenden. Mit einer Prüfroutine werden in der zentralen Datenbank die Einträge des Ertragswertes „Individual_Earnings“ überwacht. Sofern die Prozessüberwachung anzeigt, dass der Prozess beendet wurde, sich aber für das betreffende Individuum kein Ertragswert in der Datenbank findet, wird die betreffende Simulation (zu testendes Individuum) erneut gestartet¹¹¹ (siehe Abb. 129).

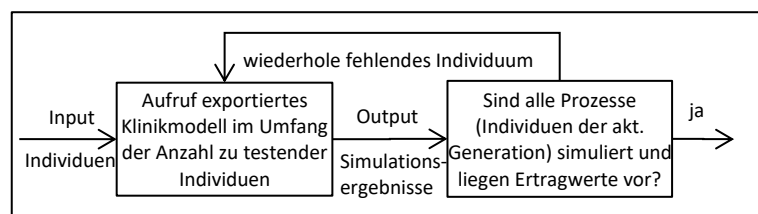


Abb. 129: Schematische Darstellung zum Ablauf

¹¹⁰ Dateiendung .i386-win32.

¹¹¹ Ein Neustart erfolgt mit den zugehörigen Planwerten und demselben Seed-Wert wie der zuvor auch verwendete.

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

Für gewöhnlich ließen sich Daten (z.B. die Planungswerte) zwischen dem implementierten Algorithmus und dem auszuführenden Klinikmodell über Ports oder eine interne Datenstruktur des Optimierungsmodells austauschen. Bei dem Aufruf eines exportierten Modells ist dies jedoch nicht möglich. Hier kommt der Arbeit zugute, dass bereits eine zentrale Datenbank angebunden ist, welche die Schnittstellenfunktion übernimmt. Darüber hinaus werden Textdateien genutzt, um spezifische Parameter an das Klinikmodell zu übergeben, u.a. die Simulations-ID (das Merkmal zur Identifizierung eines Individuums) und der Seed-Wert (zur Generierung der Zufallszahlenfolge).

12.2 Umsetzung der Optimierungsschleife

Zum Aufbau des Optimierungsmodells wurde ein neues System im MLDesigner angelegt. Das Klinikmodell wurde als Programmaufruf des exportierten Containers im Modul „Hospital Model“ eingebunden. Um den Aufruf des Klinikmodells herum wurde, wie in Abb. 130 dargestellt, eine Optimierungsschleife aufgebaut (siehe Abschnitt 4.9 zu den Grundlagen).

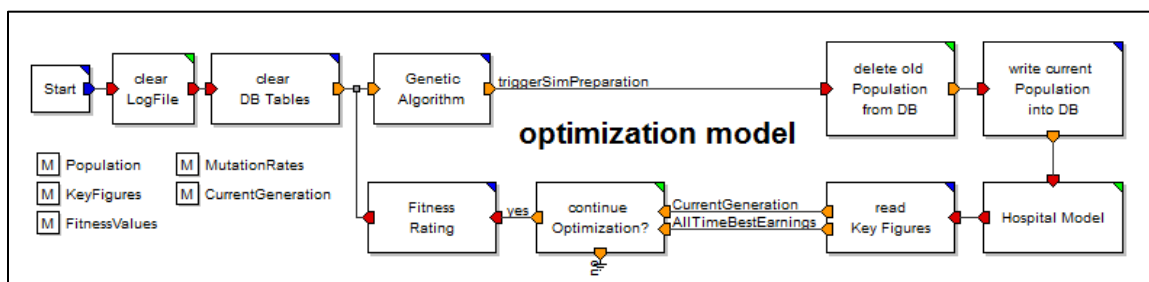


Abb. 130: Darstellung des Optimierungsmodells mit eingebundenem Genetischen Algorithmus (vgl. [Severin 2014, S. 73])

Das Primitiv „Start“ triggert das Optimierungsmodell zum Beginn der Optimierung. Mit dem Modul „ClearLogFile“ werden alle anhängigen Log-Dateien geleert resp. gelöscht. Die Log-Dateien dokumentieren Ereignisse im Ablauf der Simulation und der Optimierung oder dienen zur Übergabe von Systemparametern an das Klinikmodell. Im Primitiv „clear DB Tables“ werden alle im weiteren Ablauf mit Simulationsdaten zu befüllenden Tabellen der zentralen Datenbank geleert, um ggf. enthaltene Restbestände von vorhergehenden Optimierungsläufen zu beseitigen. Das im Ablauf folgende Primitiv „Genetic Algorithm“ beinhaltet den implementierten Genetischen Algorithmus, inklusive der im Abschnitt 11.2 ausgeführten genetischen Operatoren. Im ersten Durchlauf erzeugt dieses die Startpopulation. Über eine Simulations-ID wird jedes neu erzeugte Individuum eindeutig gekennzeichnet und im weiteren Ablauf danach differenziert. Die Simulations-ID besteht aus einem ganzzahligen Wert, der sich aus der fortlaufenden Generations- und der Individuum-Nummer (letzten zwei Stellen, max. 99) innerhalb der Generation zusammensetzt.

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

Zum Beispiel ist die Simulations-ID des 15. Individuums der 123. Generation gleich 12315. Im Ergebnis der Ausführung des Genetischen Algorithmus wird am Ausgabeport des Primitivs für jedes Individuum ein Partikel mit der jeweiligen Simulations-ID ausgegeben. Darauf folgend wird für jeden Durchlauf der Optimierungsschleife das Modul „delete old Population from DB“ ausgeführt, welches die vorhergehende Generation (Planung) aus der zentralen Datenbank löscht. Anschließend trägt das Modul „write current Population into DB“ die aktuelle Planung, somit alle neu erzeugten Individuen mit ihrer Simulations-ID, in der zentralen Datenbank ab. Auf diesem Wege stellt die zentrale Datenbank im Weiteren eine Schnittstelle zwischen dem Genetischen Algorithmus und dem exportierten Klinikmodell dar. An das mit „Hospital Model“ bezeichnete Modul werden nun die Partikel mit der jeweiligen Simulations-IDs übergeben, um simuliert zu werden. Das Modul ruft das entwickelte Klinikmodell - in diesem Fall das Soll-Modell - auf. Für jedes eingestellte Individuum wird das Klinikmodell ausgeführt. Anhand der übergebenen Simulations-ID werden die zugehörigen Planwerte aus der zentralen Datenbank geladen und bei der Ausführung verwendet. Die Simulationsergebnisse werden im Zuge der Ausführung des Klinikmodells in die zentrale Datenbank geschrieben und im Anschluss die erforderlichen Kennzahlen berechnet. Das in der Optimierungsschleife folgende Primitiv „read Key Figures“ liest nun die berechneten Kennzahlen aus der zentralen Datenbank (Tabelle „simulation“) aus. In dem mit „continue Optimization?“ bezeichneten Modul wird anschließend geprüft, ob die Optimierung die parametrisierten Zielgrößen hinsichtlich Güte (Parameter „MaxIndividualEarnings“) oder die maximale Anzahl der Generationen (Parameter „MaxGenerations“) erreicht hat. Ist dem so, wird die Optimierung beendet und der Partikel am Ausgabeport „no“ terminiert. Anderenfalls wird ein Partikel am Ausgabeport „yes“ ausgegeben. Das Primitiv „FitnessRating“ wird damit getriggert und es findet hiermit die Berechnung des Fitnesswertes statt. Die zu jedem Individuum/Chromosomen berechneten Fitnesswerte werden danach dem Genetischen Algorithmus über den Memory „FitnessValues“ übergeben. Anschließend wird wieder der Genetische Algorithmus ausgeführt, welcher mittels der genetischen Operatoren eine Folgepopulation (Kinder) erzeugt. Damit startet der nächste Optimierungsdurchlauf. Wird im Zuge des Generationswechsels ein neues bestes Individuum gefunden, werden die gesamten Simulationsdaten und Ergebniswerte mittels der Datenbankprozedur „STORE_PERSISTENT“ in persistente Tabellen wegkopiert, um zur späteren Auswertung verfügbar zu bleiben. Diese Tabellen haben in der zentralen Datenbank in ihrer Benennung „best_“ vorangestellt.

Bis auf die Module „Clear LogFile“ und „Hospital Model“ erfolgte die Implementierung durch T. Severin (siehe [Severin 2014, S. 73 ff.]).

12.3 Parallelisierung im Optimierungsmodell

Wie sich in den ersten Testläufen des implementierten Optimierungsmodells gezeigt hat, ist der größte Zeitverbraucher die Simulation des exportierten Klinikmodells zum Test der jeweiligen Planungen resp. Individuen. Um dies zeiteffizient durchzuführen, wurde bereits beim Modellaufbau auf die diskrete, ereignisgesteuerte Modelldomäne abgestellt (siehe Abschnitt 9.2). Es wird nun nach weiteren Möglichkeiten gesucht, um den Ablauf in der Zeit zu beschleunigen. Hammel & Bäck [1998, S. 17] führen aus, dass evolutionäre Prozesse in der Natur hochgradig parallel ablaufen. Evolutionäre Algorithmen besitzen „eine inhärente Parallelität, da die Reihenfolge der Zielfunktionsauswertung für die Individuen der Population $P(g)$ die Konvergenz des Algorithmus nicht beeinflusst.“ [Hammel & Bäck 1998, S. 17]. Grundsätzlich ist somit eine Parallelisierung auch im hier vorliegenden Anwendungsfall möglich. Hammel & Bäck [1998, S. 17] führen diesbezüglich weiter aus, dass die meisten traditionellen, direkten Optimierungsalgorithmen dem Wesen nach aber sequentiell sind. Auch in der vorliegenden Arbeit liegt bisher eine sequentielle Abarbeitung der Individuen vor. In einer Parallelisierung wird jedoch großes Potential gesehen. Bereits Standardhardware in der Rechentechnik verfügt heutzutage über mehrere Prozessoren. Die CPU-Auslastung zeigt zur Laufzeit der Optimierung eine noch geringe Gesamtauslastung (siehe Abb. 131). Ziel in der vorliegenden Arbeit ist es, das Optimierungsmodell so auszulegen, dass die Simulationsläufe zur Auswertung der Individuen auf die vorhandenen Prozessoren verteilt werden und somit parallel ablaufen.

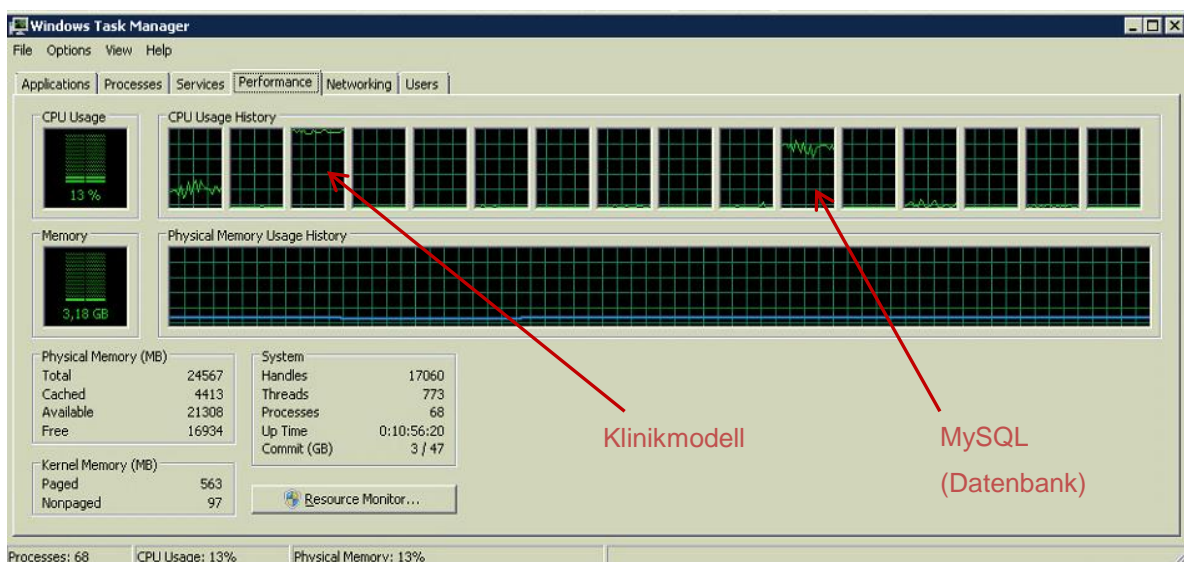


Abb. 131: CPU Auslastung bei nicht- parallelisierter Simulation

Law [2015, S. 62 ff.] sieht die Herausforderung in der Teilung der Simulation in verschiedene logische Prozesse (oder Sub-Modelle), welche dann verschiedenen Prozessoren oder Rechner zugeordnet werden können. Da eine Parallelisierung vom

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

gewählten Simulationssystem derzeit nicht direkt unterstützt wird, muss die Zergliederung manuell vorgenommen werden. Es besteht hierzu über das bereits exportierte Klinikmodell (ausführbares Programm) die Möglichkeit, dieses beliebig oft durch das Simulationssystem aufzurufen und auszuführen. Mit jedem Aufruf wird auf der Ebene des Betriebssystems ein eigenständiger Prozess gestartet. Das eingesetzte Windows-Betriebssystem kann nun mittels des eigenen Kernel-Schedulers die Prozesse eigenständig auf die verfügbaren Prozessoren verteilen, um eine möglichst optimale Gesamt-CPU-Auslastung zu erreichen.

Ein elementarer Umstand ist, dass das Simulationsmodell die zergliederten Modellteile in der richtigen Zeitfolge abarbeitet und die Ereigniszeitpunkte auch im verteilten Ablauf für das Gesamtmodell stimmig sind [Law 2015, S. 62]. Im vorliegenden Fall bleibt dies gewahrt, indem das Optimierungsmodell die Steuerung und Kontrolle über die parallel zu simulierenden Teile behält und jeder Teil für sich eine eigene abgeschottete Simulation (Einheit) bildet. Damit nun mehrere (externe) Simulationen parallel laufen können, wird das Modul „Hospital Model“ dahingehend umgebaut, dass der Prozessaufruf zum Start des Klinikmodells zwar sequentiell bleibt, der jeweilige Prozessablauf der externen Simulationen nun aber parallel verläuft. Es wird somit nicht mehr auf das Ende des laufenden Prozesses gewartet, bevor ein neuer Prozess gestartet und damit ein neues Individuum getestet wird. Im Ergebnis der Implementierung zeigt sich nun eine sehr gute Gesamt-CPU-Auslastung (siehe Abb. 132).

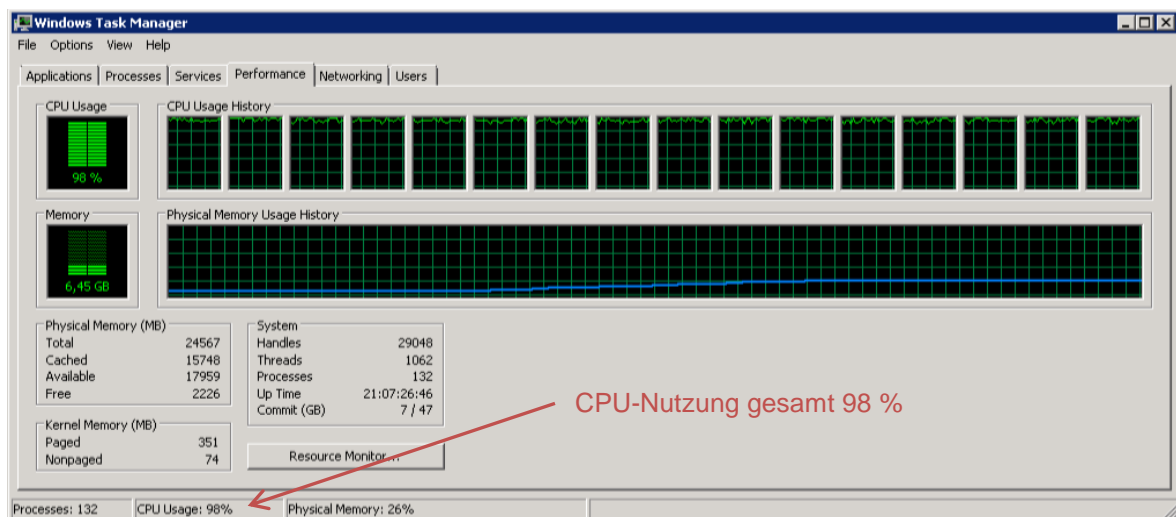


Abb. 132: CPU Auslastung bei parallelisierter Simulation

Um die Anzahl paralleler Simulationen zu steuern, ist im Optimierungsmodell der Parameter „max_number_of_parallel_sim_runs“ hinterlegt. Mit diesem lässt sich die Anzahl paralleler Simulationen auf einen definierten (möglichst optimalen) Wert einstellen. Welcher Wert dies konkret ist, hängt von den jeweiligen Gegebenheiten

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

der eingesetzten Hardware ab, z.B. Anzahl CPUs, RAM, und kann einfach ausgetestet werden.

In den durchgeführten Tests zum korrekten Ablauf wurde festgestellt, dass sich auf der Basis der Parallelisierung die Dauer zur Simulation einer Generation halbiert hat. Eine Test-Generation mit 20 Individuen und 7 Wochen Laufzeit konnte in ca. 6,5 Minuten statt zuvor ca. 13 Minuten simuliert werden.

Wie sich in den anschließenden Ablauftests zeigte, ist die Performance nun stark durch die Anzahl parallellaufender Prozesse beeinflusst. Durch Messungen konnte als Engpass eindeutig die Datenbank identifiziert werden. In der Zeit, wo für eine Simulation eine Operation auf der Datenbank läuft, werden alle anderen Operationen durch die Zugriffssteuerung der Datenbank pausiert. Grundsätzlich laufen zeitkritische Tabellen der Datenbank bereits im Arbeitsspeicher (storage_engine=MEMORY) und die Datenbank selber ist über eine Pipe angebunden. Dies stellt bereits die performanteste Art der Datenbanknutzung dar.

Auf Seiten der Datenbank konnte jedoch ein weiterer, deutlicher Performancezugewinn von ca. 30 % erreicht werden, indem eigenständige Sub-Datenbanken eingesetzt werden. Hierzu wurde einmalig ein Umfang an Sub-Datenbanken angelegt, welcher der eingestellten maximalen Anzahl parallel laufender externer Simulationen entspricht. In der Strukturierung sowie Funktion sind diese identisch zur Hauptdatenbank. Lediglich die Namensgebung unterscheidet dahingehend. Mittels eines ergänzten Übergabewerts bekommt nun jede extern laufende Simulation eine der Sub-Datenbanken zugewiesen. Bei dem Aufruf der Simulation wird diese initialisiert und die planungsrelevanten sowie dem Individuum zugehörigen Werte aus der Hauptdatenbank in die Sub-Datenbank kopiert. Hierfür ist in den Datenbanken die Prozedur „STORE_TO_SIM_DB“ hinterlegt. Nach dem Abschluss der externen Simulation werden mit der Datenbankprozedur „LOAD_TO_MAIN_DB“ die gesamten Simulationsdaten, inkl. der errechneten Kennzahlen, aus der Sub- in die Hauptdatenbank zurückgeschrieben. Die Kopiervorgänge sind im Verhältnis wenige und sehr schnell realisierbare Datenbankoperationen. Am bestehenden Ablauf des Optimierungsmodells musste auf der Basis keine Änderung vorgenommen werden. Die abschließende Messung zeigt, dass die Dauer für die Simulation eines Individuums im parallelen Fall, unter Vollast (CPU), nunmehr keinen signifikanten Unterschied mehr, im direkten Vergleich zur Einzelsimulation aufweist.

12.4 Evaluationskopien und Anpassung im Aufbau der Simulations-ID

In Unterabschnitt 11.2.1 (a) wurde spezifiziert, dass jedes Individuum mehrfach zu testen ist, um den stochastischen Einflüssen im Klinikmodell Würde zu tragen und die Robustheit der Lösungen zu erhöhen. Jeder erneute Durchlauf (Evaluationskopie) wird mit einem anderen Seed-Wert und damit einer anderen Zufallszahlenfolge simuliert. Die Anzahl der Wiederholungen kann über den Modellparameter „additional_evaluation_copies“ eingestellt werden. Im jetzigen Status wird dies mit 2 belegt. Im Ergebnis sind dann drei vollständige Simulationsdatensätze vorhanden. Die Ergebniswerte der einzelnen Tests werden gemittelt. In der Umsetzung im Optimierungsmodell werden je Evaluationskopie ein weiterer zu simulierender Partikel eingestellt, welcher entsprechend über eine Simulations-ID zu identifizieren ist. Zu diesem Zweck werden die Simulations-IDs am Ende zunächst um eine Stelle erweitert. Alternativ sind auch mehr Stellen möglich. Dem Beispiel aus Abschnitt 12.2 folgend, lautet die Simulations-ID nun 123159 für die zweite Evaluationskopie des 15. Individuums der 123. Generation (siehe Abb. 133).

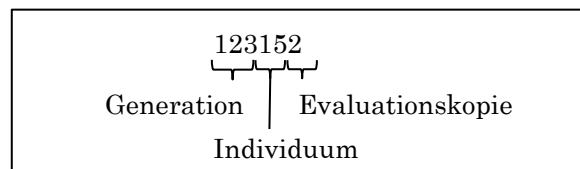


Abb. 133: Simulations-ID unter Einbeziehung der Evaluationskopien

Die Einsteuerung der Evaluationskopien erfolgt über das Primitiv „write current Population into DB“ (siehe Abb. 130 im Abschnitt 12.2). Jede Evaluationskopie wird als eine Simulation in der zentralen (Haupt-)Datenbank eingestellt. Im Ablauf des Optimierungsmodells wird nun eine um die Anzahl der Evaluationskopien erhöhte Zahl an Simulations-IDs geführt und unabhängig voneinander simuliert. Auf diesem Wege kann der bisherige Ablauf beibehalten werden und der Genetische Algorithmus bedarf dahingehend keiner Anpassung. Zur Berechnung der Mittelwerte wird nun in der zentralen Datenbank ein View „simulation_results“ auf die Tabelle „simulation“ angelegt, welche die Einzelwerte mittelt und die Simulations-ID des Individuums in der originären Form führt (ohne Erweiterung am Ende). Um Verwechslungen vorzubeugen, wird die Simulation-ID im View als Individual-ID bezeichnet. Dem View ist zu Eigen, dass es hierfür keiner expliziten Ausführung bedarf, sondern dieser sich immer selber aktualisiert. Dadurch, dass der View direkt auf der Datenbank läuft, ist auch dies sehr performant. Abschließend waren einige Datenbankprozeduren zu modifizieren, um u.a. die Ertragswerte nun aus dem angelegten View zu verwenden.

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

Die Dauer zur Simulation einer Test-Generation von 20 Individuen und 7 Wochen Laufzeit erhöht sich durch die zwei zusätzlichen Evaluationskopien damit auf nunmehr ca. 14 Minuten im vorliegenden Fall (abhängig von der CPU-Leistung).

12.5 Parametrisierung des Optimierungsmodells

In den vorhergehenden Ausführungen der Kapitel 11 und 12 wurden bereits ausgewählte Parameter aufgeführt und im Zuge dessen auch auf die hier gewählten Wertausprägungen eingegangen. Teils sind die Parameterwerte aber von den gewählten Optimierungsszenarien abhängig, auf welche im Späteren dediziert eingegangen wird. Daher wird nun nur noch auf ausgewählte, bisher noch nicht angesprochene, Parameter des Optimierungsmodells eingegangen.

Auf Seiten des Optimierungsmodells besteht die Möglichkeit, jedes einzelne Reservierungschromosom über die Parameter „activate_“ aktiv „true“ oder inaktiv „false“ zu setzen. Auf diesem Wege können Szenarien in Teilen oder ganz ohne die Reservierungsplanung ermöglicht werden.

Darüber hinaus kann zu Testzwecken über den Parameter „Verbose“ mit dem Wert 1 eine kurze und mit dem Wert 2 eine dedizierte Textausgabe zur Arbeit des Genetischen Algorithmus und der Genetischen Operatoren aktiviert werden. Der Wert 0 deaktiviert die Ausgabe. Standardmäßig ist dies deaktiviert, da dadurch bedingt das Optimierungsmodell in der Ausführung leicht verlangsamt wird.

Mit dem Parameter „logMutationRates“ können die Mutationsraten je Individuum in die zentrale Datenbank geloggt werden. Hierzu ist der Parameterwert auf „true“ einzustellen. Standardmäßig ist dies aus Performancegründen auf „false“ gestellt und damit deaktiviert. Mittels dieser Ausgabe kann das Absenken im Falle der aktivierten variablen Mutationsrate dokumentiert und nachvollzogen werden.

Eine Gesamtübersicht der im Optimierungsmodell implementierten Parameter und deren Wertebelegung ist im Anhang A87 gegeben.

12.6 Justierung, Validierung und Verifizierung des Genetischen Algorithmus

Bereits während dem Aufbau des Optimierungsmodells wurden wiederholt Ablauftests zur Validierung und Verifizierung vorgenommen (siehe hierzu auch [Severin 2014, S. 81 ff.]). In diesem Abschnitt wird ausgeführt, welche Justierungen, Validierungen und Verifizierungen, im Anschluss an den Aufbau des Optimierungsmodells, vorgenommen wurden.

12.6.1 Ablauftests

Zunächst wurden verschiedene Ablauftests durchgeführt, welche die korrekte Umsetzung der Spezifikation wie auch das korrekte Verhalten prüfen. U.a. wurde über einen Zeitraum von einem Monat (Programmlaufzeit) der unterbrechungsfreie Ablauf des Optimierungsmodells getestet. Hierbei wurden wiederholt manuell Ergebnisse von Individuen aus der Datenbank gelöscht, externe Simulationen beim Start oder im Ablauf vorzeitig von Hand beendet, um sicherzustellen, dass die betreffenden Individuen erneut simuliert werden.

Darüber hinaus wurden die berechneten Mutationsraten, Fitnesswerte und die Kennzahlen, auf welchen die Fitnesswerte beruhen, nachgerechnet. Auch wurde überprüft, ob die Werte der Chromosomen vom Algorithmus korrekt in die Datenbank übergeben und abgerufen werden und die Schnittstellen an sich korrekt arbeiten.

Ferner wurde überprüft, ob die Zuweisung der Sub-Datenbanken und das Rückschreiben der Ergebnisse korrekt ablaufen sowie die Vorgabe bezüglich der maximal zulässigen Anzahl paralleler Simulationen eingehalten wird.

Es wurden bei den durchgeführten Tests keine Beanstandungen gefunden.

12.6.2 Test auf Konvergenz des Algorithmus

Auch bei der vorliegenden Implementierung eines Optimierungsverfahrens stellt sich die zentrale Frage, „ob und unter welchen Bedingungen es mit Wahrscheinlichkeit 1,0 auf ein globales Optimum der Zielfunktion konvergiert“ [Nissen 1997a, S. 92]. Grundsätzlich ist hierbei zu beachten, dass ein kanonischer Genetischer Algorithmus, so wie er von Holland beschrieben wurde, die Bedingung für Konvergenz auf das Globale Optimum nicht erfüllt, wie Nissen [1997a, S. 95 f.] unter Beweis stellt. Nissen weist aber in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Hollands GA auch nicht zum Zweck der Optimierung entworfen wurde. Erst später vorgenommene Modifikationen und Erweiterungen durch andere zielten dann konkret auf diesen Einsatzzweck ab. Bereits die Erweiterung um einen Elitismus führt bei dem kanonischen GA dazu, dass eine Konvergenz auf das Globale Optimum bewiesen werden kann [Nissen 1997a, S. 96]. Nissen sieht es für die Praxis „im allgemeinen [als] zweitrangig [an], ob

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

globale Konvergenz bewiesen werden kann. Entscheidend ist vielmehr, dass das betrachtete Verfahren *nahe*-optimale Lösungen in *möglichst kurzer Zeit* findet.“ [Nissen 1997a, S. 95 f.].

Durch viele praktische Anwendungsbeispiele wurde empirisch gezeigt, dass sich auch bei komplexen Optimierungsaufgaben in unterschiedlichsten Implementierungen ein Erfolg einstellt, auch wenn die Theorie diesbezüglich noch nicht abschließend verstanden ist [Nissen 1997a, S. 96].

Im Folgenden wird nun versucht, das Konvergenzverhalten des hier implementierten Genetischen Algorithmus näher zu betrachten, um die grundsätzliche Funktion und Anforderung, einer *nahe*-optimalen Lösung in *möglichst kurzer Zeit* zu finden, zu entsprechen.

Weickert [2007, S. 64] führt aus, dass der Begriff der Konvergenz bei Evolutionären Algorithmen auf zwei Sachverhalte bezogen werden kann. Bei mathematischer Definition als die Annäherung der Güterwerte an ein (lokales/globales) Optimum in endlicher Zeit. Oder, als der Verlust der Vielfalt in der Population. Weickert [2007, S. 162] weist darauf hin, dass Genetische Algorithmen zur Konvergenz tendieren. Er sieht dies darin gegeben, dass die Vielfalt resp. Diversität in der Population mit der Zeit abnimmt. Daher sieht er zusätzliche Techniken zum Erhalt der Diversität als evtl. notwendig an.

Bezogen auf die Konvergenz in der Population heißt konvergiert nach Weickert [2007, S. 64], wenn alle Individuen einer Population identisch sind. Dies ist ein Zeichen dafür, dass die Optimierung beendet ist. Falls das globale Optimum nicht erreicht wurde, spricht man auch von einer vorzeitigen Konvergenz. Die Vielfalt resp. die Diversität der Population lässt sich damit in der vorliegenden Arbeit recht einfach betrachten, indem die Chromosomen bzw. der Ertragswert auf Gleichheit überprüft werden. Wie sich hierbei zeigte, traten bei dem vorliegenden Genetischen Algorithmus bei der 548. Generation erstmalig Klone auf, was sich im weiteren Verlauf noch verstärkte. Dieses Verhalten konnte bei weiteren Testläufen bestätigt werden. Es kam bei einer Mutationsrate von 0,001 damit zu einem Verlust der Diversität. In der Konsequenz wurde die minimale Mutationsrate im vorliegenden Anwendungsfall zunächst auf 0,05 erhöht. Nun konnten auch bei sehr langen Optimierungsläufen über mehrere Wochen (Programmlaufzeit) keine identischen Individuen mehr vorgefunden werden. Damit ist die minimale Mutationsrate im Weiteren noch im Bereich von $0,001 < p_m \leq 0,05$ zu spezifizieren.

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

Bezogen auf die Konvergenz bei den Gütewerten führt Pohlheim [2000, S. 193] aus, dass eine Visualisierung „die beste Einsicht in den aktuellen Zustand und den Verlauf des Optimierungsprozesses“ bietet. Als die bekannteste und fast immer genutzte Visualisierung führt Pohlheim [2000, S. 119 f.] auf, den Zielfunktionswert des besten Individuums über die vergangenen Generationen im Verlauf darzustellen. Dies soll einen guten Überblick verschaffen, wie schnell bessere Lösungen durch den eingesetzten Algorithmus gefunden werden und über den damit erzielten Fortschritt zwischen den einzelnen Generationen.

Das Konvergenzverhalten wurde auf diesem Wege grafisch für verschiedene Anwendungsszenarien des vorliegenden Genetischen Algorithmus getestet, u.a. bei statischen und variablen Mutationsraten. Die nachfolgende Abb. 134 zeigt dies am Beispiel mit einer Laufzeit von 300 Generationen, bei 10 Durchläufen je Individuum und aktivierten Regelchromosomen. Hierbei wird auch der Fall der variablen Mutationsrate betrachtet.

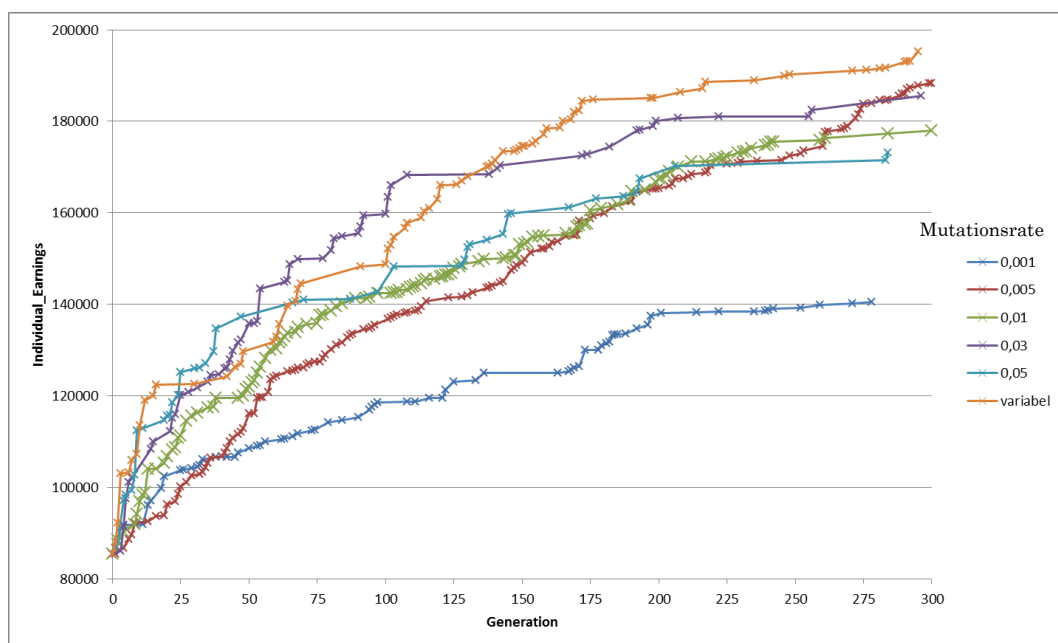


Abb. 134: Ertragswerte der besten Individuen im Verlauf der Generationen

Es zeigt sich der typische Verlauf bei dem, ausgehend von der initial bestimmten Anfangspopulation¹¹², sich innerhalb weniger Generationen bessere Individuen finden. Im weiteren Verlauf nimmt die Steigerung immer weiter ab. Die Suche nach

¹¹² Abgebildet ist ein Set mit den Varianten der Mutationsraten. Da für ein solches Set die Zufallszahlenfolge identisch gehalten wird, ist die Ausgangspopulation für alle Varianten des Sets identisch.

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

besseren Individuen bedarf immer längerer Zeit, bei nur noch geringfügigen Steigerungen im Ertragswert.

In Bezug auf die Bestimmung des Konvergenzverhaltens führt Pohlheim [2000, S. 69 f.] zwei Konvergenzkriterien nach Vössner auf: Kappa und Phi. Kappa stellt hierbei auf die räumliche Verteilung der Individuen und deren Distanzen untereinander ab. Nähern sich die Individuen einer Generation zunehmend an, konvergiert der Algorithmus. Phi stellt auf die Zielfunktionswerte ab. Der Zielfunktionswert des besten Individuums (ZFW_{Gen}^{best}) einer Generation und der Mittelwert der gesamten Generation (ZFW_{Gen}) werden als Quotient miteinander in Beziehung gesetzt.

$$\Phi_{Gen} = \frac{ZFW_{Gen}^{best}}{ZFW_{Gen}}$$

Im Fall einer Konvergenz nähert sich Phi dem Wert 1 an. Im vorliegenden Beispiel ist Phi in der initialen Anfangspopulation im Bereich von 8,75 bis 1,29 und nähert sich in der Generation 300 für die aufgeführten Varianten dem Bereich von 1,03 bis 1,00 dem Wert 1 an. Der Phi-Wert von 1,00 wurde für die Mutationsrate von 0,001 erreicht, welche im Beispiel hier zu früh konvergiert und damit auch am schlechtesten performte. Bei Generation 200 liegt der Mittelwert bei 1,029, was im Sinne einer späteren Laufzeit durchaus als akzeptable Zielgröße in Bezug auf eine möglichst effiziente Laufzeit angesehen werden kann.

12.6.3 Test der Mutationsraten auf Chromosomenebene im variablen Fall

Einem umfangreichen Test wurde die Berechnung und Anwendung der selbstadaptiven, an der Fitness der Chromosomen ausgerichteten, Mutationsrate unterzogen. In der Nachberechnung der vom Algorithmus angewendeten Werte konnten keine Abweichungen festgestellt werden. Es wurde im Zeitverlauf betrachtet, wie sich ein typischer Verlauf der Mutationsrate darstellt und ob sich Verbesserungen in der Güte der Chromosomen im Zeitverlauf zeigen. Die nachfolgende Abb. 135 veranschaulicht die Mutationsraten im Verlauf der Optimierung für das obige Beispiel bezogen auf die Zugangschromosomen.

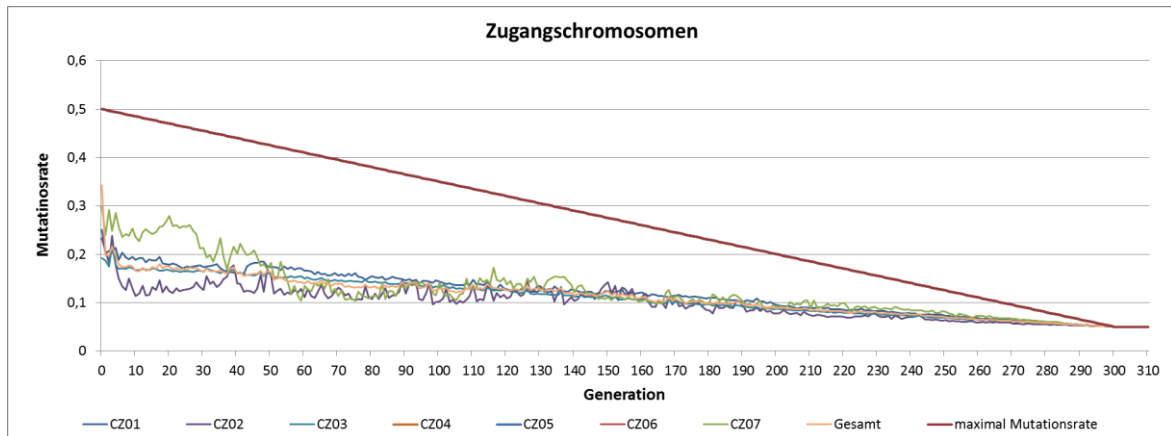


Abb. 135: Variable Mutationsraten der Zugangschromosomen im Zeitverlauf

Der als maximale Mutationsrate eingezeichnete Verlauf entspricht der zulässigen maximalen Mutationsrate der jeweiligen Generation, welche sich im Zeitverlauf kontinuierlich absinkt. Die Chromosomen CZ04, CZ05 und CZ06 sind im Verlauf nicht ersichtlich, da diese, wie festgelegt wurde, deaktiviert sind. Wie sich in der Darstellung zeigt, schwanken die Mutationsraten chromosomenspezifisch, was der Erwartung entspricht. Die Schwankungsbreite reduziert sich im Verlauf der Optimierung, wobei immer wieder Ausschläge mit höheren und niedrigeren Mutationsraten zu beobachten sind. Zugleich zeigt sich eine im Verlauf abnehmende Mutationsrate für alle Chromosomen. Dies erfolgt erwartungsgemäß sukzessive durch Verbesserungen der Fitness in den Chromosomen sowie durch die Reduzierung der maximal möglichen Mutationsrate. Im aufgeführten Beispiel ist die minimale Mutationsrate von hier 0,05 bei Generation 300 erreicht und entspricht damit der Spezifikation und der eingestellten Parametrisierung.

12.6.4 Justierung

Im Zuge der Ablauftests wurden Justierungen vorgenommen, um u.a. Kennzahlen (Erlös-/Kostenwerte) zur Berechnung der Fitnesswerte sowie Optimierungsparameter anzupassen, soweit dies erforderlich erschien. In diesem Unterabschnitt wird eine Auswahl der durchgeführten Justierungen aufgeführt und erläutert.

(a) Gewichtungen in der Berechnung der Chromosomenfitness

Während der durchgeführten Ablauftests wurde die Berechnung der Chromosomenfitness überprüft und festgestellt, dass diese zwar korrekt funktioniert, aber es einer Justierung bedarf. So zeigte sich bei der Auslastungskennzahl der Reservierungschromosomen (Anzahl genutzter Reservierungen zu Anzahl eingestellter Reservierungen), dass der Algorithmus die Anzahl der Reservierungen erhöht, ohne dass mehr Reservierungen genutzt werden. Darin war kein angestrebtes Verhalten zu sehen. Eine nähere Untersuchung hat gezeigt, dass bei zwei zugrunde liegenden, gleichgewichteten Kennzahlen es dem Algorithmus ermöglicht wird, sich

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

zu optimieren, wenn nur die Anzahl der eingestellten Reservierungen erhöht wird. Sprich, die errechnete Fitness steigt. Die nachfolgende Abb. 136 versucht das Prinzip zu veranschaulichen.

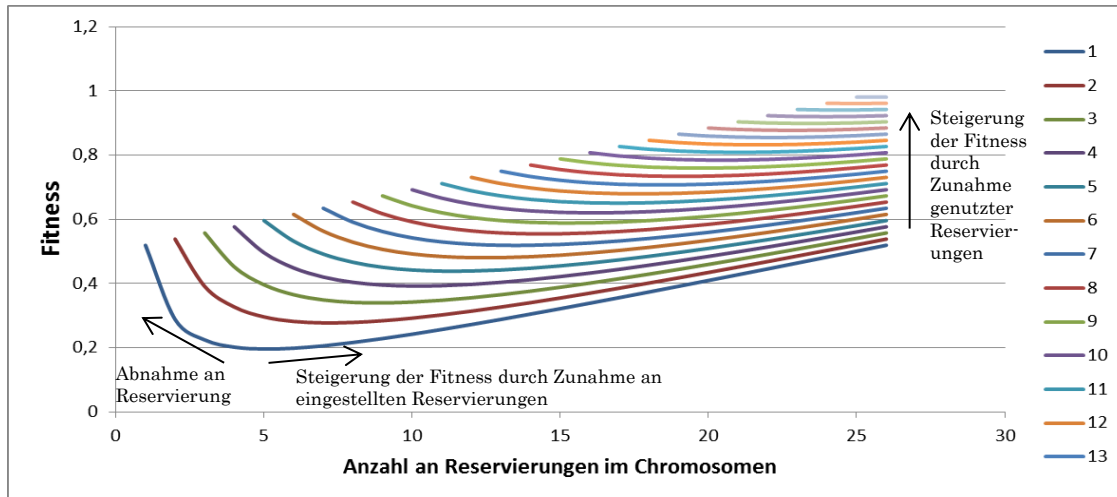


Abb. 136: Darstellung der Fitnesswerte in Bezug auf die Anzahl der Reservierungen und Anzahl genutzter Reservierungen (1-13)

In der Darstellung werden die Fitnesswerte aufgezeigt, welche sich im Verlauf in Bezug auf die Anzahl an eingestellten Reservierungen ergeben. Die Verlaufslinien zeigen für die jeweils genutzte Anzahl Reservierungen (1-13) die erreichbaren Fitnesswerte. Wie sich zeigt, steigt mit der zunehmenden Anzahl genutzter Reservierungen auch das Niveau möglicher Fitnesswerte, welche auf der Basis erreicht werden können. Sofern nun keine weiteren Reservierungen genutzt werden können, optimiert sich der Algorithmus nur noch auf der Verlaufslinie. Folgt man dieser, zeigt sich, dass ein höherer Fitnesswert erreicht werden kann, wenn die Anzahl der Reservierungen reduziert oder wenn diese erhöht wird. Maßgeblich dafür ist, wo der Algorithmus sich mit der jeweiligen Lösung befindet. Ist diese im vorliegenden Fall im Bereich 5-10 eingestellter Reservierungen, fällt es dem Algorithmus deutlich schwerer, den kurzen Abschnitt mit steilerem Anstieg der Fitnesswerte < 5 zu finden. Dieses Problem erinnert an einen Bergsteigeralgorithmus. Gleichwohl es dem Algorithmus möglich ist dieses Absenken zu überwinden, wurde festgestellt, dass sich der Algorithmus im Fall der Reservierungschromosomen damit schwertut. Diesem konnte aber durch eine Gewichtung der beiden Kennzahlen im Verhältnis 5:2 entgegengewirkt werden. Indem die Anzahl genutzter Reservierungen höher gewichtet wird, senkt sich der Kurvenverlauf auf der rechten Seite ab. Im Ergebnis zeigte sich, dass der Algorithmus nun das gewünschte Verhalten zeigt, um eine möglichst hohe Nutzungsrate im Verhältnis zur Anzahl der eingestellten Reservierungen zu erreichen.

(b) Justierung der Ertragsfunktion

In Bezug auf die Reservierungen wurde festgestellt, dass diese nicht direkt in den Ertragswert auf Individuenebene einfließen. Dies entspricht soweit auch der Spezifikation. Bei der variablen Mutationsrate wird dies durch die Chromosomenfitness der Reservierungschromosomen abgebildet. Für eine Optimierung mit statischer Mutation wäre damit aber keine Rückkopplung der Reservierungsplanung gegeben. Da dies aber als erforderlich angesehen wird, wurde der Ertragswert eines Individuums um den parametrisierten Erlös je genutzter Reservierung ergänzt. Bezogen auf eine Vergleichbarkeit der Ertragswerte zwischen Ist- und Sollmodell sind in der Folge für einen späteren direkten Vergleich diese zusätzlichen Erlöse durch Reservierungen herauszurechnen, da im Ist-Modell keine Reservierungsplanung erfolgte und damit auch keine Erträge daraus generiert werden konnten.

In Bezug auf die Ertragsfunktion zur Bewertung der Individuen wurde bereits angesprochen, dass für eine HKL-Maßnahme bereits ein deutlich geringerer Erlöswert von 500 angesetzt wurde, als dies im Realsystem im Mittel zu erwarten wäre. Wie sich in den Testläufen gezeigt hat, kann es durchaus vorkommen, dass viele HKL-Notfälle auftreten. Dahingehend hat sich gezeigt, dass diese Individuen einen besseren Ertragswert aufweisen als vergleichbare Lösungen mit weniger Notfällen. Dies ist ein unerwünschter Effekt. Da aber jede Maßnahme im Sinne einer Auslastung gewertet werden soll, somit auch Notfälle, wird auf der Basis der Erlös einer HKL-Maßnahme auf 200 herabgesetzt (siehe Tab. 74).

Beschreibung	Bewertungsansatz	
	vor Justierung	nach Justierung
Aufnahme eines Patienten auf den kard. Stationen (inkl. prästationär)	+60	+400
durchgeführte HKL-Maßnahme (für alle Patienten)	+500	+200
durchgeführte EKG-Maßnahme (Patient von intern, stationär)	+0	+0
durchgeführte ECHO-Maßnahme (Patient von intern, stationär)	+0	+0
Aufnahme eines Patienten in der kard. Ambulanz (inkl. prästationär)	+60	+60
durchgeführte EKG-Maßnahme (Patient von extern, ambulant)	+30	+30
durchgeführte Echo-Maßnahme (Patient von extern, ambulant)	+40	+40

Tab. 74: Übersicht Erlöse zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Optimierung dazu führt, zunächst die ambulanten Patienten in der maximal möglichen Anzahl an Zugängen auszuschöpfen und erst danach versucht wird die stationären Patienten zu steigern. Dies führt zu einer geringen Auslastung auf den Stationen und ist einem falschen Anreiz durch das Ertrags-/Kostenmodell geschuldet. In der Konsequenz wurden die Ertragswerte für

12. Aufbau des Optimierungsmodells und Einbindung des Genetischen Algorithmus

die stationäre Aufnahme deutlich von 60 auf 400 (siehe Tab. 74) sowie die Kostenwerte für die Durchlaufzeit der ambulanten Patienten erhöht (siehe Tab. 75).

Beschreibung	Bewertungsansatz	
	vor Justierung	nach Justierung
Wartezeit gesamt (pro 15 Minuten)	-2	-2
Liegezeit bei stationären Patienten (je Tag)	-1	-1
Durchlaufzeit bei Patienten der kard. Ambulanz (pro Stunde)	-1	-5

Tab. 75: Übersicht Kosten zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung

Auf der Basis der erhöhten Erlöswerte für eine stationäre Aufnahme musste auch der Kostenwert (Strafe) für eine nicht erfolgte aber geplante Aufnahme angepasst werden, um hier nicht einen falschen Anreiz zu schaffen (siehe Tab. 76).

Beschreibung	Bewertungsansatz	
	vor Justierung	nach Justierung
Terminverschiebung bei ambulanten Patienten (über Nacht in der Warteschlange)	-50	-50
Terminverschiebung bei HKL-Patienten (je Tag)	-100	-100
elektive Patienten warten über Nacht in der Warteschlange auf ein Stationsbett	-50	-100

Tab. 76: Übersicht Strafkosten zur Berechnung der Fitness der Individuen nach Justierung

Bedingt durch nun geänderte Kosten- und Erlöswerte, speziell dem zusätzlichen Erlös für genutzte Reservierungen, war die obere und untere Grenze der möglichen Ertragswerte auf nunmehr +300.000 und -500.000 anzupassen.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel einer Optimierung der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung. Darüber hinaus wird das Ziel verfolgt zu prüfen, ob die variable Mutationsrate nach Kühn et al. [2013b] auch im vorliegenden komplexen Anwendungsfall Effizienzvorteile bei der Optimierung mit einem Genetischen Algorithmus birgt. In diesem Kapitel werden die Optimierungsszenarien abgegrenzt, die erreichten Optimierungsergebnisse aus den jeweiligen Szenarien aufgeführt und interpretiert. Optimierungsgegenstand ist das vorliegende, validierte Ist-Modell, welches mit den Daten der Referenzeinrichtung 3 parametrisiert ist und um die Optimierungssachverhalte zum Soll-Modell erweitert wurde.

13.1 Simulationsszenario 1: Versuchsplanung unter Einsatz des Genetischen Algorithmus

Es wird an dieser Stelle ein Hauptszenario (Szenario 1) definiert. Dieses stellt direkt auf die angestrebten Optimierungen der abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung der Patienten ab. In der nachfolgenden Übersicht sind die einzelnen Optimierungsgegenstände aufgeführt (siehe Tab. 77).

Optimierungsgegenstand	Szenario 1
Zugangsplanung aus Abschnitt 10.3 (ambulant, stationäre, prästationäre Patienten)	aktiv
Terminvergabekonzept aus Abschnitt 10.4 (Terminvergaberegeln für Ambulanz und Stationen)	aktiv
Reservierungskonzept aus Abschnitt 10.4 (Reservierungen + Puffer)	aktiv
Maßnahmenfolge für Patienten der kard. Ambulanz aus Abschnitt 10.4 (c) und Anhang A55 0 (Variante A2)	aktiv
Zeitpunkt der HKL-Maßnahmenanforderung im Rahmen der Voruntersuchungen bei stationären Patienten aus Abschnitt 10.4 (c) und Anhang A55 0 (Variante S2)	aktiv
angepasste Planwerte der Maßnahmen in den Funktions-/OP- Bereichen aus Abschnitt 10.6 (e)	aktiv

Tab. 77: Übersicht Simulationsszenario 1

Mit dem Szenario 1 wird die Maximalausprägung simuliert. Alle definierten Optimierungsgegenstände sind aktiv. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass der Modellaufbau durch die Vielzahl hinterlegter Parameter, hinsichtlich möglicher weiterer Optimierungen und Testvarianten, offen gestaltet ist. Durchaus ließen sich mit dem vorliegenden Modell Szenarien mit:

- unterschiedlicher Priorisierung von stationären und ambulanten Patienten,
- unterschiedlichen Öffnungszeiten in den einzelnen Funktionsbereichen oder
- unterschiedlicher Ressourcenausstattungen in den beplanten Bereichen

realisieren, um nur einige zu nennen.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Mit dem Szenario 1 ist zugleich die Frage verbunden, wie sich die Anwendung der Variablen, im direkten Vergleich mit der statischen Mutationsrate, darstellt. Diesbezüglich wird das Szenario 1 in Anlehnung an Kühn et. al. [2013b] für die Mutationsraten von 0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 und 0,5 im statischen Fall sowie für die variable Mutationsrate im Bereich von 0,5 – 0,001 simuliert (siehe Tab. 78). Die aufgeführten 10 Varianten der Mutationsrate werden jeweils mit den Varianten der Crossoverrate von 0,60, 0,75 und 0,95 getestet (siehe Tab. 78). Da die Laufzeit der Optimierung durchaus Einfluss auf die Ergebniswerte und die Performance des GA haben kann, wird auch diese im Versuchsplan mit 200, 225 und 250 Generationen variiert (siehe Tab. 78). Auf dem Wege werden die Ergebnisse, auch bezüglich der Laufzeit, robuster. Es ergeben sich damit 9 weitere Varianten je zu simulierender Ausprägung der Mutationsrate. In Summe sind es damit 90 Optimierungsdurchläufe für das Szenario 1. Jede Kombination aus Laufzeit und Crossoverrate stellt ein Set dar, welches für die zehn Varianten an Mutationsraten getestet wird (siehe Tab. 78). Innerhalb eines Sets wird die Zufallszahlenfolge (Seed-Wert) für jeden Durchlauf identisch gehalten, um eine direkte Vergleichbarkeit der Varianten innerhalb des Sets zu gewährleisten. Zwischen den Sets wird die Zufallszahlenfolge variiert. Das Vergleichskriterium ist der erreichte Ertragswert (individual_earnings) innerhalb der definierten Anzahl an durchlaufenden Generationen.

Set	Anzahl Generationen	Populationsgröße	Gen. Gap	Crossover-rate	Mutationsraten
1	200	30	1,0	0,60	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
2	225	30	1,0	0,60	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
3	250	30	1,0	0,60	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
4	200	30	1,0	0,75	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
5	225	30	1,0	0,75	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
6	250	30	1,0	0,75	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
7	200	30	1,0	0,95	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
8	225	30	1,0	0,95	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel
9	250	30	1,0	0,95	0,001 / 0,005 / 0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,5 / variabel

Tab. 78: Übersicht der Variation der Kontrollparameter innerhalb des Testszenario 1

Die aufgeführten Wertausprägungen zur Populationsgröße und dem Generation Gap entsprechen im Szenario 1 den Festlegungen aus Unterabschnitt 11.2.4. Die variable Mutationsrate wird, wie im Abschnitt 11.3 beschrieben, nach Kühn et al. [2013b],

angewendet. Zu Beginn liegt die maximal mögliche Mutationsrate bei 0,5 und wird im Verlauf an der ermittelten Chromosomenfitness ausgerichtet variiert. Zudem erfolgt eine stetige Verringerung der Mutationsrate im Zeitverlauf. Die minimale Mutationsrate von 0,001 wird jeweils zum Ende der Laufzeit, mit der letzten Generation, erreicht werden. In der Form erfolgt keine Justierung der Mutationsrate.

Die Implementierung des vorliegenden Optimierungsmodells erlaubt die initiale Population rein zufällig, innerhalb gegebener Grenzen zu erzeugen, oder basierend auf hinterlegten Parameterwerten. Die initiale Belegung mit z.B. aus dem Realsystem abgeleiteten Mittelwerten oder Vorgabewerten birgt die Chance, dem Algorithmus zu Anfang viele schlechtere Planungszyklen zu ersparen, weil bereits auf einem relativ guten Niveau gestartet werden kann. Aber zugleich besteht die Gefahr, dem Algorithmus die Möglichkeit zu nehmen resp. zu erschweren auch bessere Lösungen zu finden (vgl. Unterabschnitt 2.4.4 Einplanung vs. Neuplanung). Es sollte ferner bedacht werden, dass die aus dem Realsystem abgeleiteten Werte keinesfalls validiert sind, sondern als Schätzwerte anzusehen resp. Vorgaben sind, welche sich in der Vergangenheit im Realsystem eingespielt haben. Es bestehen somit Vorbehalte gegenüber einer initialen Belegung mit Historienwerten. Für den weiteren Verlauf wird daher auf die zufällige Erzeugung der Startbelegung im Szenario 1 abgestellt.

Es wurde zuvor bereits auf die Laufzeit der Optimierung (Anzahl Generationen) eingegangen. Eine ebenso relevante Laufzeitkomponente ist die Simulationsdauer. Wie im Abschnitt 10.1 festgelegt wurde, wird in der vorliegenden Arbeit von einer Simulationslaufzeit von 7 Wochen ausgegangen. Gemäß der Festlegung im Unterabschnitt 9.12.1, werden hiervon 3 Wochen als Einschwingzeit angesehen und bleiben bei der Berechnung der Simulationsergebnisse unbeachtet. Dieser Festlegung wird im Szenario 1 gefolgt.

Für den Versuchsplan des Szenarios 1 ist noch wichtig festzulegen, wie oft eine jede Lösung simuliert wird. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, muss der stochastische Einfluss im Modell so gut wie möglich ausgeblendet werden. Wesentliche Größe ist hierbei die Anzahl der Durchläufe je Lösung (siehe Unterabschnitt 11.2.1 (a)). Im vorliegenden Optimierungsmodell wird von zusätzlichen Evaluierungskopien gesprochen, was die erneute Simulation einer Lösung mit identischer Planung, unter geänderter Zufallszahlenfolge, bezeichnet¹¹³.

¹¹³ Den Evaluationskopien zugeteilte Seed-Werte werden vom exportierten Klinikmodell zur Erzeugung von erforderlichen Zufallszahlen genutzt. Für jede Evaluationskopie muss ein anderer Seed-Wert genutzt werden, um nicht identische Simulationsergebnisse zu erhalten. Dies erfolgt unabhängig vom Seed-Wert, der dem Optimierungsmodell zugeteilt wurde und im Set identisch gehalten wird. Mit diesem werden im Optimierungsmodell erforderliche Zufallszahlen erzeugt, z.B. für die Planung.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Die Ergebniswerte werden gemittelt (arithmetischer Mittelwert), um einen verlässlichen Ertragswert für eine Lösung (ein Individuum) zu erhalten. Bezogen auf die Fragestellung, wie viele Testläufe je Lösung vollzogen werden sollten, analysierte Biethahn [1978] in seiner Arbeit systematisch die Ergebniswerte bei unterschiedlicher Anzahl an Simulationsläufen je Lösung. Er kommt zu dem Erkenntnis, dass bei 40 Durchläufen je Lösung die „Isozielllinien“ des Zielfunktionsgebietes fast deckungsgleich sind und bei 10 Simulationen pro Lösung die wesentlichen Optima bereits deutlich werden [Biethahn 1978, S. 132]. Nissen & Biethahn [1999, S. 119] untersuchen in einer weiterführenden Arbeit an dem implementierten Biethahn-Modell die Lösungsgüte bei 1, 10 und 40 Durchläufen pro Lösung für zwei punktbasierte Suchverfahren und einen Genetischen Algorithmus als populationsbasierte Suche. Bei 10 und 40 Durchläufen je Lösungspunkt wird der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse gebildet. Jeder Suchlauf wird 5 Mal mit anderen Zufallszahlenfolgen bei identischer Startlösung ausgeführt. In den von Nissen & Biethahn [1999, S. 124] durchgeführten Tests zeigte der Genetische Algorithmus bereits bei nur einem Durchlauf im Durchschnitt bessere Lösungen als 10 Simulationen bei den beiden im Vergleich stehenden punktbasierten Suchverfahren. Der Genetische Algorithmus ist damit als deutlich robuster in Bezug auf den stochastischen Einfluss anzusehen. In der vorliegenden Arbeit wird aufbauend auf diesen Erkenntnissen von Biethahn [1978] sowie Nissen & Biethahn [1999], von 10 Durchläufen je Lösung(-spunkt) ausgegangen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es zwar zu empfehlen wäre, die Anzahl der Testläufe je Individuum (Lösungspunkte) auf 30 bis 40 zu erhöhen (siehe [Nissen & Biethahn 1999]), um den stochastischen Einfluss des Modells auf die Ergebniswerte weiter zu reduzieren. Derzeit ist dies in Bezug auf die zur Verfügung stehende Rechentechnik in angemessener Zeit nicht realisierbar. Die Simulation eines Individuums dauert zwar nur ca. 20 Sekunden, die Vielzahl an Multiplikatoren, insbesondere die Anzahl der Evaluierungskopien, führt jedoch maßgeblich zu einer hohen Gesamt-CPU-Zeit. Mit der voranschreitenden Entwicklung der Rechentechnik wird es mittelfristig als möglich angesehen, auch eine höhere Anzahl an Durchläufen je Lösungspunkt (Evaluationskopien) im Optimierungslauf zu ermöglichen.

Der für das Szenario 1 aufgestellte Versuchsplan entspricht in der Simulation einer CPU-Zeit¹¹⁴ von ca. 1078 Tagen. Um das im Versuchsplan eingestellte sehr große Pensum an Rechenerfordernis in einer akzeptablen Zeit bewältigen zu können, werden 8 Server parallel eingesetzt (siehe Tab. 79). Die effektive Dauer zur Simulation reduziert sich damit deutlich, indem die aufgezeigten Varianten

¹¹⁴ Mit der zur Verfügung stehenden Rechentechnik.

voneinander losgelöst, parallel auf den verschiedenen Servern abgearbeitet werden. Das Szenario 1 konnte damit binnen ca. 4,5 Monaten vollständig simuliert werden.

Bezeichnung Server	Prozessoren	Anzahl physischer Kerne	Hyper-threading ¹¹⁵	RAM in GB	Betriebssystem
Fujitsu Primergy TX200 S5	2 x Intel® XEON® E5570 2,93 GHz Quad Core	8	aktiv	32	Win. 7 Pro 64 Bit
HP ProLiant DL170h G6	2 x Intel® XEON® X5550 2,66 GHz Quad Core	8	aktiv	24	Win. Server 2008 HPC 64 Bit
HP ProLiant DL170h G6	2 x Intel® XEON® X5550 2,66 GHz Quad Core	8	aktiv	24	Win. Server 2008 HPC 64 Bit
Supermicro SYS-5018D-MF	1 x Intel® XEON® E3-1270 v3 3,50 GHz	4	aktiv	32	Win. 8.1 Pro 64 Bit
Supermicro SYS-5018D-MF	1 x Intel® XEON® E3-1270 v3 3,50 GHz	4	aktiv	32	Win. 8 Pro 64 Bit
Supermicro SYS-5018D-MF	1 x Intel® XEON® E3-1270 v3 3,50 GHz	4	aktiv	32	Win. 8.1 Pro 64 Bit
ohne Handelsbezeichnung	1 x Intel® Core i7-4930K	6	aktiv	64	Win. 7 Pro 64 Bit
ohne Handelsbezeichnung	1 x Intel® Core i7-4930K	6	aktiv	64	Win. 8.1 Pro 64 Bit

Tab. 79: Übersicht eingesetzter Hardware

Die eingesetzten Server unterscheiden sich zwar in ihrer Ausstattung, dem eingesetzten Betriebssystem und der Rechenleistung, dies ist aber für die Optimierung und die zur Bewertung herangezogenen Kriterien unerheblich.

Neben der dedizierten Betrachtung der variablen Mutationsrate im Vergleich zu den statischen Varianten wird im Folgenden die beste im Szenario 1 gefundene Lösung als Optimierungsergebnis analysiert. Zum besseren Verständnis der erreichten Lösung werden im Abschnitt 13.3 weitere Szenariotests ausgeführt, um die Einzeleffekte der Optimierungssachverhalte besser beurteilen zu können.

¹¹⁵ Hinter Hyper-Threading steht die Idee, die Rechenwerke eines Prozessors besser auszulasten, indem man die Lücken in der Pipeline mit Befehlen eines anderen Threads möglichst gut auffüllt bzw. gerade nicht benötigte ALU-Komponenten für einen anderen Thread arbeiten lässt. Softwareseitig verhält sich eine CPU mit Hyper-Threading ähnlich wie ein Symmetrisches Multiprozessorsystem – die Aufteilung der hereinkommenden Daten auf den freien Raum erzeugt zwei logische Prozessoren (im HT-Jargon *siblings* genannt), die vom Betriebssystem mittels klassischer Multiprocessing-Verfahren verwaltet werden können.

13.2 Auswertung der besten gefundenen Lösung aus dem Optimierungsszenario 1 (Soll-Modell)

Zur besseren Beurteilung der tatsächlichen Lösungsqualität wurde die beste erreichte Lösung, Nissen & Biethahn [1999, S. 119] folgend, abschließend mit 90 Durchläufen von je 51 Wochen bei unterschiedlicher Zufallszahlenfolge simuliert. In diesem Abschnitt werden die Simulationsergebnisse der besten gefundenen Lösung aus dem Szenario 1 im Detail aufgeführt und den Simulationsergebnissen des validierten Ist-Modells (ebenfalls 90 Durchläufe zu je 51 Wochen) gegenüber gestellt.

Bei den aufgeführten Optimierungsergebnissen ist zu beachten, dass es nicht die eine richtige Lösung gibt. Es handelt sich vielmehr um die beste gefundene Lösung innerhalb der definierten Optimierungsdauer und der angegebenen Anzahl an Optimierungsläufen. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass sich die Lösung im Laufe der Optimierung im Zusammenspiel aus der Zugangs-, Reservierungsplanung und der Terminvergabelogik entwickelt hat (siehe Zielgrößen). Eine Beurteilung der Gesamtlösung, alleinig z.B. an der Zugangsplanung, wäre daher nicht angemessen. Das heißt, auch wenn z.B. eine Zugangsplanung weniger Patienten vorsieht als im Realsystem oder ein Funktions-/OP-Bereich im Soll-Modell einen hohen Leerstand aufweist, kann dies bezogen auf das betrachtete Gesamtsystem durchaus von Vorteil sein. Weiterhin können Effekte (positiv, wie auch negativ) im Szenario 1 nicht eindeutig einem der Optimierungssachverhalte zugeordnet werden. Die Einzeleffekte werden im Späteren genauer betrachtet.

13.2.1 Ertragswerte

Die beste Lösung aller Optimierungsläufe im Szenario 1 erreichte bei den 90 simulierten Durchläufen einen Ertragswert von im Mittel 1.419.703. Bei dem Szenario 1 werden alle gegenständlichen Optimierungsziele einer Optimierung unterzogen, u.a. auch die Reservierungsplanung. Um einen direkten Vergleich mit dem Ertragswert des Ist-Modell zu ermöglichen, müssen die Werte aus der Optimierung zunächst um die zusätzlichen Erträge auf der Basis der genutzten Reservierungen bereinigt werden. Diese Möglichkeit, den Ertragswert zu steigern, lag im Ist-Modell nicht vor. Im Weiteren erfolgt ein Vergleich zwischen Soll- und Ist-Modell auf der Basis des bereinigten Ertragswertes je Kalenderwoche normiert. Die nachfolgende Tabelle führt die je Kalenderwoche besten, schlechtesten sowie den Mittelwert aus den 90 Durchläufen auf (siehe Tab. 80). Die Werte sind bereits um die Einschwingzeiten bereinigt. Im optimierten Fall liegt der mittlere Ertragswert (bereinigt) bei 28.639 je simulierter Woche. Das Ist-Modell erreichte im validierten Status einen Ertragswert von im Mittel 29.577 und damit einen um 3,28 % besseren Ergebniswert (siehe Unterabschnitt 9.12.4 zum Validierungslauf).

Bezeichnung	Anzahl	bester Lauf Ertragswert je Woche	schlechtester Lauf Ertragswert je Woche	Mittelwert Ertragswert je Woche
Soll-Modell (beste Lösung im Szenario 1)	90	35.171	-25.880	28.639
Ist-Modell	90	34.565	-43.950	29.577

Tab. 80: Übersicht erreichter Ertragswerte je simulierter Woche der besten gefundenen Lösung des Szenarios 1 (bereinigt) im Vergleich zum Ist-Modell

Mit dem T-Test (bei unabhängigen Stichproben) konnte auf dem Signifikanzniveau von 0,05 kein signifikanter Unterschied zwischen den Ertragswerten des Ist-Modells zu den bereinigten Ergebniswerten aus dem Soll-Modell (Szenario 1) festgestellt werden. Mit dem Optimierungsszenario 1 konnte damit im Mittel zunächst kein besserer Ertragswert als im Ist-Modell erreicht werden. Ursächlich hierfür können die „verschärften“ Bedingungen bei der Optimierung im Soll-Modell sein. U.a. ist hier die um ein Bett reduzierte Bettenkapazität auf der kard. Station 1 zu nennen (ohne Zusatzbett) sowie die Maßgabe, dass HKL-Maßnahmen terminlich erst bei vorliegenden EKG-/Echobefunde angefordert werden. In wie fern dies als ursächlich anzusehen ist, wird im Späteren untersucht. Zunächst werden die erreichten Planwerte im optimierten Fall näher betrachtet.

13.2.2 Zugangsplanung

Für die beste gefundene Lösung im Szenario 1 wurden in Summe 30 ambulante und 53 stationäre Zugänge je Woche geplant und im Modell eingestellt. Zum Vergleich sind es im Mittel je Woche 29,95 ambulante und 52,17 stationäre Zugänge im Ist-Modell bzw. 29,73 ambulante und 51,50 stationäre Zugänge im Mittel je Woche im Realsystem¹¹⁶. Damit sind die optimierten Werte im ambulanten Zugang fast identisch und im stationären Fall mit +0,83 bzw. +1,50 Patienten im Mittel je Woche leicht über den Vergleichswerten. Die aufgeführten Patientenzugänge sind in der nachfolgenden Abbildung im Wochenverlauf veranschaulicht (siehe Abb. 137).

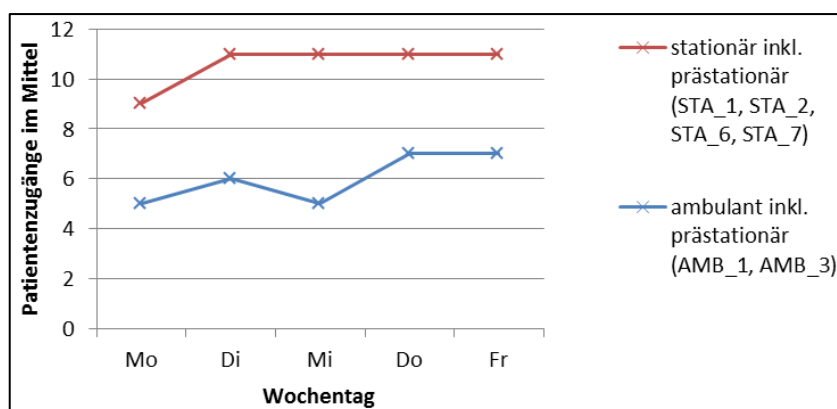


Abb. 137: Übersicht der nach ambulant und stationär aggregierter Zugänge für die beste gefundene Lösung aus dem Szenario 1

¹¹⁶ Teil 2 des Datenbestandes je KW inkl. prästationärer Zugänge (tatsächliche Zugänge).

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

In der Darstellung wurde in die stationären (STA_1, STA_2, STA_6, STA_7) und die ambulanten Aufnahmen (AMB_1, AMB_3) differenziert. Bei den ambulanten Zugängen zeigt sich, beginnend von Montag mit 5 Patienten, ein tendenzieller Anstieg in der Anzahl der Zugänge im Wochenverlauf, mit in der Spitze 7 Patienten am Donnerstag und Freitag. Bei der stationären Aufnahmeplanung lässt sich eine Tendenz im Wochenverlauf nicht erkennen. Hier zeigt sich ein recht gleichmäßiger Zugang von in Summe 11 Patienten pro Tag von Dienstag bis Freitag. Am Montag sind abweichend nur 9 Patienten geplant. Die nachfolgende Abbildung differenziert in Bezug auf die stationären und prästationären Zugänge im Wochenverlauf (siehe Abb. 138).

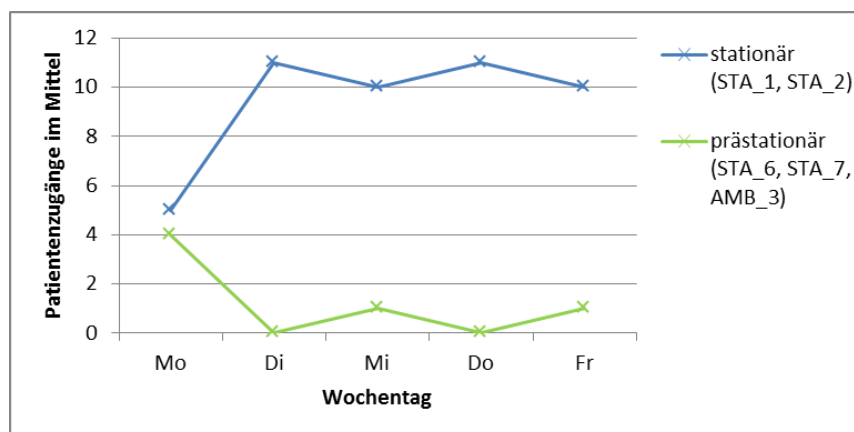


Abb. 138: Stationäre und prästationäre Zugänge im Wochenverlauf in der Planung des Soll-Modells

In der Darstellung zeigt sich eine gegenläufige Planung von stationären und prästationären Patienten. Es hat offensichtlich, ausgehend von der annähernd gleichen Anzahl der Zugänge im Vergleich zum Ist-Modell, eine reine Umverteilung stattgefunden, von den stationären zu den prästationären Patienten. Zur Erinnerung: prästationäre Patienten durchlaufen die Voruntersuchung ohne ein Bett zu allokalieren und werden erst an einem Folgetag stationär aufgenommen. Als ursächlich für die Umverteilung könnte eine höhere Bettenauslastung an diesen Tagen gesehen werden, an denen statt regulärer elektiver Aufnahmen prästationäre Aufnahmen eingestellt wurden. Tatsächlich zeigt sich im Ist-Modell wie auch im Soll-Modell zur Mitte der Woche die Bettenauslastung verhältnismäßig am höchsten, wohin gehend diese am Anfang und zum Ende der Woche geringer ist (siehe Unterabschnitt 13.2.5 (e)). Somit muss es für die prästationären Zugänge zum Anfang und zum Ende der Woche eine andere Erklärung geben. Zum Ende der Woche könnten die Kosten der Liegezeit wirken, welche über das Wochenende hin anfallen. Zum Anfang der Woche könnte es dazu dienen den Funktionsbereichen (EKG/ECHO) schon zusätzliche Patienten zuzuführen und damit zum Zeitpunkt der Wiederaufnahme in diesen Bereichen zu einer geringeren Belastung führen. Tatsächlich zeigt sich in der Betrachtung dieser

Funktionsbereiche eine höhere Auslastung zum Beginn der Woche, am Montag, und im weiteren eine gleichmäßige Belastung unter der Woche (siehe Unterabschnitt 13.2.5 (d)), trotz der höheren Anzahl an elektiven stationären und ambulanten Zugängen im Wochenverlauf.

Eine Übersicht der tatsächlichen Zugänge gibt die nachfolgende Tabelle. Je planungsrelevanter Quelle sind die Werte je Wochentag denen aus dem Ist-Modell gegenübergestellt und die nominalen Abweichungen aufgeführt (siehe Tab. 81).

Quelle	Tag	Patientenzugänge			Quelle	Tag	Patientenzugänge		
		Soll-Modell	Ist-Modell	Veränderung nominal			Soll-Modell	Ist-Modell	Veränderung nominal
AMB_1	Mo	5	5,07495	-0,1	STA_2	Mo	4	6,4190	-2,4
AMB_1	Di	6	6,83551	-0,8	STA_2	Di	6	6,1577	-0,2
AMB_1	Mi	5	5,98344	-1,0	STA_2	Mi	7	5,7632	+1,2
AMB_1	Do	7	6,15991	+0,8	STA_2	Do	7	5,3327	+1,7
AMB_1	Fr	7	5,89455	+1,1	STA_2	Fr	6	1,0190	+5,0
AMB_1	Sa	0	0	0,0	STA_2	Sa	0	0,0362	0,0
AMB_1	So	0	0	0,0	STA_2	So	0	0,3159	-0,3
AMB_1	KW	30	29,94837	+0,1	STA_2	KW	30	25,0436	+5,0
AMB_3	Mo	0	0	0,0	STA_6	Mo	2	0	+2,0
AMB_3	Di	0	0	0,0	STA_6	Di	0	0	0,0
AMB_3	Mi	0	0	0,0	STA_6	Mi	1	0,0349	+1,0
AMB_3	Do	0	0	0,0	STA_6	Do	0	0,0789	-0,1
AMB_3	Fr	0	0	0,0	STA_6	Fr	1	0,0789	0,9
AMB_3	Sa	0	0	0,0	STA_6	Sa	0	0	0,0
AMB_3	So	0	0	0,0	STA_6	So	0	0	0,0
AMB_3	KW	0	0	0,0	STA_6	KW	4	0,1926	+3,8
STA_1	Mo	1	6,4941	-5,5	STA_7	Mo	2	0	+2,0
STA_1	Di	5	6,4763	-1,5	STA_7	Di	0	0	0,0
STA_1	Mi	3	5,9950	-3,0	STA_7	Mi	0	0	0,0
STA_1	Do	4	5,6427	-1,6	STA_7	Do	0	0,1220	-0,1
STA_1	Fr	4	1,3558	+2,6	STA_7	Fr	0	0,0789	-0,1
STA_1	Sa	0	0,0832	-0,1	STA_7	Sa	0	0	0,0
STA_1	So	0	0,6834	-0,7	STA_7	So	0	0	0,0
STA_1	KW	17	26,7305	-9,7	STA_7	KW	2	0,2009	+1,8

Tab. 81: Vergleich der Zugänge der besten Lösung im Soll-Modell mit dem Ist-Modell

Die Ermittlung der Werte erfolgte für das Ist-Modell in gleicher Weise wie für das Soll-Modell (über ein SQL-Skript). Zur Erinnerung, im Ist-Modell wurden Zufallsverteilung genutzt, um das tatsächliche Patientenaufkommen im Zugang zu generieren, daher resultieren auch die gebrochenen Zahlen. Für das Soll-Modell werden hier ebenso die tatsächlichen Patientenzugänge aufgeführt, welche über den Optimierungsalgorithmus als ganze Zahlen geplant wurden. Planwerte und tatsächliche Zugänge sind an dieser Stelle identisch, da im Szenario 1 keine no-show Wahrscheinlichkeiten für die elektiven Aufnahmen parametrisiert wurden.

Wie die Aufstellung zeigt, gibt es doch teils deutliche Unterschiede in der Verteilung der Zugänge an den einzelnen Wochentagen. Auffällig ist hierbei, dass prästationär über die Ambulanz keine Patientenzugänge geplant wurden. Die größte Abweichung

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

bei den ambulanten Patienten zeigt sich im Vergleich zum Ist-Modell in einer Verschiebung von jeweils ca. einem Patienten, von Dienstag und Mittwoch auf Donnerstag und Freitag. Ferner lässt sich eine Veränderung in der Menge an geplanten Patientenzugängen zwischen den kard. Stationen 1+2 erkennen. Während im Ist-Modell die Anzahl der Zugänge annähernd gleich hoch war, mit 26,73 Patienten im Mittel je Woche für die kard. Station 1 und 25,04 für die kard. Station 2, zeigt sich in der besten Lösung des Szenarios 1 eine Verteilung von 17 Patienten pro Woche für die kard. Station 1 und 30 Patienten für die kard. Station 2. Im Zugang auf die kard. Station 1, über die Quelle STA_1 (elektiv von extern), sind somit ca. 10 Patienten weniger je Woche geplant. Im Gegenzug finden sich 5 Patienten mehr je Woche im elektiven Zugang auf die kard. Station 2. Bezieht man die prästationären Patienten mit ein, welche ja im Zuge der Wiederaufnahme auch elektiv zugehen, ergibt sich für die kard. Station 1 eine Gesamtanzahl von 21 Patienten (17+4) sowie für die kard. Station 2 eine Menge von 32 Patienten (30+2). Im Vergleich zum Ist-Modell sind dies ca. 6 Patienten pro Woche weniger im elektiven Zugang auf der kard. Station 1 und ca. 7 Patienten mehr auf der kard. Station 2. Da sich bei der Bettenauslastung keine Verringerung zeigt (siehe Unterabschnitt 13.2.5 (e)), könnte als ursächlich für die geringere Anzahl elektiver Zugänge der kard. Station 1 ein sich eingestellter höherer Zufluss von nicht-elektiven Patienten, z.B. aus der Notaufnahme oder dem Herzkatheterlabor, sein (siehe Tab. 82).

Quelle	Erläuterung	N	kard. Station 1 in Prozent	kard. Station 2 in Prozent
HKL_1	von extern, elektiv	6149	60,51%	39,49%
STA_1	von extern, elektiv	82293	100,00%	0,00%
STA_2	von extern, elektiv	150258	4,12%	95,88%
STA_3	von Notaufnahme	127145	58,28%	41,72%
STA_4	von Intensivstation	32814	58,14%	41,86%
STA_5	von sonstigen Stationen	18310	61,15%	38,85%

Tab. 82: Übersicht Entsender der stationären Aufnahmen auf den kard. Stationen 1+2

Es zeigt sich in der Aufstellung, dass die kard. Station 1 in Bezug auf die elektiven Patienten über die Quelle HKL_1 deutlich mehr Zugänge hat als die kard. Station 2. Dies aber bei verhältnismäßig geringer Anzahl Vorkommnisse (N). Darüber hinaus sind, wie vermutet, auf der kard. Station 1 deutlich mehr Zugänge von der Notaufnahme, von der Intensivstation und von den sonstigen Stationen zu verzeichnen. Damit wäre die Umverteilung eine Erklärung, warum über die Quelle STA_1 nur 17 resp. 21 Patienten im elektiven Zugang geplant wurden. Hier hat scheinbar eine Art Differenzierung eingesetzt, in eine Aufnahmestation von extern und eine „Kompensationsstation“ für Aufnahmen von intern resp. nicht-elektiven Zugängen. Inwiefern dies tatsächlich die Intention der Planung ist, darüber lässt sich an dieser Stelle keine abschließende Aussage treffen.

In Bezug auf die Verteilung der elektiven Zugänge auf den kard. Stationen 1+2 ist im Wochenverlauf ferner auffällig, dass die Zugänge auf der kard. Station zum Freitag nicht so stark zurückgehen wie im Realsystem resp. im Ist-Modell. Hierzu später mehr.

Bezogen auf die Zugangsplanung fehlt abschließend noch der Blick auf die Auswirkungen der Zugänge in den Simulationsergebnissen. Hierzu wurde bezogen auf die kard. Stationen betrachtet, wie vielen stationär aufgenommenen Patienten am geplanten Aufnahmetag kein Bett zugewiesen werden konnte. Für die kard. Station 1 ist dies die Kennzahl `inpatient_1_waiting_per_week` und für die kard. Station 2 `inpatient_2_waiting_per_week` (siehe Tab. 83). Bei den Ambulanzpatienten konnte, aus der Natur der Sache heraus, diese Kennzahl nicht erhoben werden. Der Engpass in der kard. Ambulanz stellt sich in der Frage, ob alle ambulant aufgenommenen Patienten auch am Tag der Aufnahme im Modell wieder entlassen wurden. Sprich, ob eine vollständige Abarbeitung erfolgt ist, inkl. aller evtl. im Tagesverlauf angesetzter Untersuchungsmaßnahmen in den Funktionsbereichen. Hierzu wird die Kennzahl `outpatient_incomplete_per_week` betrachtet. In Bezug auf die durchgeführten 90 Durchläufe der besten Lösung zeigten sich bei den Kennzahlen nachfolgende Ausprägungen (siehe Tab. 83):

Kennzahl	Soll-Modell				Mittelwert (Ist-Modell)
	Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	
<code>outpatient_incomplete_per_week</code>	635	0,04	0,33	0,15	0,06
<code>preinpatient_incomplete_per_week</code>	551	0,02	0,31	0,13	0,31
<code>inpatient_1_waiting_per_week</code>	8748	0,04	9,92	2,03	3,56
<code>inpatient_2_waiting_per_week</code>	19637	0,06	18,13	4,55	2,91

Tab. 83: Übersicht Abweichungen von der Zugangsplanung in der tatsächlichen Umsetzung im Soll-Modell

Wie die aufgeführten Ergebnisse zeigen, kann im Soll-Modell die Planung weitestgehend umgesetzt werden. Bis auf einige Patienten pro Woche werden alle Patienten an dem Aufnahmetag in der Ambulanz auch vollständig abgearbeitet bzw. erhalten am Aufnahmetag ein Bett auf den kard. Stationen zugewiesen. Die größten Abweichungen finden sich auf den kard. Stationen 1 + 2, wo im Mittel 2,03 bzw. 4,55 Patienten pro Woche kein Bett am Aufnahmetag erhalten. Im Realsystem würden diese ein Flurbett in der Notaufnahme oder auf den kard. Stationen erhalten bzw. das Bett im Untersuchungsraum der kard. Station belegen. In den eingestellten Kapazitäten des Soll-Modells ist diese Möglichkeit (Ausweichkapazitäten) bewusst nicht berücksichtigt. Um diese aufgeführten Größen weiter zu minimieren wäre zu überlegen, die Kosten für ein solches Vorkommnis zu erhöhen, oder die Erlöse für einen aufgenommenen Patienten zu reduzieren. Immerhin wird im vorliegenden Fall des Soll-Modells pro Woche ca. ein stationärer Patient mehr aufgenommen, als dies im Ist-Modell inkl. Zusatzbett der Fall war.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Die Zugangsplanung der stationären Patienten wirkt sich direkt auf die Bettenverfügbarkeit aus. Für eine detaillierte Betrachtung wurde als Kennzahl je Quelle die Wartezeit auf ein Bett (Aufnahme bis Bettzuweisung) auf den kard. Stationen erhoben (siehe Tab. 84).

Bezeichnung	Dauer im Mittel Ist-Modell (Minuten)	Ergebniswerte aus dem Soll-Modell für Patienten der kard. Stationen				Abweichung der Simulationsergebnisse Soll-Ist-Vergleich	
		Anzahl	Minimum (Minuten)	Maximum (Minuten)	Mittelwert (Minuten)	nominal (Minuten)	prozentual
STA_1_WZ_Bett	329,7769	73426	0	15992	391,28426	61,50734	+18,65%
STA_2_WZ_Bett	294,8795	129571	0	15933	451,99605	157,1166	+53,28%
STA_3_WZ_Bett	291,6365	110099	0	15915	458,07709	166,44056	+57,07%
STA_4_WZ_Bett	337,1977	28623	0	15426	531,74954	194,55184	+57,70%
STA_5_WZ_Bett	351,39287	14261	0	15859	501,47374	150,08087	+42,71%
STA_6_WZ_Bett	147,7432	17279	0	781	150,51537	2,77221	+1,88%
STA_7_WZ_Bett	101,0904	8639	0	789	128,20245	27,11206	+26,82%

Tab. 84: Wartezeit der stationären Zugänge auf ein Bett der kard. Stationen 1+2 im Soll-Modell

Wie die Aufstellung zeigt, konnte in der bisherigen Planung (Zugangs-/ Terminplanung) die Wartezeit auf ein Bett im direkten Vergleich zum Ist-Modell nicht verbessert werden. Stattdessen verschlechterte sich dies um bis zu ca. +58 %, im Falle der Zugänge von der Intensivstation. Hierin ist und muss ein Grund gesehen werden, dass der erreichte Ertragswert der vorliegenden optimierten Planung um -3,28% schlechter ausfällt als im Ist-Modell. Die Ursache für diese schlechten Simulationsergebnisse gilt es im Weiteren zu analysieren. Wie ausgeführt wurde, ist die gefundene Lösung, so auch die sich ergebenden Simulationsergebnisse, ein Zusammenspiel aller Planungsfaktoren.

13.2.3 Terminvergaberegeln

Die beste Lösung im Szenario 1 weist die nachfolgenden Terminvergaberegeln auf (siehe Tab. 85).

Bezeichnung	Terminvergaberegeln Aufnahme					
	n_1	n_i	a_i	Montag Beginn	Dienstag bis Donnerstag Beginn	Freitag Beginn
ambulant (CT01)	2	1	30	07:45	10:00	08:15
stationär (CT02)	1	1	15	07:45	10:15	08:00

Tab. 85: Terminvergaberegeln der kard. Ambulanz und kard. Stationen bei der besten gefundenen Lösung

Zur Erinnerung: n_1 bezieht sich auf die Anzahl Patienten, welche den ersten zu vergebenden Termin erhalten, n_i bezeichnet die Anzahl einzubestellender Patienten

je weiteren Termin und a_i den zeitlichen Abstand der Termine voneinander (siehe hierzu Abschnitt 10.4 (a)). Somit ergibt sich für die kard. Ambulanz eine Einbestellungsregel von zwei Patienten zum ersten möglichen Termin und jeweils ein Patient je Folgetermin, im Abstand von 30 Minuten. Für die stationäre Aufnahme hat sich die Einbestellungsregel mit einem Patienten je Termin, im Abstand von jeweils 15 Minuten, etabliert. Hierbei ist auch für den ersten Termin nur ein Patient vorgesehen.

Bei den in der Tab. 85 aufgeführten Uhrzeiten handelt es sich um den ersten möglichen Aufnahmetermin je Wochentag. Dies stellt damit den zeitlichen Beginn der Terminvergabe dar, nicht aber eine Öffnungszeit. Zur Festlegung einer Öffnungszeit oder Aufnahmezeit sind organisatorische Belange zu berücksichtigen (z.B. Vorbereitungszeiten), welche in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet wurden. Durchaus können aber die Uhrzeiten des Terminvergabebeginns als Orientierung dienen, um daran ausgerichtet Öffnungszeiten abzuleiten. So zeigt sich, dass dienstags bis donnerstags in der kard. Ambulanz erst ab 10:00 Uhr Patientenzugänge geplant sind. In der Konsequenz könnte die Öffnungszeit an diesen Tagen später sein als dies, z.B. am Montag oder Freitag, der Fall wäre, wo die geplante Terminvergabe deutlich eher beginnt. Im Realsystem beginnt diese täglich um 07:30 Uhr (siehe Unterabschnitt 9.7.3 (a)). Im Vergleich dazu beginnt die Terminvergabe im Soll-Modell montags leicht später, zum Rest der Woche deutlich später. In wie fern die hier aufgeführte Planungslogik für die kard. Ambulanz resp. die Patienten der kard. Ambulanz tatsächlich von Vorteil ist, wird im Weiteren eine Betrachtung der Simulationskennzahlen zeigen (siehe Unterabschnitt 13.2.5).

Im Soll-Modell wurde auch für die stationären Patienten eine Aufnahmeregel ermittelt. Sowohl im Realsystem wie auch im Ist-Modell war dies bisher nicht gegeben. Es wurden alle Patienten für die Aufnahmezeit 11:00 – 12:00 Uhr einbestellt, ohne weitere Unterteilung (siehe Unterabschnitt 9.7.3 (a)). Das Zeitfenster der stationären Aufnahme ist in Bezug auf die vorliegende Planung im Soll-Modell mit 11 Patienten je Tag (außer montags) und der Anwendung der Einbestellungsregel (alle 15 Minuten ein Patient) ca. 02 Stunden 45 Minuten im zeitlichen Umfang. Die Patienten werden durch die neue Einbestellungsregel über einen größeren Einbestellungszeitraum verteilt, als dies im Realsystem (1 Stunde) der Fall ist. Da sind die einbestellten Patienten um Pünktlichkeit bemüht und stauen sich zum Beginn der Aufnahmezeit zunächst vor der Zentralaufnahme (im Wartebereich). In der Konsequenz kam es zu Wartezeiten bei der Aufnahme und Anamnese, auch auf den kard. Stationen. In wie fern die hier aufgeführte Planungslogik tatsächlich von Vorteil ist für die kard. Stationen, wird im Weiteren eine Betrachtung der Simulationskennzahlen zeigen (siehe Unterabschnitt 13.2.5).

13.2.4 Reservierungsplanung

Im Folgenden wird nun die Reservierungsplanung der besten gefundenen Lösung aus dem Szenario 1 aufgeführt (siehe Tab. 87 - Tab. 92). Um die Planung transparenter zu machen, wird in den Tabellen ergänzend eine untertägige Verteilung der Reservierung aufgeführt. Hierzu wurde die Öffnungszeit jeweils in der Dauer hälftig geteilt und die Anzahl an Reservierungen innerhalb dieser angegeben. Darüber hinaus wird auf Wochensicht aufgezeigt, wie viele der verfügbaren Terminslots effektiv durch Reservierungen belegt worden sind. Zur Erinnerung: eine Reservierung kann mehrere Terminslots belegen (siehe hierzu Unterabschnitt 11.1.2 (b)). Für eine noch detaillierte Betrachtung der zeitlichen Lage und Verteilung der Reservierungen über den Tag ist die Reservierungsplanung für die einzelnen Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche im Anhang als Boxplot dargestellt (siehe Anhang A88). Hierbei ist darauf zu achten, dass im HKL1 geplante Puffer als „RESERVED_5“ deklariert sind. Als „BUFFER“ ausgewiesene Blockierungen, meist zu Beginn und zum Ende der Öffnungszeit, haben hingegen u.a. die Funktion, die Öffnungszeit von der Terminvergabezeit abzugrenzen.

(a) Eingestellte Puffer im HKL1 zur Kompensation von Notfällen

Im Soll-Modell wurden Puffer in den Terminkalender der Ressource HKL1 eingestellt (RESERVED_5), zur Kompensation von Terminabweichungen und Wartezeiten elektiver Patienten bei eingeschobenen Notfällen. Die nachfolgende Tab. 86 gibt eine Übersicht zur Anzahl eingestellter Reservierungen.

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im HKL1					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	08:45 - 12:45	12:45 - 17:00	
Reserved_5 (ambulante Patienten)	10	5	14	16	23	22,94%

Tab. 86: Übersicht zur Verteilung der eingestellten Puffer

Die Planung beinhaltet in Summe 39 Puffer pro Woche. Es sind zum Beginn der Woche am Montag mit 10 und zum Ende der Woche am Freitag mit 14 deutlich mehr Puffer geplant als Dienstag bis Donnerstag mit lediglich 5 pro Tag. Es zeigt sich ferner eine Übergewichtung der eingestellten Puffer zum Nachmittag, in der Zeit von 12:45 – 17:00 Uhr. In 18 % der Fälle hat sich im Terminkalender durch das Belegen mehrerer Slots in Folge Blöcke von Puffern gebildet. Am Freitag ist dies gehäuft, mit je einem Block von 5 und von 6 Puffern. Auf die Gesamtanzahl bezogen wurden im HKL1 22,94 % der verfügbaren Slots mit Puffern belegt. In wie fern diese Belegung geeignet ist, die durch eingeschobene Notfälle verursachten Terminverschiebungen und Wartezeiten bei elektiven Patienten zu kompensieren, wird in den Unterabschnitten 13.2.5 und 13.3 betrachtet.

(b) Eingestellte Reservierung für ambulante und stationäre Patienten

In den Terminkalendern der Funktionsbereiche EKG und ECHO wurden Reservierungen (RESERVED_1), für das nicht-elektive Aufkommen an Maßnahmenanforderungen von Patienten der kard. Ambulanz, eingestellt. Darüber hinaus wurden Reservierungen für Patienten der kard. Stationen (RESERVED_2) in die Terminkalender der Funktions-/OP-Bereiche EKG, ECHO und HKL eingestellt, welche von diesen für angesetzte Voruntersuchungen genutzt werden können.

Im Terminkalender der Ressource ECHO1 wurden 52 Reservierungen vom Typ RESERVED_1 für Patienten der kard. Ambulanz eingestellt und 43 vom Typ RESERVED_2 für Patienten der kard. Stationen (siehe Tab. 87).

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im ECHO1					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	07:30 – 12:00	12:00 – 16:15	
RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	10	12	6	47	5	29,55%
RESERVED_2 (Patienten der kard. Stationen)	9	8	10	14	29	24,43%
Reservierungen gesamt	19	20	16	61	34	53,98%

Tab. 87: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource ECHO1 für Patienten der kard. Ambulanz und kard. Stationen

Im Wochenverlauf nimmt die Anzahl eingestellter Reservierungen vom Typ RESERVED_1 von 10 auf 12 leicht zu und fällt dann zum Freitag auf 6 ab. Es zeigt sich für diese mit 47 Reservierungen eine sehr deutliche Übergewichtung in der Zeit von 07:30 – 12:00 Uhr im Vergleich zu 5 Reservierungen in der Zeit von 12:00 – 16:15 Uhr. Dem entgegen sind Reservierungen vom Typ RESERVED_2 gleichmäßiger unter der Woche verteilt und wurden in der Mehrheit nachmittags eingestellt. Das Reservierungen für Patienten der kard. Stationen eher später geplant sind, könnte durchaus darauf zurückzuführen sein, dass die Ambulanzpatienten in der Einbestellung und dem weiteren Verlauf tendenziell früher mit den Maßnahmenanforderungen auf den Funktionsbereich treffen, als dies für stationäre Patienten, mit der vorhergehenden Aufnahmeprozedere und den Anamnesen, der Fall ist. Alles in allem werden im Terminkalender des Funktionsbereichs ECHO1 29,55 % der verfügbaren Terminslots für Patienten der kard. Ambulanz und 24,43 % für Patienten der kard. Stationen belegt. In Summe sind dies ca. 54 % der in einer Woche verfügbaren Slots. Der Rest bleibt frei und damit verfügbar, u.a. für Terminvergaben an Patienten von sonstigen Bereiche, sonstige Stationen und Maßnahmenanforderungen von den kard. Stationen außerhalb der Voruntersuchungszeit.

Für die Ressource ECHO2 wurden 42 Reservierungen im Terminkalender vorgenommen (siehe Tab. 88). Für Patienten der kard. Ambulanz (RESERVED_1) sind es hiervon 19, was 21,59 % der verfügbaren Terminslots innerhalb der

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Wochenplanung entspricht. Darüber hinaus wurden 23 Reservierungen für die Patienten der kard. Stationen (RESERVED_2) eingestellt, was 26,14 % der verfügbaren Terminslots gleichkommt. Zusammengenommen sind ca. 48 % der verfügbaren Terminslots mit Reservierungen belegt worden.

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im ECHO2					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	07:30 – 12:00	12:00 – 16:15	
RESERVED_1 (ambulante Patienten)	2	4	5	15	4	21,59%
RESERVED_2 (stationäre Patienten)	4	5	4	13	10	26,14%
Reservierungen gesamt	6	9	9	28	14	47,73%

Tab. 88: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource ECHO2 für Patienten der kard. Ambulanz und den kard. Stationen

Wie im ECHO1, zeigt sich bei näherer Betrachtung für die Patienten der kard. Ambulanz (RESERVED_1) ebenfalls eine deutliche Übergewichtung zur ersten Tageshälfte. Dem entgegen findet sich jedoch auch bei den Reservierungen für die Patienten von den kard. Stationen (RESERVED_2) eine Übergewichtung (wenn auch nur leicht) zur ersten Tageshälfte. Dies könnte damit erklärt werden, dass mit der Ressource ECHO2 Schluckechos (TEE) durchgeführt werden, welche bei Ambulanzpatienten eher seltener, bei stationären Patienten hingegen wesentlich häufiger vorkommen. Dazu kommt, dass nur mit der Ressource ECHO2 Schluckechos abgearbeitet werden. Das heißt, hier werden auch verhältnismäßig mehr stationäre Patienten untersucht.

Im Terminkalender der Ressource HKL2 und HKL3 wurden Reservierungen für Patienten der kard. Stationen (RESERVED_2) eingestellt. Im HKL2 sind dies ca. 89 % aller verfügbaren Terminslots, im HKL3 ca. 47 % (siehe Tab. 89 - Tab. 90).

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im HKL2					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	08:45 – 12:00	12:00 – 15:15	
RESERVED_2 (stationäre Patienten)	5	5	4	15	9	88,89%

Tab. 89: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource HKL2 für Patienten der kard. Stationen

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im HKL3					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	07:30 - 12:00	12:00 - 19:15	
RESERVED_2 (stationäre Patienten)	2	2	2	10	0	47,37%

Tab. 90: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender der Ressource HKL3 für Patienten der kard. Stationen

In beiden Laboren ist eine Übergewichtung der Reservierungen zur ersten Tageshälfte zu erkennen. Die Reservierungen in dem Terminkalender des HKL1 sind hier nicht mit aufgeführt. Auf diese wurde bereits gesondert eingegangen.

Im Terminkalender der Ressource EKG wurden Reservierungen für Patienten der kard. Ambulanz (RESERVED_1) sowie für Patienten der kard. Stationen (RESERVED_2) eingestellt (siehe Tab. 91). Für Patienten der kard. Ambulanz sind es 44 und für Patienten der kard. Stationen 32 Reservierungen pro Woche. In Summe sind dies ca. 55 % der verfügbaren Terminslots. Auch im Terminkalender des EKGs zeigt sich bei beiden Reservierungstypen eine deutliche Übergewichtung der Reservierungen in der zeitlichen Lage zur ersten Tageshälfte.

Bezeichnung	Anzahl Reservierungen im EKG					Prozent der verfügbaren Terminslots
	Mo.	Di.-Do.	Fr.	07:30 - 11:40	11:40 - 15:50	
RESERVED_1 (ambulante Patienten)	6	9	8	30	14	17,25%
RESERVED_2 (stationäre Patienten)	8	5	5	21	11	37,65%
Reservierungen gesamt	14	14	13	51	25	54,90%

Tab. 91: Eingestellte Reservierungen im Terminkalender des EKGs für Patienten der kard. Ambulanz und den kard. Stationen

Nachdem nun die eingeplanten Reservierungen detailliert dargelegt wurden, stellt sich die Frage nach der Nutzungsquote. Nicht alle der vorgehaltenen Reservierungen sind auch tatsächlich von einem entsprechenden Patiententyp genutzt worden. Die nachfolgende Tabelle gibt hier eine Übersicht (siehe Tab. 92)

Bezeichnung	Bereich	Patienten	geplant	genutzt	Nutzungsquote
ECHO1_RESERVED_1_perWeek	ECHO 1	ambulant	52	12	23,08%
ECHO1_RESERVED_2_perWeek	ECHO1	stationär	43	10	23,26%
ECHO2_RESERVED_1_perWeek	ECHO2	ambulant	19	5	26,32%
ECHO2_RESERVED_2_perWeek	ECHO2	stationär	23	8	34,78%
EKG_RESERVED_1_perWeek	EKG	ambulant	44	9	20,45%
EKG_RESERVED_2_perWeek	EKG	stationär	32	6	18,75%
HKL2_RESERVED_2_perWeek	HKL	stationär	24	22	91,67%
HKL3_RESERVED_2_perWeek	HKL	stationär	10	7	70,00%
Summe			247	79	31,98%

Tab. 92: Übersicht genutzter Reservierung in der Anwendung der Reservierungsplanung im Soll-Modell

Bei den genutzten Reservierungen ist das HKL1 (RESERVED_5) bisher nicht aufgeführt, da diese Form der Belegung keiner direkten Nutzung durch Patienten unterliegt.

Inwiefern die eingestellten Reservierungen mit der aufgeführten Nutzungsquote einen positiven Effekt auf die zugrunde liegende Zielstellung hatten, wird im folgenden Unterabschnitt an konkreten Kennzahlen betrachtet.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

13.2.5 Kennzahlen der Simulation zur Bewertung der Planung im Soll-Modell

In diesem Unterabschnitt werden nun die aus den Simulationsdaten erhobenen Kennzahlen betrachtet, um die ausgeführte Planung der im Szenario 1 gefundenen besten Lösung hinsichtlich der tatsächlichen Güte besser bewerten zu können. Auch an dieser Stelle kann eine Verbesserung oder Verschlechterung einer Kennzahl nicht abschließend auf eine der Planungsgrößen allein zurückgeführt werden. Sofern es nicht anders angegeben ist, bezieht sich eine Kennzahl immer auf den Mittelwert je Patient, auch wenn dies nicht explizit aufgeführt sein sollte.

Die zuvor im Detail dargelegte Planung zeigt in der tatsächlichen Umsetzung im Soll-Modell bei 90 simulierten Durchläufen nachfolgende Ergebnisse in den Wartezeiten und Durchlaufzeiten der Patienten. Die aufgeführten Wartezeiten ergeben sich aus den Terminabweichungen in Form eines zu späten Terminbeginns und dem zu frühen Auftreten der Patienten. Ein zu spätes Auftreten der Patienten führt hingegen zunächst nur zu einer Terminabweichung. Eine Wartezeit fällt dahingehend erst an, wenn der Patient anschließend auch warten muss. Ein rein zu spätes Auftreten, wo nur der Funktions-/OP-Bereich auf den Patienten gewartet hat, wird nicht als Wartezeit aus Sicht des Patienten gewertet. Durchlaufzeiten ergeben sich aus der zeitlichen Differenz von Beginn der Aufnahme bis Ende der Entlassung. Die Ermittlung der Kennzahlen ist identisch gehalten, wie dies für das Ist-Modell erfolgte. Ein direkter Vergleich der aufgeführten Kennzahlen mit den Werten aus dem Ist-Modell ist damit möglich und zulässig.

(a) Wartezeiten und Durchlaufzeiten von Patienten der kard. Ambulanz

Die Tab. 93 führt die Ergebniswerte der Simulation für die Patienten der kard. Ambulanz auf.

Bezeichnung	Realsystem Dauer im Mittel (Minuten)	Ist-Modell Dauer im Mittel (Minuten)	Ergebniswerte aus dem Soll-Modell für Patienten der kard. Ambulanz				Abweichung der Simulationsergebnisse Soll-Ist-Vergleich	
			Anzahl	Mittelwert (Minuten)	Konfidenzintervall 95%		nominal (Minuten)	prozentual
					oben	unten		
WZ Aufnahme	1,6505	1,6493	129600	1,1219	1,11	1,13	-0,53	-31,98%
WZ Erstkontakt	23,3333	23,1361	129600	22,9214	22,79	23,05	-0,21	-0,93%
WZ Arzt	19,6712	19,6282	129600	17,0490	16,94	17,16	-2,58	-13,14%
WZ Echo	17,8000	17,5416	102356	12,0887	11,95	12,23	-5,45	-31,09%
WZ EKG	9,6548	9,6338	45502	10,9085	10,75	11,07	1,27	13,23%
WZ Entlassung	n.v.	27,2257	129600	20,0723	19,92	20,22	-7,15	-26,27%
DLZ gesamt	156,2449	159,5856	128965	152,1036	158,73	160,29	-7,48	-4,69%

Tab. 93: Ergebniswerte bzgl. WZ und DLZ der Ambulanzpatienten bei der besten gefundenen Lösung im Szenario 1

Zunächst zeigt sich bei den Patienten der kard. Ambulanz eine um 4,69 % geringere Durchlaufzeit als im Ist-Modell. Diese Verbesserung ist zurückzuführen auf eine im Mittel je Patient sehr deutlich reduzierte nominale Wartezeit auf das Arztgespräch,

bei der Echomaßnahme sowie auf die Entlassung. Dem entgegen wirkt eine Steigerung der mittleren Wartezeit je Patient bei den EKG-Maßnahmen um 13,23 % im Vergleich zum Ist-Modell. In wie fern für die aufgezeigten Veränderungen die Zugangs-, Termin- oder Reservierungsplanung ursächlich sind, gilt es noch zu untersuchen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Terminvergaberegulierung in Verbindung mit der Zugangsplanung maßgeblich die Wartezeit bei der Aufnahme und beim Erstkontakt beeinflusst haben. Bezogen auf die eingestellten Reservierungen, können diese direkt oder indirekt die Wartezeiten der Patienten in den Funktionsbereichen EKG und ECHO beeinflusst haben. Direkt z.B., indem Reservierungen für Patienten der kard. Ambulanz von eben diesen genutzt wurden oder indirekt, indem die Patienten der kard. Ambulanz vom Leerstand aus nicht genutzten Reservierungen stationärer Patienten profitiert haben. Diese schaffen Leerstände, zu denen nicht-elektive Patienten eingeschoben werden können.

(b) Wartezeit und Durchlaufzeiten der stationären Patienten

In der nachfolgenden Tabelle sind die Warte- und Durchlaufzeiten für die Patienten der kard. Stationen aufgeführt (siehe Tab. 94).

Auch im Fall der stationären Patienten stellt sich das Gesamtbild der aufgeführten Kennzahlen als durchwachsen dar. Während sich die Wartezeiten im Mittel je Patient bei der Aufnahme, der pflegerischen Anamnese (ANAMP) und im HKL deutlich reduziert haben, stellt sich mit der vorliegenden Planung aber auch eine erhöhte mittlere Wartezeit je Patient auf die ärztliche Anamnese (ANAMA), die EKG-Maßnahme sowie auf den Arztbrief ein. Neben der Termin- und Zugangsplanung ist der zentrale Optimierungsgegenstand die Reservierungsplanung, welche die Reduktion der Dauer bis zum Termin (Terminverfügbarkeit) und damit verbunden die Minimierung der Voruntersuchungsdauer (VU-Dauer) bei den Patienten der kard. Stationen bewirken soll. Diesbezüglich zeigt sich zunächst im Mittel je Patient eine gestiegene Dauer der Voruntersuchung von 16,61 % für die Patienten der kard. Station 1 sowie von 36,36 % für die Patienten der kard. Station 2. Dies ist als negatives Planungsergebnis zu werten und trägt maßgeblich zu der schlechteren Gesamtleistung der Lösung in Bezug auf den Ertragswert bei. Als Erklärung für die erhöhte VU-Dauer kann die um 43,38 % gestiegene Wartezeit auf die ärztliche Anamnese gesehen werden. Diese ist erforderlich, um die Maßnahmen im EKG/Echo/HKL anzusetzen. Erst im Anschluss an diesen Prozessschritt erfolgt eine Terminanfrage in den Funktions-/OP-Bereichen. Verzögert sich somit die ärztliche Anamnese, kann es potentiell zu späteren Terminen führen und damit die VU-Dauer der Patienten verlängern.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Bezeichnung	Realsystem	Ist-Modell	Ergebniswerte aus dem Soll-Modell für Patienten der kard. Stationen				Abweichung der Simulationsergebnisse Soll-Ist-Vergleich	
	Dauer im Mittel (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	Anzahl	Mittelwert (Minuten)	Konfidenzintervall 95%		nominal (Minuten)	prozentual
					oben	unten		
WZ AUFNM	n.v.	0,02	228958	0,00	,00	,00	-0,01	-73,70%
WZ ANAMA	n.v.	18,02	228958	25,83	25,71	25,95	7,82	43,38%
WZ ANAMP	n.v.	4,45	228958	3,85	3,82	3,88	-0,60	-13,47%
WZ ECHO	n.v.	12,70	141561	12,79	12,68	12,90	0,09	0,68%
WZ EKG	n.v.	7,49	40608	8,63	8,48	8,77	1,14	15,17%
WZ HKL	n.v.	47,21	181995	23,26	23,04	23,47	-23,96	-50,74%
WZ BRIEF	n.v.	103,62	226087	111,60	110,94	112,27	7,98	7,71%
Durchlaufzeit (STA_1,6)	6707	6668,51	89559	6772,95	6731,07	6814,83	104,44	1,57%
Durchlaufzeit (STA_2,7)	6232	6222,93	136528	6790,29	6755,40	6825,18	567,36	9,12%
Restliegezeit (STA_1,6)	5297	5044,85	89559	5055,21	5141,45	5221,10	10,35	0,21%
Restliegezeit (STA_2,7)	4850	5236,73	136528	5181,28	4939,18	5005,81	-55,45	-1,06%
VU-Dauer (STA_1,6) Ankunft - VU-Ende	1396	1425,35	89559	1662,05	1645,59	1678,52	236,71	16,61%
VU-Dauer (STA_2,7) Ankunft - VU-Ende	1391	1387,76	136528	1892,38	1879,20	1905,55	504,62	36,36%
Dauer bis Termin ECHO1 (VU)	n.v.	264,98	53595	78,32	75,31	81,33	-186,66	-70,44%
Dauer bis Termin ECHO2 (VU)	n.v.	285,49	47996	269,45	264,24	274,66	-16,04	-5,62%
Dauer bis Termin ECHO3 (VU)	n.v.	823,94	10141	38,36	33,06	43,66	-785,58	-95,34%
Dauer bis Termin EKG (VU)	n.v.	378,33	41478	371,57	365,25	377,89	-6,76	-1,79%
Dauer bis Termin HKL1 (VU)	n.v.	1312,29	50183	2126,37	2112,05	2140,70	814,08	62,04%
Dauer bis Termin HKL2 (VU)	n.v.	1361,05	91246	2179,01	2168,45	2189,57	817,96	60,10%
Dauer bis Termin HKL3 (VU)	n.v.	1185,10	42126	1741,33	1728,32	1754,33	556,23	46,93%
Dauer bis Termin HKL 4 (VU)	n.v.	6608,09	9455	6960,92	6853,14	7068,70	352,83	5,34%

Tab. 94: Ergebniswerte bzgl. WZ und VU-Dauer der stationären Patienten im Szenario 1

Ebenso kann die um 15,17 % gestiegene mittlere Wartezeit je Patient im EKG zur Verlängerung der VU-Dauer geführt haben. Ein Blick auf die aufgeführten Kennzahlen zur Dauer von dem Zeitpunkt der Terminanfrage bis zum Termin zeigt

für die einzelnen Funktions-/OP-Bereiche, in wie fern die Terminverfügbarkeit als Grund angesehen werden kann. Hier sind deutliche Veränderungen im Vergleich zum Ist-Modell ersichtlich. Während sich diese im EKG und ECHO1-3 um bis zu 95,34 % reduzierten, erhöhten sie sich für die Ressourcen HKL1-3 um bis zu 62,04 %. Ein späterer Termin führt potentiell zu einer längeren Voruntersuchungsdauer, da die HKL-Maßnahme in der Abgrenzung das Ende der VU-Dauer definiert (siehe Anhang A62 (d)). Grundsätzlich kann hierfür aber auch die Reservierungsplanung ursächlich sein. Durch die Belegung der Slots mit Reservierungen, die im Späteren evtl. gar nicht genutzt werden, könnten angefragte Termine erst später verfügbar sein, als dies ggf. regulär der Fall wäre. Auch wenn die Patienten der kard. Stationen innerhalb der Voruntersuchungsdauer die Reservierungen belegen können, kann, sofern keine Reservierung mehr verfügbar ist, ggf. der sonst freie Raum durch Patienten anderer Stationen belegt sein, so dass Reservierungen oder freie Slots erst wieder am Folgetag oder später verfügbar wären. Dies zu eruieren ist jedoch nicht trivial. Daher erfolgt zunächst eine Betrachtung der VU-Dauer an den Aufnahmetagen (siehe Tab. 95).

Wochentag der Aufnahme	N	VU-Dauer in Minuten im Mittel je Aufnahmetag (Ist-Modell)		N	VU-Dauer in Minuten im Mittel je Aufnahmetag (Soll-Modell)	
		STA_1	STA_2		STA_1	STA_2
Montag	55754	1247,54	1245,34	21600	1342,13	1485,30
Dienstag	54573	1278,94	1244,40	47520	1431,47	1472,28
Mittwoch	50813	1339,96	1329,13	43200	1445,14	1593,66
Donnerstag	47372	1523,26	1473,10	47520	1726,12	2026,66
Freitag	10283	2866,51	3013,26	43200	3065,84	3183,34
Gesamt ¹¹⁷	218795	1419,67	1385,81	203040	1878,86	1970,10

Tab. 95: Übersicht Dauer der Voruntersuchung nach Tag der Aufnahme und Quelle im Szenario 1

Wie sich zeigt, ist die VU-Dauer für elektive Zugänge auf der kard. Station 1 (Quelle STA_1) wie auch für die der kard. Station 2 (Quelle STA_2) an jedem Wochentag leicht höher im Vergleich zum Ist-Modell. Auch zeigen sich grundsätzlich deutlich höhere Werte am Freitag, im Vergleich zum Rest der Woche. Dies ist nachvollziehbar, da am Wochenende die Funktionsbereiche geschlossen sind und OP-Bereiche nur Notfälle versorgen. Damit ist die VU-Dauer der am Freitag aufgenommenen Patienten um die Liegezeit am Wochenende verlängert, ohne dass hier ein Fortschritt erreicht wird. Wie die Werte zeigen, ist dieser Sachverhalt auch im Ist-Modell gegeben. Der Unterschied liegt jedoch darin, dass es im Ist-Modell deutlich weniger Aufnahmen am Freitag sind als im Soll-Modell (siehe auch Tab. 81 in Unterabschnitt 13.2.2). Auf dieser Grundlage lässt sich nun festhalten, dass die erhöhte VU-Dauer offensichtlich maßgeblich auf die Zugangsplanung der Patienten speziell am Freitag zurückzuführen ist.

¹¹⁷ Die Anzahl der aufgeführten Zugänge ist im Ist-Modell höher als im Soll-Modell, obwohl zuvor ausgeführt wurde, dass es in der Planung im Soll-Modell mehr Patienten im Zugang je Woche sind. Dies liegt daran, dass hier die Quellen STA_6 und STA_7 nicht berücksichtigt sind.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

(c) Wartezeiten und Terminabweichungen der Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen EKG, ECHO und HKL

An dieser Stelle werden nun die Terminabweichungen und die Wartezeiten aus Sicht der Funktions-/OP-Bereiche betrachtet. Hierbei sind alle Patienten aus allen Quellen Betrachtungsgegenstand, nicht nur die bisher betrachteten Patienten aus der kard. Ambulanz und von den kard. Stationen 1+2. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick zu den Wartezeiten sowie den Terminabweichungen im Soll-Modell (siehe Tab. 96).

Bezeichnung	Realsystem Dauer im Mittel (Minuten)	Ist-Modell Dauer im Mittel (Minuten)	Ergebniswerte aus dem Soll-Modell für Patienten der kard. Stationen				Abweichung der Simulationsergebnisse Soll-Ist-Vergleich	
			Anzahl	Mittelwert (Minuten)	Konfidenzintervall 95%		nominal (Minuten)	prozentual
					oben	unten		
TA ECHO	n.v.	16,0576	775881	8,7334	8,69	8,77	-7,3242	-45,61%
WZ ECHO	n.v.	16,5193	775881	9,9375	9,90	9,98	-6,5818	-39,84%
TA EKG	n.v.	9,7244	207291	9,2592	9,19	9,33	-0,4652	-4,78%
WZ EKG	18,1613	9,6319	207291	9,1498	9,08	9,22	-0,4821	-5,01%
TA HKL	12,7043	43,2537	268894	19,7082	19,54	19,88	-23,5455	-54,44%
WZ HKL	48,3360	48,3968	268894	24,0380	23,86	24,22	-24,3588	-50,33%
WZ HKL-AKUT	n.v.	17,7060	52353	17,6348	17,35	17,92	-0,0712	-0,40%

Tab. 96: Übersicht Wartezeiten und Terminabweichungen für Funktions-/OP-Bereiche im Szenario 1

Während sich die Wartezeit der Patienten aus der kard. Ambulanz und von den kard. Stationen bei einer EKG-Maßnahme um ca. 13 % und ca. 15 % erhöht haben (siehe vorhergehender Unterabschnitt 13.2.5 (a) und (b)), hat sich die Wartezeit aus Sicht aller Patienten im EKG, also auch derer von den sonstigen Stationen/Bereichen von der Intensivstation und von der Notaufnahme kommend, in der Gesamtbetrachtung um ca. 5 % verringert. Das heißt, die Verbesserungen zeigten sich hier ausschließlich bei der eingestellten Stör-/Grundauslastung.

Bezogen auf die Echokardiografie zeigt sich eine Reduktion der Wartezeiten für die Ambulanzpatienten um ca. 31 % und eine Erhöhung um 0,68 % für die stationären Patienten (siehe vorhergehender Unterabschnitt 13.2.5 (a) und (b)). Bezogen auf alle Patienten, inkl. derer von sonstigen Stationen/Bereichen, von ITS und von der Notaufnahme kommend, hat sich die Wartezeit im Echo um 39,84 % verringert. Auch hier kann der Schluss gezogen werden, dass die Verbesserungen zu großen Teilen von der eingestellten Stör-/Grundauslastung realisiert wurden.

Für eine Maßnahme im Herzkatheterlabor ergab sich für stationäre Patienten der kard. Stationen 1+2 eine Reduktion in der Wartezeit um ca. 51 % im Vergleich zum Ist-Modell (siehe vorhergehender Unterabschnitt 13.2.5 (b)). Da Ambulanzpatienten keine HKL-Maßnahme erhalten, bleiben diese in der Betrachtung hier außen vor. Die Wartezeit aller Patienten im OP-Bereich HKL verbesserte sich ebenfalls um ca. 50 %.

Damit ist die Reduzierung nicht zu Lasten der Patienten von sonstigen Stationen, ITS oder Notaufnahme (nicht-akut), gegangen. Die Verbesserung zeigt sich gesamtheitlich.

Wie sich in der Tab. 96 zeigt, reduzierten sich die Terminabweichungen im HKL um ca. 54 %, im Vergleich zum Ist-Modell. Terminabweichungen ergeben sich in der Erhebung u.a. auch durch zu spät auftretende Patienten oder Terminverschiebungen. Um tatsächliche Terminverschiebungen nicht mit vorgezogenen Patienten im Mittel aller Patienten auszugleichen, werden Terminabweichungen bei vorgezogenen Patienten mit 0 berücksichtigt. Negative Terminabweichungen gibt es damit keine. In wie fern die aufgeführte Verbesserung durch die im HKL1 eingestellten Puffer oder die Reservierungen in den HKL2+3 erreicht wurde, ist noch zu untersuchen (siehe hierzu Abschnitt 13.3). Auffällig ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Wartezeit der HKL-Akut Fälle bei den stationären Patienten mit -12,7 % zeigt (siehe Tab. 94) und aus Gesamtsicht aller Akut-Patienten im HKL mit nur -0,4 % (siehe Tab. 96). Grundsätzlich sind Notfälle immer gleich priorisiert. Es kann somit keine unterschiedliche Behandlung derer im Modellablauf gegeben haben. Betrachtet man die tatsächlichen Wartezeiten fällt auf, dass diese sowohl für die Patienten der kard. Stationen wie auch aus Sicht aller Patienten bei ca. 17,6 Minuten im Mittel liegt. Ursächlich für diese Differenz ist offensichtlich die Vergleichsbasis aus dem Ist-Modell, welche sich hier unterscheidet. Was dazu geführt hat, lässt sich an dieser Stelle nicht klären.

Der Grund für die aufgezeigten Veränderungen in den Wartezeiten und Terminabweichungen im HKL kann indirekt auch die Zugangsplanung sein. Umso mehr Patienten einbestellt werden, umso höher ist die Auslastung und umso höher könnte die (lastbedingte) Wartezeit ausfallen. Ebenso können die geänderten Planwerte für die HKL-Maßnahmen, PTA und Ablation einfach (ABLAE) mitgewirkt haben. Nicht zuletzt kann auch die Reservierungsplanung maßgeblichen Einfluss hierauf genommen haben. Immerhin war es genau die Intention, die Wartezeiten und Terminabweichungen zu reduzieren. Dies bedarf für eine abschließende Beurteilung noch näherer Betrachtung (siehe hierzu Abschnitt 13.3). Zuvor wird aber noch die Auslastung der Funktions-/OP-Bereiche und Bettenkapazitäten aufgeführt, um das Bild der vorliegenden Planung zu vervollständigen.

(d) Auslastung in den Funktions-/OP-Bereichen EKG, ECHO und HKL

Im Folgenden wird nun die aus der vorliegenden Planung resultierende Ressourcenauslastung in den Funktions-/OP-Bereichen EKG, ECHO und HKL betrachtet (siehe Abb. 139). Zielstellung war hier, eine gleichmäßigere Auslastung zu erreichen.

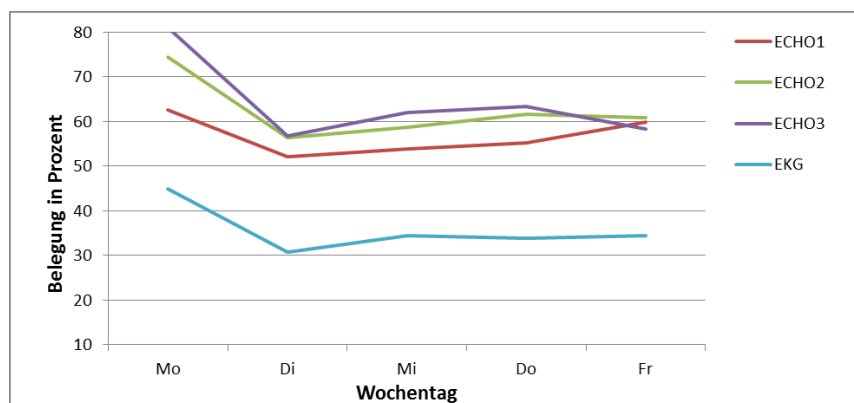


Abb. 139: Übersicht der Ressourcenauslastung für die Funktionsbereiche EKG und ECHO im Szenario 1

Die Elektrokardiografie zeigt sich auch im Soll-Modell mit einer Auslastung von 30 – 45 % nicht als Engpass. Im direkten Vergleich zum Ist-Modell (siehe Abb. 140) hat sich für die Ressourcen ECHO1-3 eine untereinander gleichmäßigere Auslastung eingestellt, indem sich über die Woche gesehen die Auslastung im ECHO1 reduziert und im Echo2+3 erhöht hat. Damit hat sich der Engpass in der Ressource ECHO1 ein wenig gelöst. Abgesehen von der Spitze zum Montag ist die Auslastung in den betrachteten Ressourcen im Wochenverlauf recht gleichmäßig, vergleichbar mit dem Status im Ist-Modell (siehe Abb. 140). Die zum Montag höhere Auslastung in den Ressourcen könnte im Soll-Modell bedingt sein durch die zum Freitag auf den kard. Stationen elektiv aufgenommenen Patienten und den prästationären Zugängen am Montag. Im Weiteren könnte die erhöhte Auslastung am Montag wiederum ursächlich sein für die montags geringere Anzahl an elektiv geplanten Zugängen auf den kard. Stationen und in der kard. Ambulanz (siehe Unterabschnitt 13.2.2).

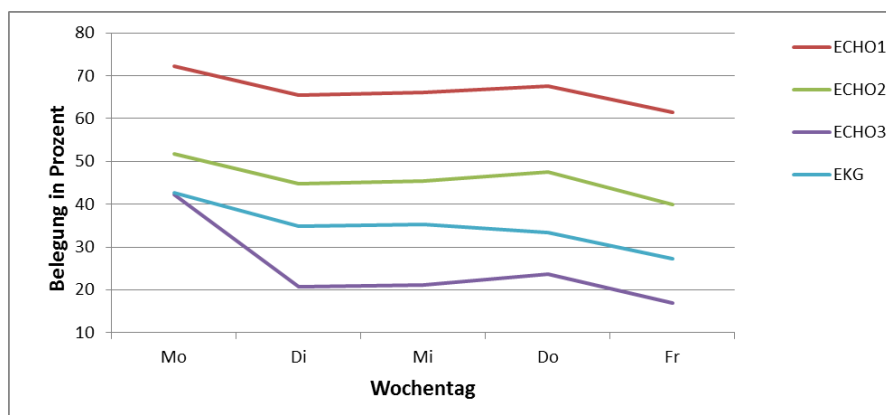


Abb. 140: Übersicht der Ressourcenauslastung in den Funktionsbereichen EKG und ECHO im Ist-Modell

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Auslastung im HKL im Wochenverlauf (siehe Abb. 141).

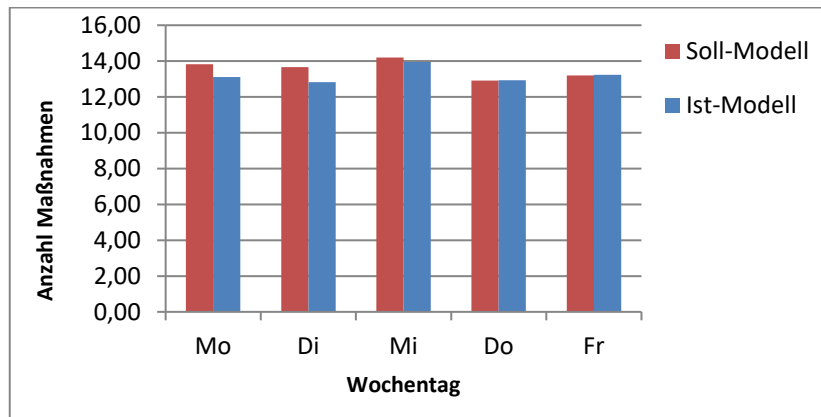


Abb. 141: Anzahl Maßnahmen im Wochenverlauf im Szenario 1

Im direkten Vergleich zum Ist-Modell zeigt sich in der Darstellung eine leicht höhere Auslastung in der Form einer höheren Anzahl behandelter Patienten zum Anfang der Woche. Ursächlich kann hierfür die höhere Anzahl an elektiven Zugängen auf den kard. Stationen am Donnerstag und Freitag gesehen werden, im Vergleich zum Ist-Modell.

(e) Bettenauslastung auf den kard. Stationen 1+2

Die aus der vorliegenden Planung resultierende Bettenauslastung auf den kard. Stationen 1+2 ist in den nachfolgenden Grafiken veranschaulicht (siehe Abb. 142). Hierbei sind den Soll-Werten die jeweiligen Ergebniswerte des Ist-Modells differenziert nach den kard. Stationen 1+2 gegenübergestellt.

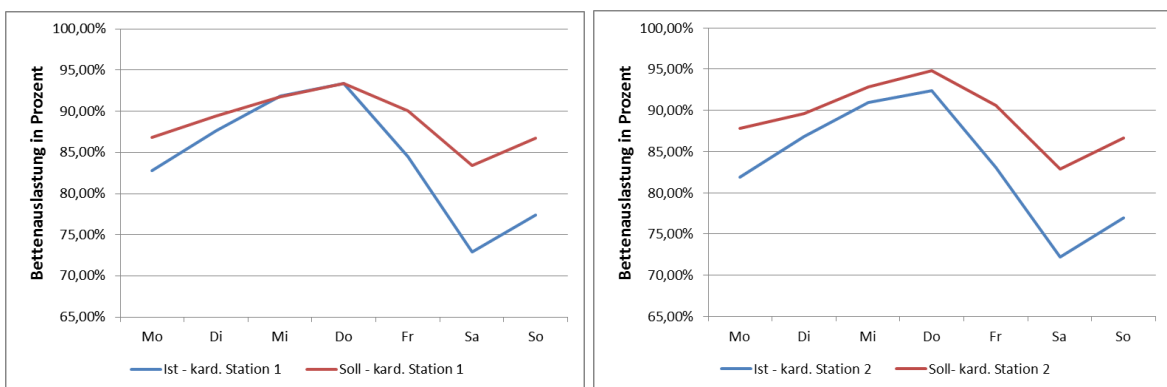


Abb. 142: Bettenauslastung der kard. Stationen 1+2 im Wochenverlauf in Prozent im Szenario 1

In der Darstellung zeigt sich im Vergleich zum Ist-Modell eine höhere Bettenauslastung zum Beginn und zum Ende der Woche. Erklärt werden könnte dies wieder mit der vorliegenden Zugangsplanung. Wie bereits ausgeführt wurde, ist die Anzahl der geplanten elektiven Zugänge auf den kard. Stationen 1+2 speziell am

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Freitag deutlich höher als im Ist-Modell. In der Konsequenz ist die Bettenbelegung und damit die Bettenauslastung am Freitag, über das Wochenende hinweg bis zum Montag höher als im Ist-Modell. Dies kann u.U. an einem zu geringen Anreiz in der Ertragsfunktion liegen. In der bisherigen Ausprägung gibt es eine Strafzahlung (Kosten) für die Liegezeit. Dabei ist die Liegezeit unter der Woche gleich gewichtet zur Liegezeit an einem Wochenende. Im Realsystem wird das Bedürfnis, die Stationen in der Anzahl der Patienten herunterzufahren, offensichtlich höher gewichtet als dies bisher im Modell der Fall ist. Dies ließe sich aber, mit zusätzlichen Kosten für Patienten, die am Wochenende auf den Stationen verbleiben, im Soll-Modell nachjustieren. In der bisherigen Betrachtung wurde das bewusst herausgelassen, um zu prüfen, ob sich auch in der jetzigen Situation ein solcher Effekt einstellt. Wie sich zeigt, ist dies zwar grundsätzlich der Fall, jedoch nicht so stark wie im Ist-Modell resp. im Realsystem.

In der weiteren Betrachtung der Simulationsdaten zeigt sich, im direkten Vergleich mit dem Ist-Modell, eine deutliche Erhöhung in den Wartezeiten der stationären Zugänge auf ein Bett (siehe Tab. 97). Auch dieser Umstand bedarf näherer Betrachtung zu den Ursachen.

Entsender/ Quelle	Realsystem Dauer im Mittel (Minuten)	Ist-Modell Dauer im Mittel (Minuten)	Ergebniswerte aus dem Soll-Modell für Patienten der kard. Stationen				Abweichung der Simulationsergebnisse Soll-Ist-Vergleich	
			Anzahl	Mittelwert (Minuten)	Konfidenzintervall 95%		nominal (Minuten)	prozentual
					oben	unten		
STA_1	n.v.	329,78	73426	391,28	382,67	399,90	61,51	18,65%
STA_2	n.v.	294,88	129571	452,00	445,26	458,74	157,12	53,28%
STA_3	n.v.	291,64	110099	458,08	450,48	465,67	166,44	57,07%
STA_4	n.v.	337,20	28623	531,75	515,31	548,19	194,55	57,70%
STA_5	n.v.	351,39	14261	501,47	478,72	524,23	150,08	42,71%
STA_6	n.v.	147,74	17279	150,52	146,56	154,47	2,77	1,88%
STA_7	n.v.	101,09	8639	128,20	122,82	133,58	27,11	26,82%

Tab. 97: Übersicht WZ auf ein Bett auf den kard. Stationen 1+2 im Szenario 1

13.2.6 Zusammenfassung

Es wurde hier die Planung der besten gefundenen Lösung aus den Optimierungsläufen des Szenarios 1 aufgeführt und die in der Simulation resultierenden Kennzahlen, wie Wartezeiten, Durchlaufzeiten und Kapazitätsauslastungen, dargelegt. Mit der vorliegenden Planung wurden die elektiven Zugänge der kard. Ambulanz wie auch der kard. Stationen 1+2 geplant und optimiert. Die Anzahl elektiver Patientenzugänge konnte im Vergleich zum Realsystem leicht gesteigert werden. Dies, obwohl im Szenario 1 Anforderungen erschwerend hinzukamen, wie z.B. der Verzicht auf ein Zusatzbett in der Bettenkapazität auf der kard. Station 1 sowie der Umstand, dass HKL-Maßnahmen erst nach dem Vorliegen der EKG- und Echobefunde angefragt wurden. In der Optimierung zeigten sich prästationäre Aufnahmen von Patienten zur Durchführung von Voruntersuchungen

als vorteilhaft. Es sind 6 Patienten im prästationären Zugang über die kard. Stationen geplant worden. Bezogen auf die kard. Ambulanz wurde diese Möglichkeit hingegen nicht genutzt. Im Weiteren erfolgte eine Reservierungsplanung, welche auf das jeweilige Patientenaufkommen abgestimmt ist. Wie sich nun zeigte, konnte die optimierte Planung zwar mit einigen Verbesserungen im direkten Vergleich mit dem Ist-Modell aufwarten, dem gegenüber stehen aber auch teils deutliche Verschlechterungen. Dies im Speziellen in Form der gestiegenen Voruntersuchungsdauer, den längeren Zeiten von Terminanfrage bis zum Termin und den erhöhten Wartezeiten. Gerade dies war aber Gegenstand und Zielstellung der Optimierung, im Speziellen der Reservierungsplanung. Einige Umstände, z.B. höhere Kapazitätsauslastungen und hohe Voruntersuchungsdauern, konnten bereits ansatzweise über die vorliegende Zugangsplanung erklärt werden. Für eine abschließende Beurteilung und ggf. Verbesserung derer bedarf es weiterführender Analysen. So ist insbesondere eine transparentere Sicht auf die Einwirkung der Reservierungsplanung erforderlich. Hier zeigt sich eine Schwäche in der Problemkodierung. Zielgröße war lediglich eine Maximierung der Nutzungsquote und der Anzahl an Reservierungen. Es wurde übersehen, dass die Reservierungen auch negativen Effekt haben können. Somit war es dem Genetischen Algorithmus in der vorliegenden Problemkodierung nicht möglich, die Reservierungen z.B. für einen Funktions-/OP-Bereich, eine Ressource oder einen Reservierungstyp selektiv zu unterlassen. Dies kann aber leicht durch ein weiteres Chromosom nachgearbeitet werden. Ein möglicher Chromosomenaufbau könnte dahingehend für jeden Reservierungstyp je Ressource ein Gen aufweisen, mit den Ausprägungen 1 (aktiv) und 0 (inaktiv). Alternativ könnte die Zielfunktion angepasst werden, um dem Algorithmus eine Möglichkeit zu schaffen, die Anzahl der Reservierungen auch zu minimieren. Dies wäre aber deutlich schwieriger umzusetzen.

Im Weiteren wird nun mittels Szenarientests untersucht, in wie fern:

- die zur Kompensation von Notfällen im HKL1 eingestellten Puffer die Planung beeinflussen.
- die einzelnen Reservierungstypen sich auf die Kennzahlen auswirken, im Speziellen die Wartezeiten in den Funktions-/OP-Bereichen, die VU-Dauer sowie die Dauer von Terminanfrage bis zum Termin in Bezug auf die Maßnahmen innerhalb der Voruntersuchungszeit.
- die eingestellte Reservierungsplanung in den Funktionsbereichen EKG und ECHO die Wartezeit der Ambulanzpatienten beeinflusst hat.
- die höhere Anzahl an Patientenzugängen auf die kard. Stationen am Freitag ursächlich ist für die hohe VU-Dauer resp. die erhöhte Ressourcenauslastung am Montag.

13.3 Weitere Szenarientests

In diesem Abschnitt werden verschiedene Szenarientests durchgeführt, um die soeben aufgestellten Fragestellungen, in Bezug auf das vorliegende Planungsergebnis aus dem Szenario 1, weiter zu analysieren.

13.3.1 Simulationsszenario 2: Wirkung der im HKL1 eingeplanten Puffer (RESERVED_5)

Im Terminkalender des HKL1 wurden in der Reservierungsplanung Puffer eingestellt. Dies erfolgte mit der Zielstellung, Freiräume in der OP-Planung des HKL1 zu schaffen, um evtl. auftretende Notfälle sowie die daraus resultierenden Terminabweichungen und Wartezeiten der geplanten Patienten im Tagesverlauf sukzessive zu kompensieren.

Zu diesem Zweck wird die vorliegende Planung aus dem Szenario 1, mit sämtlichen Gegebenheiten und Vorgaben des Szenarios 1, erneut mit 90 Durchläufen und mit einer Laufzeit von jeweils 51 Wochen simuliert (siehe Abschnitt 13.1). Sämtliche in der Tab. 77 zum Szenario 1 aufgeführten Optimierungssachverhalte sind aktiv. Als einzige Änderung werden im Szenario 2 die Reservierungen vom Typ Puffer (RESERVED_5) über die Modellparametrisierung für das HKL1 inaktiv gesetzt (siehe Tab. 98).

Ressource	Reservierungstyp	Szenario 1	Szenario 2
ECHO1	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv
ECHO1	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv
ECHO2	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv
ECHO2	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv
EKG	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv
EKG	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv
HKL1	RESERVED_5 (Puffer)	aktiv	inaktiv
HKL2	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv
HKL3	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv

Tab. 98: Gegenüberstellung und Abgrenzung des Szenarios 1 und 2

Im Ergebnis der Simulation belief sich der bereinigte Ertragswert im Mittel je Woche für das Szenario 2 auf 31.977. Damit liegt dieser um 11,66 % über dem des Szenarios 1 und stellt auf dem Signifikanzniveau von 0,05 eine signifikante Verbesserung dar. Im Vergleich zum Ist-Modell konnte eine Verbesserung um 8,11 % erreicht werden, welche sich aber auf dem Signifikanzniveau von 0,05 als nicht signifikant darstellt (Fehler 1. Ordnung = 0,053). In der deutlichen Steigerung der Ertragswerte im Szenario 2 zeigt sich sehr eindrucksvoll, dass die eingestellten Puffer im HKL1 als eine Ursache zu sehen sind, warum, in den Ertragswerten des Szenarios 1 gegenüber denen im Ist-Modell, keine Verbesserung erreicht werden konnte. Die in der Simulation des Szenarios 2 erreichten Simulationsergebnisse werden im Folgenden den bisherigen Ergebniswerten aus dem Szenario 1 gegenübergestellt (siehe Tab. 99).

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Nr.	Bezeichnung	betrachtetes Patientengut	Szenario 1 Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 2 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
					nominal (Minuten)	prozentual
01	WZ Aufnahme	kard. Ambulanz (gesamt)	1,12	1,12	0,00	0,00%
02	WZ Erstkontakt	kard. Ambulanz (alle)	22,92	22,92	0,00	0,00%
03	WZ Arzt	kard. Ambulanz (alle)	17,05	17,07	0,02	0,14%
04	WZ Echo	kard. Ambulanz (alle)	12,09	12,07	-0,02	-0,18%
05	WZ EKG	kard. Ambulanz (alle)	10,91	10,90	0,00	-0,04%
06	WZ Entlassung	kard. Ambulanz (alle)	20,07	20,08	0,01	0,03%
07	DLZ gesamt	kard. Ambulanz (alle)	152,10	152,11	0,01	0,01%
08	TA ECHO	ECHO (alle)	8,73	8,75	0,02	0,19%
09	WZ ECHO	ECHO (alle)	9,94	9,96	0,03	0,26%
10	TA EKG	EKG (alle)	9,26	9,23	-0,03	-0,32%
11	WZ EKG	EKG (alle)	9,15	9,12	-0,03	-0,37%
12	TA HKL	HKL ohne Akutpatienten	19,71	32,67	12,96	65,76%
13	WZ HKL	HKL ohne Akutpatienten	24,04	38,38	14,35	59,68%
14	WZ HKL-AKUT	HKL Akutpatienten	17,63	17,87	0,24	1,35%
15	WZ Aufnahme	kard. Stationen 1+2 (alle)	0,00	0,00	0,00	-57,18%
16	WZ Anamnese Arzt	kard. Stationen 1+2 (alle)	25,83	25,75	-0,08	-0,31%
17	WZ Anamnese Pflege	kard. Stationen 1+2 (alle)	3,85	3,71	-0,14	-3,60%
18	WZ ECHO	kard. Stationen 1+2 (alle)	12,79	12,74	-0,05	-0,38%
19	WZ EKG	kard. Stationen 1+2 (alle)	8,63	8,60	-0,03	-0,36%
20	WZ HKL	kard. Stationen 1+2 (alle)	23,26	36,41	13,15	56,55%
21	WZ HKL-Akut	kard. Stationen 1+2 (alle)	17,60	18,61	1,01	5,71%
22	WZ Arztbrief	kard. Stationen 1+2 (alle)	111,60	110,94	-0,66	-0,59%
23	Durchlaufzeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	6772,95	6470,73	-302,23	-4,46%
24	Durchlaufzeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	6790,29	6368,28	-422,01	-6,21%
25	Restliegezeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	5055,21	4918,02	-137,19	-2,71%
26	Restliegezeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	5181,28	5054,52	-126,76	-2,45%
27	VU-Dauer	kard. Station 1 (STA_1,6)	1662,05	1479,63	-182,42	-10,98%
28	VU-Dauer	kard. Station 2 (STA_2,7)	1892,38	1611,88	-280,50	-14,82%
29	Dauer bis Termin ECHO1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	78,32	75,26	-3,06	-3,91%
30	Dauer bis Termin ECHO2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	269,45	266,28	-3,17	-1,17%
31	Dauer bis Termin ECHO3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	38,36	38,80	0,44	1,14%
32	Dauer bis Termin EKG (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	371,57	371,33	-0,23	-0,06%
33	Dauer bis Termin HKL1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	2126,37	1648,45	-477,93	-22,48%
34	Dauer bis Termin HKL2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	2179,01	1672,71	-506,30	-23,24%
35	Dauer bis Termin HKL3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1741,33	1643,64	-97,69	-5,61%
36	Dauer bis Termin HKL4 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	6960,92	7022,61	61,69	0,89%
37	STA_1_WZ_Bett	kard. Station 1 (STA_1)	391,28	188,83	-202,45	-51,74%
38	STA_2_WZ_Bett	kard. Station 2 (STA_2)	452,00	231,69	-220,31	-48,74%
39	STA_3_WZ_Bett (von Notaufnahme)	kard. Stationen 1+2 (STA_3)	458,08	224,24	-233,84	-51,05%
40	STA_4_WZ_Bett (von Intensivstation)	kard. Stationen 1+2 (STA_4)	531,75	256,86	-274,89	-51,69%
41	STA_5_WZ_Bett (von sonst. Stationen)	kard. Stationen 1+2 (STA_5)	501,47	241,24	-260,23	-51,89%
42	STA_6_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 1 (STA_6)	150,52	101,65	-48,87	-32,47%
43	STA_7_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 2 (STA_7)	128,20	79,63	-48,57	-37,89%

Tab. 99: Ergebniswerte des Szenarios 2 im Vergleich mit dem Szenario 1

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

An den aufgeführten Kennzahlen ist zu ersehen, dass die Veränderungen bei den Patienten der kard. Ambulanz sehr geringfügig ausfallen und damit zu vernachlässigen sind (siehe Tab. 99, Nr. 1-7). Auch in der Betrachtung der Terminabweichungen und Wartezeiten aus der Sicht aller Patienten zeigen sich bezogen auf die Funktionsbereiche ECHO und EKG kaum nennenswerte Veränderungen (siehe Tab. 99, Nr. 8-11). Ferner sind bei den Patienten der kard. Stationen 1+2, bezogen auf die Wartezeiten resp. Terminabweichungen bei der Aufnahme, der Anamnesen, bei Maßnahmen in den Funktionsbereichen EKG und ECHO sowie bei der Wartezeit auf den Arztbrief, nur geringfügige Veränderungen zu verzeichnen (siehe Tab. 99, Nr. 15 – 19, 22). Die mit ca. -57 % aufgeführte mittlere Wartezeit bei der Aufnahme auf den kard. Stationen erscheint prozentual recht hoch (siehe Tab. 99, Nr. 15), ist aber nominal sehr gering und ist auf der Basis zu vernachlässigen.

Sehr deutliche Veränderungen zeigen sich bei den Terminabweichungen und Wartezeiten in Bezug auf die Gesamtheit der durchgeführten HKL-Maßnahmen. Bei den nicht-akuten Patienten im HKL springt die Terminabweichung wie auch die Wartezeit mit +65,76 % und +59,68 % förmlich in die Höhe (siehe Tab. 99, Nr. 12+13). Die Wartezeit der akuten Maßnahmen im HKL verändert sich dahingehend nur leicht um +1,35 % (siehe Tab. 99, Nr. 14). Letzteres war zu erwarten, da die Reservierungsplanung keine Änderung bei der Priorisierung oder Reihenfolge in der Abarbeitung der Patienten vornimmt. In der nach den HKLs differenzierten Einzelbetrachtung der Terminabweichungen zeigt sich folgendes Bild im Vergleich zum Szenario 1 (siehe Tab. 100).

Ressource	Kennzahl	Szenario 1 Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 2 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
				nominal (Minuten)	prozentual
HKL1	Terminabweichung	11,88	51,90	+40,02	+337,01%
HKL2	Terminabweichung	6,85	22,60	+15,75	+229,89%
HKL3	Terminabweichung	19,71	12,76	-6,95	-35,26%
HKL4	Terminabweichung	24,04	6,88	-17,15	-71,36%

Tab. 100: Gegenüberstellung der Terminabweichungen im Szenario 1+2 bei den Herzkatheterlaboren

Während sich die Terminabweichung in den Laboren 3+4 deutlich verbesserte, kam es zu einer erheblichen Steigerung in den HKL1+2. Ebenso ist diese Verteilung für die Wartezeit anzunehmen, da sich diese aus der Verschiebung der Termine ergibt. Entsprechend konnte hiermit gezeigt werden, dass die eingestellten Puffer im HKL1 einen im Vergleich sehr großen Effekt bezogen auf die Terminabweichung und die resultierende Wartezeit der Patienten haben. Interessant sind die Wechselwirkungen zwischen den Laboren. Es zeigten sich nicht nur Veränderungen für das HKL1, wo

die Puffer nun nicht mehr im Terminkalender eingestellt wurden, sondern auch zu den anderen Herzkatheterlaboren, insbesondere dem HKL2. Trotz des hohen Anstieges verbleiben im Vergleich zum Ist-Modell noch Verbesserungen von 16,58 % resp. 32,72 %, um welche sich die Terminabweichung in den HKL1+2 reduziert (siehe Tab. 101). Die verbleibenden Verbesserungen sind somit nicht auf die Puffer im HKL1 zurückzuführen.

Ressource	Kennzahl	Ist-Modell Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 2 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
				nominal (Minuten)	prozentual
HKL1	Terminabweichung	62,21502	51,90	-10,32	-16,58%
HKL2	Terminabweichung	33,59169	22,60	-10,99	-32,72%
HKL3	Terminabweichung	31,80918	12,76	-19,05	-59,89%
HKL4	Terminabweichung	8,98217	6,88	-2,10	-23,35%

Tab. 101: Gegenüberstellung der Terminabweichungen im Ist-Modell und Szenario 2 bei den Herzkatheterlaboren

In der weiteren Betrachtung der Veränderungen zwischen dem Szenario 1 und 2 zeigen sich sehr deutliche Verbesserungen bei der Voruntersuchungsdauer, sowohl bei den Patienten auf den kard. Station 1 mit -10,98 % als auch für die kard. Station 2 mit -14,82 % (siehe Tab. 99, Nr. 27, 28). Damit einher geht eine bessere Terminverfügbarkeit innerhalb der VU-Dauer für die Ressourcen HKL1+2. Die Dauer von der Terminanfrage bis zum Termin verkürzt sich für diese jeweils um ca. 23 % (siehe Tab. 99, Nr. 33, 34). Die Terminverfügbarkeit im HKL3 reduziert sich auf der Basis weniger stark um 5,61 % (siehe Tab. 99, Nr. 35). Zu der aufgezeigten Entlastung kann eine Umverteilung der Patienten auf der Basis der nun zur Belegung frei gewordenen Terminslots im HKL1 von den Laboren 2+3 hin zu dem Labor 1 geführt haben. Dass der Effekt im HKL2 größer ist als im HKL3 kann daran liegen, dass das HKL3 eine Spezialressource der Elektrophysiologie mit langlaufenden Maßnahmen ist und die Möglichkeit, als Ausweichressource für das HKL1 zu fungieren, damit im HKL3 weniger stark gegeben ist als im HKL2. Die Auslastungskennzahlen der HKLs bestätigen die Umverteilung. Im Szenario 2 erhöht sich die Auslastung im HKL1 um 5,28 % im Vergleich zum Szenario 1. Das HKL2 wird in der Folge um 2,11 % und das HKL3 um 2,33 % entlastet (bezogen auf die Anzahl der durchgeführten Maßnahmen). Für die EKG- und ECHO-Ressourcen zeigt sich eine Verbesserung bei der Terminverfügbarkeit in den Ressourcen ECHO1+2 um ca. -4 % resp. ca. -1 % (siehe Tab. 99, Nr. 29, 30). Bei der Ressource ECHO3 steigt sie um ca. 1 % an und im EKG bleibt die Dauer bis zum Termin nahezu unverändert (siehe Tab. 99, Nr. 31, 32). Da die Veränderungen nicht signifikant sind, könnten diese auf eine schlichte Umverteilung der Patienten im Tagesverlauf zurückgeführt werden, welche sich durch die veränderte Lage der Termine im HKL und den kürzeren VU-Dauern ergeben hat. Weitere deutliche Veränderungen zeigen sich in der Wartezeit auf ein

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Stationsbett. Für alle Quellen (STA_1 bis STA_7) können Reduzierungen von ca. 32 % bis 52 % ausgemacht werden (siehe Tab. 99, Nr. 37, 43). Erklärt werden könnte dies über die kürzere VU-Dauer (siehe Tab. 99, Nr. 27, 28), was zu einer Reduktion der Gesamtliegezeit geführt hat (siehe Tab. 99, Nr. 23, 24) und in der Konsequenz damit die Betten eher frei und schneller verfügbar waren für Folgebelegungen.

Abschließend lässt sich zum Szenario 2 festhalten, dass sich mit der Deaktivierung der Puffer im Terminkalender des HKL1 teils sehr deutliche Veränderungen in den Simulationsergebnissen ergeben haben. Die Terminabweichungen und Wartezeiten im Herzkatheterlabor 1+2 sind stark angestiegen, wohin gehend diese mit ca. 10 Minuten im Mittel je Patient im Vergleich zum Ist-Modell immer noch geringer ausfallen (siehe Tab. 101). Zugleich hat sich aber die Terminverfügbarkeit in den HKL1+2 sehr deutlich verbessert, wodurch sich die VU-Dauer und in der weiteren Folge die Wartezeiten der Patienten auf ein Bett der kard. Stationen deutlich reduziert haben. Im Sinne einer Mehrzieloptimierung zeigt sich hier der Umstand, dass eine Verschlechterung auf der einen Seite zu einer Verbesserung auf der anderen Seite geführt hat. Was gewichtiger ist, kann hier nicht abschließend beurteilt werden. Für die weitere Arbeit wird der Umstand der reduzierten VU-Dauer und der besseren Bettenverfügbarkeit bezogen auf die nach wie vor bestehende (wenn auch geringere) Verbesserung der Terminabweichungen in den Herzkatheterlaboren als zielführend für das Gesamtsystem erachtet.

13.3.2 Simulationsszenario 3: Optimierte Reservierungsplanung

Im Sinne einer weiteren Optimierung der Reservierungsplanung wurden verschiedene Simulationsläufe getätigt, bei denen die Reservierungstypen für die einzelnen Ressourcen selektiv deaktiviert und die aktiven Reservierungen der Ressourcen miteinander kombiniert wurden, um die Einzeleffekte sowie das Zusammenspiel dieser zu verstehen. Im Ergebnis dessen zeigte sich eine optimale Konfiguration, welche hier als Szenario 3 aufgeführt wird. Auch für das Szenario 3 wurde die Konfiguration des Szenarios 1 als Ausgangsbasis zugrunde gelegt. Lediglich die Reservierungsplanung ist angepasst worden (siehe Tab. 102 zu der Konfiguration).

Ressource	Reservierungstyp	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
ECHO1	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv	aktiv
ECHO1	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv	aktiv
ECHO2	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv	inaktiv
ECHO2	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv	aktiv
EKG	RESERVED_1 (Patienten der kard. Ambulanz)	aktiv	aktiv	aktiv
EKG	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv	inaktiv
HKL1	RESERVED_5 (Puffer)	aktiv	inaktiv	inaktiv
HKL2	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv	aktiv
HKL3	RESERVED_2 (stationäre Pateinten innerhalb der VU)	aktiv	aktiv	inaktiv

Tab. 102: Optimierte Reservierungsplanung im Szenario 3 – Abgrenzung zum Szenario 1+2

Die Aufstellung zeigt, dass es sich als zielführend erwiesen hat, neben den Puffern im HKL1 auch weitere Reservierungen zu deaktivieren. Dies betrifft die Reservierungen für:

- die ambulanten Patienten (RESERVED_1) im ECHO2,
- die stationären Patienten (RESERVED_2) im EKG und
- die stationären Patienten (RESERVED_2) im HKL3.

Das vorliegende Ergebnis ist unter den folgenden Gesichtspunkten zunächst nachvollziehbar. Im ECHO2 werden Reservierungen mit der Planungsgröße (Anzahl Slots) für Schluckechos eingestellt. Patienten der kard. Ambulanz haben mit nur ca. 6,6 % der ECHO-Maßnahmen eher selten ein solches Schluckecho. Entsprechend ist die Anzahl an Reservierungen für die Ambulanzpatienten im Vergleich zu den stationären Patienten geringer (siehe Unterabschnitt 13.2.4 (a)). Dennoch scheinen die im Tagesverlauf entstehen Leerstände durch die von den Patienten der kard. Ambulanz nicht genutzten Reservierungen im ECHO2 einen größeren negativen Einfluss zu haben, als evtl. resultierende positive Effekte. Dass es vorteilhafter ist, für Patienten der kard. Stationen keine Reservierungen im Terminkalender des EKG einzustellen, ließe sich damit erklären, dass der Funktionsbereich EKG einen nicht so großen Engpass darstellt, wie z.B. die Echokardiografie oder das Herzkatheterlabor. Entsprechend sind hier Termine für elektive Patienten besser verfügbar. Lediglich Patienten der kard. Ambulanz erfahren offensichtlich Einschränkungen in den nicht-elektiven Anforderungen am Tag der ambulanten Aufnahme. Dass im Terminkalender des HKL3 nun keine Reservierungen mehr für Patienten der kard. Stationen eingestellt werden, könnte damit erklärt werden, dass im HKL3 fast ausschließlich Patienten der kard. Stationen behandelt werden. Somit ist die Notwendigkeit des Einsatzes von Reservierungen für diese hier offensichtlich nicht gegeben.

Die Simulation mit 90 Durchläufen von je 51 Wochen brachte im Ergebnis des Szenarios 3 einen bereinigten Ertragswert von 32.583 im Mittel je simulierter Woche. Damit liegt das Ergebnis mit 13,77 % über dem Vergleichswert des Szenarios 1 und mit 10,16 % auch deutlich über dem im Ist-Modell erreichten Ertragswert. Der statistische Test (Ertragswerte Ist-Modell zu bereinigten Ertragswerten Szenario 3) zeigte eine signifikante Verbesserung auf dem Signifikanzniveau von 0,05. Das 95 % Konfidenzintervall der Differenz beider Stichproben ergab für die untere Schranke (5403,80) und für die obere Schranke (606,95). Indem der Nullwert von diesen nicht überschritten wird, zeigt sich, dass die Stichproben keiner gleichen Grundgesamtheit entstammen. Damit hat sich im Szenario 3 nun eine statistisch signifikante Verbesserung gegenüber dem Ist-Modell eingestellt. Die Ergebnisse des Szenarios 3 sind denen des Szenarios 2 im Folgenden gegenübergestellt (siehe Tab. 103).

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Nr.	Bezeichnung	betrachtetes Patientengut	Szenario 2 Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 3 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
					nominal (Minuten)	prozentual
01	WZ Aufnahme	kard. Ambulanz (gesamt)	1,12	1,12	0,00	0,00%
02	WZ Erstkontakt	kard. Ambulanz (alle)	22,92	23,03	0,11	0,48%
03	WZ Arzt	kard. Ambulanz (alle)	17,07	17,03	-0,04	-0,23%
04	WZ Echo	kard. Ambulanz (alle)	12,07	12,25	0,18	1,49%
05	WZ EKG	kard. Ambulanz (alle)	10,90	9,41	-1,49	-13,67%
06	WZ Entlassung	kard. Ambulanz (alle)	20,08	20,36	0,28	1,40%
07	DLZ gesamt	kard. Ambulanz (alle)	152,11	150,87	-1,24	-0,82%
08	TA ECHO	ECHO (alle)	8,75	9,17	0,42	4,75%
09	WZ ECHO	ECHO (alle)	9,96	10,03	0,06	0,64%
10	TA EKG	EKG (alle)	9,23	8,50	-0,73	-7,89%
11	WZ EKG	EKG (alle)	9,12	8,37	-0,74	-8,16%
12	TA HKL	HKL ohne Akutpatienten	32,67	33,84	1,17	3,59%
13	WZ HKL	HKL ohne Akutpatienten	38,38	39,69	1,31	3,41%
14	WZ HKL-AKUT	HKL Akutpatienten	17,87	17,77	-0,10	-0,58%
15	WZ Aufnahme	kard. Stationen 1+2 (alle)	0,00	0,00	0,00	-19,65%
16	WZ Anamnese Arzt	kard. Stationen 1+2 (alle)	25,75	25,95	0,20	0,76%
17	WZ Anamnese Pflege	kard. Stationen 1+2 (alle)	3,71	4,03	0,32	8,59%
18	WZ ECHO	kard. Stationen 1+2 (alle)	12,74	12,92	0,18	1,43%
19	WZ EKG	kard. Stationen 1+2 (alle)	8,60	8,69	0,09	1,10%
20	WZ HKL	kard. Stationen 1+2 (alle)	36,41	37,78	1,37	3,77%
21	WZ HKL-Akut	kard. Stationen 1+2 (alle)	18,61	18,13	-0,48	-2,59%
22	WZ Arztbrief	kard. Stationen 1+2 (alle)	110,94	111,24	0,30	0,27%
23	Durchlaufzeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	6470,73	6417,65	-53,08	-0,82%
24	Durchlaufzeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	6368,28	6286,64	-81,65	-1,28%
25	Restliegezeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	5054,52	5032,15	-22,36	-0,44%
26	Restliegezeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	4828,51	4800,11	-28,40	-0,59%
27	VU-Dauer	kard. Station 1 (STA_1,6)	1479,63	1455,94	-23,69	-1,60%
28	VU-Dauer	kard. Station 2 (STA_2,7)	1611,88	1561,53	-50,35	-3,12%
29	Dauer bis Termin ECHO1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	75,26	81,34	6,08	8,08%
30	Dauer bis Termin ECHO2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	266,28	232,46	-33,82	-12,70%
31	Dauer bis Termin ECHO3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	38,80	37,39	-1,40	-3,62%
32	Dauer bis Termin EKG (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	371,33	220,24	-151,09	-40,69%
33	Dauer bis Termin HKL1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1648,45	1643,04	-5,41	-0,33%
34	Dauer bis Termin HKL2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1672,71	1642,90	-29,81	-1,78%
35	Dauer bis Termin HKL3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1643,64	1606,35	-37,29	-2,27%
36	Dauer bis Termin HKL4 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	7022,61	7069,88	47,27	0,67%
37	STA_1_WZ_Bett	kard. Station 1 (STA_1)	188,83	162,12	-26,71	-14,15%
38	STA_2_WZ_Bett	kard. Station 2 (STA_2)	231,69	203,57	-28,11	-12,13%
39	STA_3_WZ_Bett (von Notaufnahme)	kard. Stationen 1+2 (STA_3)	224,24	193,62	-30,62	-13,66%
40	STA_4_WZ_Bett (von Intensivstation)	kard. Stationen 1+2 (STA_4)	256,86	221,22	-35,65	-13,88%
41	STA_5_WZ_Bett (von sonst. Stationen)	kard. Stationen 1+2 (STA_5)	241,24	207,38	-33,86	-14,04%
42	STA_6_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 1 (STA_6)	101,65	91,24	-10,40	-10,23%
43	STA_7_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 2 (STA_7)	79,63	67,59	-12,04	-15,12%

Tab. 103: Ergebniswerte des Szenarios 3 im Vergleich mit dem Szenario 2

Wie sich zeigt, hat der Wegfall der Reservierungen für Patienten der kard. Ambulanz (RESERVED_1) im Terminkalender der Ressource ECHO2 zu einer leichten Erhöhung der mittleren Wartezeit von 1,49 % für die betreffenden ambulanten Patienten gegenüber dem Szenario 2 geführt (siehe Tab. 103, Nr. 4). Bei den stationären Patienten zeigt sich ebenso nur ein kleiner Effekt von +1,43 %, bezogen auf die mittlere Wartezeit je Patienten im Vergleich zum Szenario 2 (siehe Tab. 103, Nr. 18). Aus Sicht aller Patienten steigt die Terminabweichung im Funktionsbereich ECHO um 4,75 % oder nominal 0,42 Minuten auf 9,17 Minuten im Mittel je Patient an (siehe Tab. 103, Nr. 8). Die Wartezeit liegt mit +0,64 % nahezu unverändert bei im Mittel ca. 10 Minuten je Patient (siehe Tab. 103, Nr. 9). Somit sind hierauf bezogen keine erheblichen Verschlechterungen zu verzeichnen. Eine wesentliche Verbesserung zeigt sich hingegen in der Terminverfügbarkeit bei den stationären Patienten innerhalb der Voruntersuchungszeit. Die Dauer von der Terminanfrage bis zum Termin sank für die Ressource ECHO2 im Mittel je Patient um 12,70 %, was ca. 34 Minuten entspricht (siehe Tab. 103, Nr. 30). Dem entgegen erhöhte sich diese im ECHO1 um 8,08 % bzw. ca. 6 Minuten (siehe Tab. 103, Nr. 29). Wie daran ersichtlich ist, unterliegen auch die Ressourcen im Funktionsbereich der Echokardiografie einem wechselseitigen Einfluss. Zudem wirken die Reservierungen nicht nur auf die Wartezeit. Durch die geschaffenen Leerstände bei nicht genutzten Reservierungen verringern diese hier die Terminabweichungen, vergleichbar wie es für die Puffer im Terminkalender des HKL1 festgestellt wurde.

Der Wegfall der Reservierungen für stationäre Patienten (RESERVED_2) führte im Funktionsbereich EKG zu einer Erhöhung der Wartezeit bei den Patienten der kard. Stationen um 1,10 % und hatte somit nur einen geringen Effekt (siehe Tab. 103, Nr. 19). Für die Patienten der kard. Ambulanz hatte dies, mit einer Reduktion der mittleren Wartezeit im EKG von 13,67 %, hingegen eine sehr deutlich positive Wirkung (siehe Tab. 103, Nr. 5). Die Terminabweichungen sowie die Wartezeiten aller Patienten im Funktionsbereich EKG verringerten sich um 7,89 % bzw. 8,16 % (siehe Tab. 103, Nr. 10, 11). Weiterhin verbesserte sich die Terminverfügbarkeit im EKG für Patienten der kard. Stationen innerhalb der Voruntersuchungszeit um 40,69 % bzw. ca. 2,5 Stunden sehr deutlich (siehe Tab. 103, Nr. 32).

Interessant ist, dass die Patienten der kard. Ambulanz mit deutlich geringeren Wartezeiten von dem Wegfall der stationären Reservierungen profitieren. Die Patienten der kard. Stationen haben hierauf bezogen zwar eine geringe Erhöhung zu verzeichnen, profitieren aber in der sehr viel besseren Terminverfügbarkeit ebenfalls stark. Dies kann auf den Effekt zurückgeführt werden, dass die bisher durch Reservierungen blockierten, aber nicht genutzten Reservierungen nun wieder als

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

freie Slots elektiv vergeben werden können und der Funktionsbereich EKG eben nicht den größten Engpass im Ablauf für elektive Anforderungen darstellt.

Mit dem Wegfall der Reservierungen für Patienten der kard. Stationen (RESERVED_2) im Terminkalender des HKL3 zeigt sich im Vergleich zum Szenario 2 in der Gesamtbetrachtung aller HKL-Patienten eine Steigerung der mittleren Wartezeit um 3,41 % sowie eine Erhöhung der Terminabweichung von im Mittel 3,59 % je Patient (siehe Tab. 103, Nr. 12, 13). Dies entspricht nominal ca. einer Minute. Bei der alleinigen Betrachtung der Patienten von den kard. Stationen ist der Anstieg in der Wartezeit mit im Mittel 3,77 % sogar noch ein klein wenig höher als in der Gesamtbetrachtung aller HKL-Patienten (siehe Tab. 103, Nr. 20). Auch hieran zeigt sich wieder, dass die Veränderung nicht zu Lasten der Patienten von sonstigen Bereichen oder von ITS gegangen ist, sondern sich nahezu gleich verteilt. Bezogen auf die Terminverfügbarkeit konnte mit dem Szenario 3 für die Ressourcen HKL1-3 eine weitere, wenn auch kleine, Verringerung in der Dauer bis zum Termin erreicht werden (siehe Tab. 103, Nr. 33 - 35). Auch die VU-Dauer reduzierte sich auf der Basis leicht um 1,60 % im Mittel je elektivem Patienten für die kard. Station 1 und 3,12 % für die kard. Station 2 (siehe Tab. 103, Nr. 27 - 28). Alles in allem sind die Veränderungen durch den Verzicht auf die Reservierungen im Terminkalender des HKL3 leicht positiv und bis auf die Veränderungen in der VU-Dauer nominal überwiegend gering. Sofern das Einstellen der Reservierung wie in diesem Fall einen leicht negativen resp. keinen deutlich positiven Einfluss auf die Kennzahlen hat, bedarf es dieser auch nicht.

Durch die Veränderungen in der Reservierungsplanung zeigt sich im Vergleich zum Szenario 2 in den Simulationsergebnissen des Szenarios 3 eine nochmals deutliche Verbesserung in der Bettenverfügbarkeit auf den kard. Stationen. Im Mittel reduzierte sich diese je Patient um 10,23 % bis 14,15 % (siehe Tab. 103, Nr. 37, 43).

All dies zusammengenommen lässt den Schluss zu, dass die weiter optimierte Reservierungsplanung im Szenario 3 zu einer deutlichen Verbesserung der Simulationsergebnisse geführt hat resp. die aufgezeigten Verbesserungen die wenigen Verschlechterungen im Vergleich zum Szenario 2 überdecken. Die zentrale Frage ist nun, wie äußern sich die im Szenario 3 erreichten Simulationsergebnisse im direkten Vergleich zum Ist-Modell. Wie bereits ausgeführt wurde, hat sich der mittlere Ertragswert je Woche im Szenario 3 mit +10,16 % signifikant gegenüber dem Ist-Modell verbessert. In den Szenarien 1 und 2 war dies noch nicht der Fall. Die Ergebnisse des Simulationsszenarios 3 sind denen des Ist-Modells im Folgenden gegenübergestellt (siehe Tab. 104).

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Nr.	Bezeichnung	betrachtetes Patientengut	Ist-Modell Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 3 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
					nominal (Minuten)	prozentual
01	WZ Aufnahme	kard. Ambulanz (gesamt)	1,65	1,12	-0,53	-31,98%
02	WZ Erstkontakt	kard. Ambulanz (alle)	23,14	23,03	-0,11	-0,46%
03	WZ Arzt	kard. Ambulanz (alle)	19,63	17,03	-2,60	-13,22%
04	WZ Echo	kard. Ambulanz (alle)	17,54	12,25	-5,29	-30,18%
05	WZ EKG	kard. Ambulanz (alle)	9,63	9,41	-0,22	-2,28%
06	WZ Entlassung	kard. Ambulanz (alle)	27,23	20,36	-6,87	-25,22%
07	DLZ gesamt	kard. Ambulanz (alle)	159,59	150,87	-8,71	-5,46%
08	TA ECHO	ECHO (alle)	16,06	9,17	-6,89	-42,92%
09	WZ ECHO	ECHO (alle)	16,52	10,03	-6,49	-39,30%
10	TA EKG	EKG (alle)	9,72	8,50	-1,22	-12,57%
11	WZ EKG	EKG (alle)	9,63	8,37	-1,26	-13,08%
12	TA HKL	HKL ohne Akutpatienten	43,25	33,84	-9,41	-21,77%
13	WZ HKL	HKL ohne Akutpatienten	48,40	39,69	-8,70	-17,98%
14	WZ HKL-AKUT	HKL Akutpatienten	17,71	17,77	0,06	0,35%
15	WZ Aufnahme	kard. Stationen 1+2 (alle)	0,02	0,00	-0,01	-90,95%
16	WZ Anamnese Arzt	kard. Stationen 1+2 (alle)	18,02	25,95	7,93	44,03%
17	WZ Anamnese Pflege	kard. Stationen 1+2 (alle)	4,45	4,03	-0,42	-9,42%
18	WZ ECHO	kard. Stationen 1+2 (alle)	12,70	12,92	0,22	1,73%
19	WZ EKG	kard. Stationen 1+2 (alle)	7,49	8,69	1,20	16,01%
20	WZ HKL	kard. Stationen 1+2 (alle)	47,21	37,78	-9,43	-19,98%
21	WZ HKL-Akut	kard. Stationen 1+2 (alle)	20,17	18,13	-2,04	-10,13%
22	WZ Arztbrief	kard. Stationen 1+2 (alle)	103,62	111,24	7,62	7,36%
23	Durchlaufzeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	6668,51	6417,65	-250,86	-3,76%
24	Durchlaufzeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	6222,93	6286,64	63,71	1,02%
25	Restliegezeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	5236,73	5032,15	-204,58	-3,91%
26	Restliegezeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	4840,33	4800,11	-40,22	-0,83%
27	VU-Dauer	kard. Station 1 (STA_1,6)	1425,35	1455,94	30,59	2,15%
28	VU-Dauer	kard. Station 2 (STA_2,7)	1387,76	1561,53	173,78	12,52%
29	Dauer bis Termin ECHO1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	254,00	81,34	-172,66	-67,98%
30	Dauer bis Termin ECHO2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	285,00	232,46	-52,54	-18,43%
31	Dauer bis Termin ECHO3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	823,00	37,39	-785,61	-95,46%
32	Dauer bis Termin EKG (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	378,00	220,24	-157,76	-41,74%
33	Dauer bis Termin HKL1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1312,00	1643,04	331,04	25,23%
34	Dauer bis Termin HKL2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1361,00	1642,90	281,90	20,71%
35	Dauer bis Termin HKL3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1185,00	1606,35	421,35	35,56%
36	Dauer bis Termin HKL4 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	6608,00	7069,88	461,88	6,99%
37	STA_1_WZ_Bett	kard. Station 1 (STA_1)	329,78	162,12	-167,66	-50,84%
38	STA_2_WZ_Bett	kard. Station 2 (STA_2)	294,88	203,57	-91,30	-30,96%
39	STA_3_WZ_Bett (von Notaufnahme)	kard. Stationen 1+2 (STA_3)	291,64	193,62	-98,02	-33,61%
40	STA_4_WZ_Bett (von Intensivstation)	kard. Stationen 1+2 (STA_4)	337,20	221,22	-115,98	-34,40%
41	STA_5_WZ_Bett (von sonst. Stationen)	kard. Stationen 1+2 (STA_5)	351,39	207,38	-144,01	-40,98%
42	STA_6_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 1 (STA_6)	147,74	91,24	-56,50	-38,24%
43	STA_7_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 2 (STA_7)	101,09	67,59	-33,50	-33,14%

Tab. 104: Ergebniswerte des Szenarios 3 im Vergleich mit dem Ist-Modell

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

In der Detailbetrachtung zeigt sich im Vergleich zum Ist-Modell inzwischen fast durchweg eine Verbesserung in den aufgeführten Simulationswerten. Als nach wie vor negativ treten hervor:

- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen bezüglich der ärztlichen Anamnese mit im Mittel je Patient von +44,03 % (Tab. 104, Nr. 16),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen auf den Arztbrief mit im Mittel je Patient von +7,36 % (Tab. 104, Nr. 22),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen im ECHO mit im Mittel je Patient von +1,73 % (Tab. 104, Nr. 18),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen im EKG mit im Mittel je Patient von +16,01 % (Tab. 104, Nr. 19),
- die Voruntersuchungsdauer der Patienten auf der kard. Station 1 mit im Mittel je Patient von +2,15 % (Tab. 104, Nr. 27),
- die Voruntersuchungsdauer der Patienten auf der kard. Station 2 mit im Mittel je Patient von +12,52 % (Tab. 104, Nr. 28),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL1 mit im Mittel je Patient von +25,23 % (Tab. 104, Nr. 33),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL2 mit im Mittel je Patient von +20,71 % (Tab. 104, Nr. 34),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL3 mit im Mittel je Patient von +35,56 % (Tab. 104, Nr. 35) sowie
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL4 mit im Mittel je Patient von +6,99 % (Tab. 104, Nr. 36).

Bei der aufgeführten Wartezeit der Patienten von den kard. Stationen 1+2 auf ein EKG handelt es sich nominal um eine Steigerung von 1,2 Minuten im Mittel je Patient. Bezogen auf die Wartezeit im ECHO ist es für die Patienten sogar nur eine Steigerung von 0,22 Minuten im Mittel. Gleichwohl dies sehr gering ist, werden im Folgenden alle aufgeführten Kennzahlen zu möglichen Ursachen und zur Möglichkeit der weiteren Verbesserung dieser betrachtet.

13.3.3 Simulationsszenario 4: Ohne elektive Patientenzugänge am Freitag auf den kard. Stationen

Es wurde in der bisherigen Analyse der vorliegenden Planung aus dem Szenario 1 festgestellt, dass am Freitag eine im Vergleich zur Ist-Situation verhältnismäßig hohe Anzahl an elektiven Patientenzugängen auf den kard. Stationen geplant ist (siehe Unterabschnitt 13.2.2). In diesem Zusammenhang wurde in Unterabschnitt 13.2.5 (b) in der dortigen Tab. 95 aufgeführt, dass die VU-Dauer für die elektiven Zugänge am Freitag, durch die Liegezeit am Wochenende, sehr deutlich erhöht ist. Auf der Basis wird vermutet, dass die höhere Anzahl der Zugänge am Freitag die VU-Dauer negativ beeinflusst, welche sich durch das hinzukommende Wochenende verlängert. Dies gilt es nun zu überprüfen.

In dem Szenario 4 wird das Szenario 3 zugrunde gelegt und die Zugangsplanung der Art verändert, dass am Freitag keine Patienten im elektiven Zugang auf die kard. Stationen vorgesehen sind (siehe Tab. 105). Die zuvor auf den Freitag geplanten Patienten werden auf Montag bis Mittwoch verteilt.

Wochentag	Szenario 1-3	Szenario 4	Szenario 1-3	Szenario 4
	kard. Station 1 (Quelle STA_1)	kard. Station 1 (Quelle STA_1)	kard. Station 2 (Quelle STA_2)	kard. Station 2 (Quelle STA_2)
Montag	1	3	4	7
Dienstag	5	6	6	8
Mittwoch	3	4	7	8
Donnerstag	4	4	7	7
Freitag	4	0	6	0
Summe	17	17	30	30

Tab. 105: Veränderte Zugangsplanung für die kard. Stationen im Szenario 4 im Vergleich zur bisherigen Zugangsplanung in den Szenarien 1-3

Es werden auf der Basis wieder 90 Durchläufe mit jeweils 51 Wochen simuliert. Die Simulationsergebnisse sind im Folgenden aufgeführt und denen aus dem Szenario 3 gegenübergestellt (siehe Tab. 106).

Es zeigt sich ein durchwachsendes Bild. Während 27 der aufgeführten Kennzahlen besser oder gleich gut geblieben sind, haben sich 16 Werte verschlechtert. Damit, dass sich Kennzahlen verschlechtern, war zu rechnen. Die Veränderung in der Zugangsplanung, durch das relativ freie Umverteilen der zuvor elektiven Zugänge am Freitag auf die restlichen Wochentage, stellt einen Eingriff dar, auf welchen der Rest der Planung nun nicht mehr abgestimmt ist. Dies zeigt sich auch an dem erreichten bereinigten Ertragswert. Dieser liegt im Mittel je simulierter Woche bei 31.467 und damit zwar mit 6,39 % immer noch über dem des Ist-Modells, aber um 3,4 % unter dem im Szenario 3. Gegenüber dem Ist-Modell ist die Verbesserung in den Ertragswerten auf dem Signifikanzniveau von 0,05 nicht (mehr) signifikant.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Nr.	Bezeichnung	betrachtetes Patientengut	Szenario 3 Dauer im Mittel in Minuten	Szenario 4 Dauer im Mittel in Minuten	Abweichung der Simulationsergebnisse im direkten Vergleich	
					nominal (Minuten)	prozentual
01	WZ Aufnahme	kard. Ambulanz (gesamt)	1,12	1,12	0,00	0,00%
02	WZ Erstkontakt	kard. Ambulanz (alle)	23,03	23,02	-0,01	-0,03%
03	WZ Arzt	kard. Ambulanz (alle)	17,03	17,21	0,18	1,04%
04	WZ Echo	kard. Ambulanz (alle)	12,25	11,89	-0,36	-2,91%
05	WZ EKG	kard. Ambulanz (alle)	9,41	9,30	-0,12	-1,24%
06	WZ Entlassung	kard. Ambulanz (alle)	20,36	20,45	0,10	0,47%
07	DLZ gesamt	kard. Ambulanz (alle)	150,87	150,28	-0,59	-0,39%
08	TA ECHO	ECHO (alle)	9,17	8,90	-0,27	-2,96%
09	WZ ECHO	ECHO (alle)	10,03	9,76	-0,27	-2,69%
10	TA EKG	EKG (alle)	8,50	8,20	-0,30	-3,49%
11	WZ EKG	EKG (alle)	8,37	8,10	-0,27	-3,26%
12	TA HKL	HKL ohne Akutpatienten	33,84	31,92	-1,92	-5,68%
13	WZ HKL	HKL ohne Akutpatienten	39,69	37,62	-2,08	-5,23%
14	WZ HKL-AKUT	HKL Akutpatienten	17,77	17,68	-0,09	-0,48%
15	WZ Aufnahme	kard. Stationen 1+2 (alle)	0,00	0,00	0,00	-59,71%
16	WZ Anamnese Arzt	kard. Stationen 1+2 (alle)	25,95	28,54	2,59	9,97%
17	WZ Anamnese Pflege	kard. Stationen 1+2 (alle)	4,03	5,33	1,30	32,20%
18	WZ ECHO	kard. Stationen 1+2 (alle)	12,92	12,26	-0,66	-5,08%
19	WZ EKG	kard. Stationen 1+2 (alle)	8,69	7,86	-0,83	-9,51%
20	WZ HKL	kard. Stationen 1+2 (alle)	37,78	36,28	-1,50	-3,96%
21	WZ HKL-Akut	kard. Stationen 1+2 (alle)	18,13	19,90	1,77	9,76%
22	WZ Arztbrief	kard. Stationen 1+2 (alle)	111,24	119,10	7,85	7,06%
23	Durchlaufzeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	6417,65	6159,89	-257,76	-4,02%
24	Durchlaufzeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	6286,64	6097,85	-188,78	-3,00%
25	Restliegezeit	kard. Station 1 (STA_1,6)	5032,15	5023,22	-8,93	-0,18%
26	Restliegezeit	kard. Station 2 (STA_2,7)	4800,11	4796,73	-3,38	-0,07%
27	VU-Dauer	kard. Station 1 (STA_1,6)	1455,94	1198,87	-257,07	-17,66%
28	VU-Dauer	kard. Station 2 (STA_2,7)	1561,53	1362,75	-198,78	-12,73%
29	Dauer bis Termin ECHO1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	81,34	63,00	-18,34	-22,55%
30	Dauer bis Termin ECHO2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	232,46	305,61	73,14	31,46%
31	Dauer bis Termin ECHO3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	37,39	93,21	55,81	149,26%
32	Dauer bis Termin EKG (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	220,24	288,31	68,07	30,91%
33	Dauer bis Termin HKL1 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1643,04	1269,43	-373,61	-22,74%
34	Dauer bis Termin HKL2 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1642,90	1323,87	-319,03	-19,42%
35	Dauer bis Termin HKL3 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	1606,35	1220,28	-386,07	-24,03%
36	Dauer bis Termin HKL4 (VU)	kard. Stationen 1+2 (STA_1,2,6,7)	7069,88	6795,48	-274,40	-3,88%
37	STA_1_WZ_Bett	kard. Station 1 (STA_1)	162,12	220,59	58,47	36,07%
38	STA_2_WZ_Bett	kard. Station 2 (STA_2)	203,57	291,73	88,16	43,30%
39	STA_3_WZ_Bett (von Notaufnahme)	kard. Stationen 1+2 (STA_3)	193,62	220,42	26,80	13,84%
40	STA_4_WZ_Bett (von Intensivstation)	kard. Stationen 1+2 (STA_4)	221,22	246,38	25,16	11,38%
41	STA_5_WZ_Bett (von sonst. Stationen)	kard. Stationen 1+2 (STA_5)	207,38	253,90	46,52	22,43%
42	STA_6_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 1 (STA_6)	91,24	105,32	14,08	15,43%
43	STA_7_WZ_Bett (prästationär)	kard. Station 2 (STA_7)	67,59	79,25	11,66	17,25%

Tab. 106: Ergebniswerte des Szenarios 4 im Vergleich mit dem Szenario 3

Bezogen auf die zuvor betrachteten Kennzahlen zeigt sich im Vergleich zum Szenario 3 nun folgendes Bild (siehe Tab. 106):

- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen bezüglich der ärztlichen Anamnese steigt im Mittel je Patient um 9,97 % (Tab. 106, Nr. 16),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen auf den Arztbrief steigt im Mittel je Patient um 7,06 % (Tab. 106, Nr. 22),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen im ECHO sinkt im Mittel je Patient um 5,08 % (Tab. 106, Nr. 18),
- die Wartezeit der Patienten auf den kard. Stationen im EKG sinkt im Mittel je Patient um 9,51 % (Tab. 106, Nr. 19),
- die Voruntersuchungsdauer der Patienten auf der kard. Station 1 sinkt im Mittel je Patient um 17,66 % (Tab. 106, Nr. 27),
- die Voruntersuchungsdauer der Patienten auf der kard. Station 2 sinkt im Mittel je Patient um 12,73 % (Tab. 106, Nr. 28),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL 1 verbessert sich im Mittel je Patient um 22,74 % (Tab. 106, Nr. 33),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL 2 verbessert sich im Mittel je Patient um 19,42 % (Tab. 106, Nr. 34),
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL 3 verbessert sich im Mittel je Patient um 24,03 % (Tab. 106, Nr. 35) sowie
- die Terminverfügbarkeit für Patienten auf den kard. Stationen im HKL 4 verbessert sich im Mittel je Patient um 3,88 % (Tab. 106, Nr. 36).

Bis auf die Wartezeit, die von den Ärzten auf den kard. Stationen abhängen, haben sich die betrachteten Kennzahlen, welche bisher nicht weiter verbessert werden konnten, durch die am Freitag nun weggefallenen elektiven Zugänge auf den kard. Stationen, verbessert. Hervorzuheben ist die deutliche Verringerung der VU-Dauer, was positiv zu werten ist. Im Detail und auf Wochentage bezogen stellt sich diese nun wie folgt dar (siehe Tab. 107).

Wochentag der Aufnahme	Szenario 3			Szenario 4		
	VU-Dauer in Minuten je Quelle			VU-Dauer in Minuten je Quelle		
	N	STA_1	STA_2	N	STA_1	STA_2
Montag	21600	1191,47	1228,56	43200	1187,65	1309,27
Dienstag	47520	1203,65	1183,34	60480	1259,82	1282,70
Mittwoch	43200	1191,48	1252,34	51840	1309,70	1397,12
Donnerstag	47520	1324,80	1466,13	47520	1458,43	1643,13
Freitag	43200	2909,89	2939,34	0	0	0
gesamt	203040	1626,90	1618,79	203040	1305,24	1403,04

Tab. 107: Übersicht Voruntersuchungsdauer je Quelle im Vergleich zum Szenario 1

Wie die aufgeführten Werte zeigen, erhöht sich zwar im Szenario 4 die VU-Dauer an den Wochentagen Montag bis Donnerstag im Mittel je Patient leicht. Dies ist bedingt

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

durch die zusätzlichen elektiven Aufnahmen an diesen Tagen. Im Mittel je Patient verringert sich die VU-Dauer aber, wie für die Quellen STA_1 und STA_2 aufgezeigt, deutlich im Vergleich zum Szenario 3.

Um das Bild zu vervollständigen, wird nun noch die Auswirkung auf die Auslastung in den Funktionsbereichen und die Belegung der Bettenkapazitäten näher betrachtet (siehe Abb. 143 - Abb. 145).

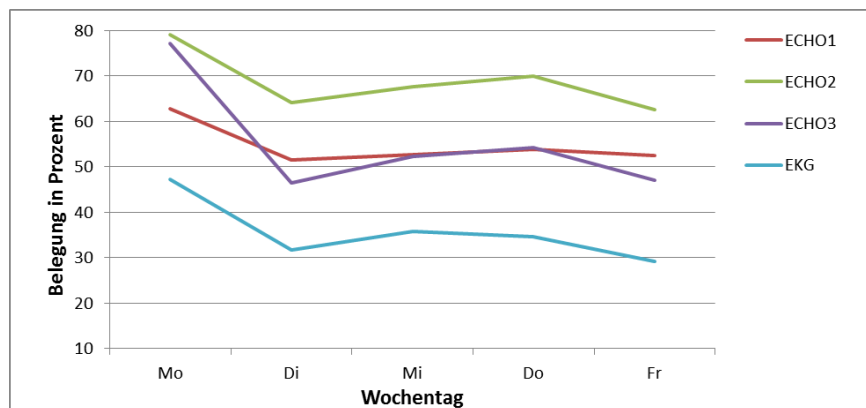


Abb. 143: Ressourcenauslastung in den Funktionsbereichen EKG und ECHO für das Szenario 4

Im Vergleich zum Szenario 1, mit der bisherigen Zugangsplanung und der daraus resultierenden Bettenauslastung im Wochenverlauf (siehe Abb. 139 in Unterabschnitt 13.2.5 (d)), zeigt sich in den Ergebnissen des Szenarios 4 eine weniger starke Angleichung der Auslastungen in den ECHO-Ressourcen. Die Ressource ECHO2 wird nun stärker, die ECHO3 weniger stark beansprucht als im Szenario 1. Dies kann aber auch durch die zwischenzeitlich vorgenommene Veränderung in den Reservierungen bedingt sein. Bezogen auf die nun nochmals höhere Auslastung zum Wochenbeginn, zeigt sich am Montag keine höhere Gesamtlast in den betrachteten Funktionsbereichen. Damit scheint die höhere Auslastung am Montag nicht in Abhängigkeit zur (höheren) Anzahl an elektiven Zugängen auf den kard. Stationen am Montag zu stehen.

Im Vergleich zum Szenario 1, mit der bisherigen Zugangsplanung und der daraus resultierenden Bettenauslastung im Wochenverlauf (siehe Abb. 142 in Unterabschnitt 13.2.5 (e)), zeigt sich nun mit der angepassten Zugangsplanung des Szenarios 4 eine deutliche Absenkung der Bettenauslastung zum Beginn und zum Ende der Woche (siehe Abb. 144).

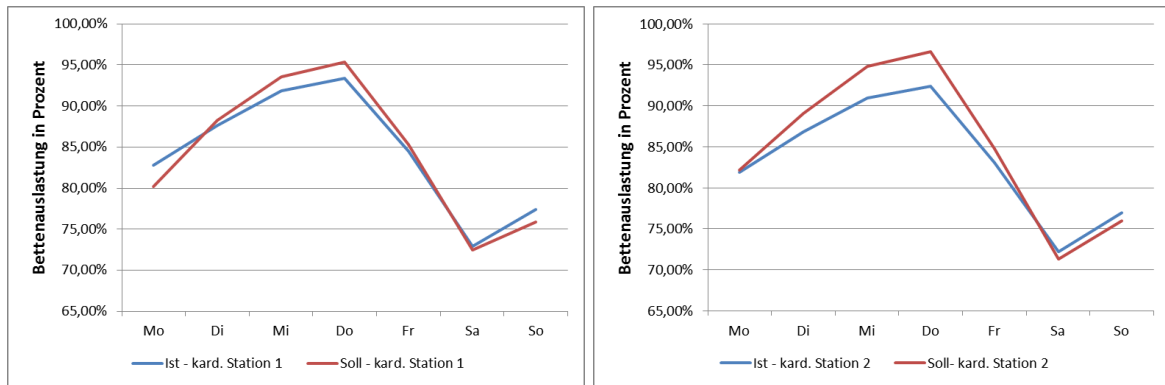


Abb. 144: Bettenauslastung der kard. Stationen 1+2 im Wochenverlauf in Prozent für das Szenario 4

Damit entspricht dies wieder nahezu den Gegebenheiten im Ist-Modell. Die Erhöhung der Bettenauslastung zum Anfang und zum Ende der Woche ist im Szenario 1 damit eindeutig auf die elektiven Zugänge am Freitag zurückzuführen.

Da die Zugangsplanung maßgeblich die nachgelagerten Ressourcenauslastungen beeinflusst, wird an dieser Stelle nun noch der Engpassbereich HKL betrachtet. Im Vergleich zur Zugangsplanung im Szenario 1, welche das Ziel einer gleichmäßigeren Auslastung der Ressourcen (auch für das HKL) verfolgte, wird mit der Zugangsplanung im Szenario 4 nun eine Annäherung der Maßnahmenverteilung unter der Woche an die Gegebenheiten im Realsystem erreicht (siehe Abb. 145).

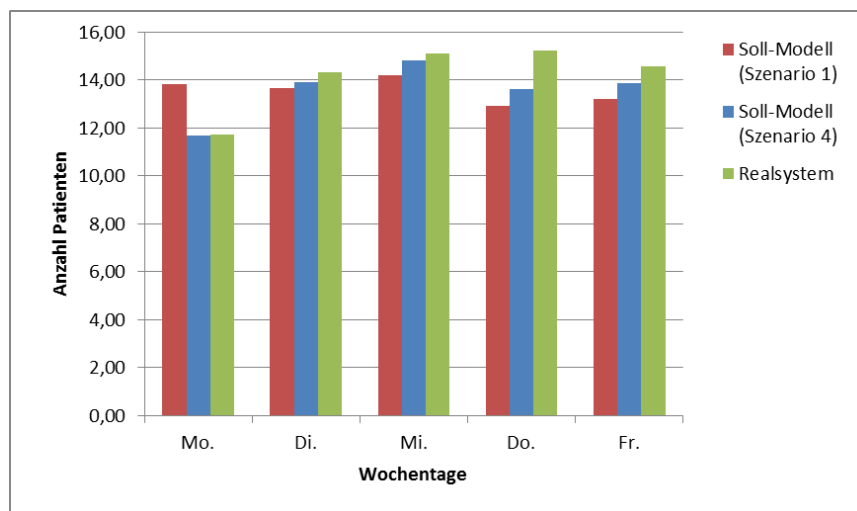


Abb. 145: Auslastung HKL-Maßnahmen im Wochenverlauf

Damit ist eindeutig, dass die Reduzierung der elektiven Zugänge am Freitag zu der Absenkung der Maßnahmen im HKL zum Wochenanfang geführt hat. Das heißt, ist eine gleichmäßigere Auslastung der HKL-Labore unter der Woche gewünscht, bedingt dies, mehr Patienten am Montag für HKL-Maßnahmen verfügbar zu haben. In der bisherigen Betrachtung wird dies durch die elektiven Zugänge am Freitag, was aber auch aus Sicht der Patienten nicht optimal ist, erreicht. Es wäre aber durchaus

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

vorstellbar, den Ansatz der prästationären Patienten auszuweiten und die elektiven Zugänge am Freitag so auszuwählen, dass diese über das Wochenende nach Hause entlassen werden können, um diese entweder am Sonntagnachmittag oder Montagvormittag wieder stationär aufzunehmen. Das Stationsbett könnte in dieser Zeit belegt resp. reserviert bleiben. Im Realsystem wird dies bereits für einige Patienten sporadisch praktiziert, z.B., wenn keine freien Betten am Aufnahmetag verfügbar waren. Im vorliegenden Optimierungsansatz war der Sachverhalt bisher nicht vorgesehen.

Wie aufgezeigt wurde, hat sich aus der Gesamtsicht heraus, durch den Wegfall der elektiven Aufnahmen am Freitag, eine im Mittel je Patient geringere VU-Dauer eingestellt. Die vorliegenden Ergebniswerte sind damit nun auch besser als die Vergleichswerte aus dem Ist-Modell, mit -15,89 % für Patienten der kard. Station 1 und -1,80 % für Patienten der kard. Station 2. Im Ergebnis des Szenarios 4 lässt sich festhalten, dass tatsächlich die stärkere Verringerung der Anzahl an Patienten am Wochenende einen positiven Effekt auf die VU-Dauer hat und es somit als Zielstellung anzusehen ist, die Anzahl der Patienten zum Wochenende hin stärker zu reduzieren, als dies bisher in der Optimierung erfolgte. Dies bedeutet zugleich, dass die VU-Dauer zwar durch die Reservierungsplanung verbessert werden kann, aber um wirklich Verbesserungen gegenüber dem Ist-Modell hervorzubringen, bedurfte es der weiteren Optimierung der Zugangsplanung. Alleinig mit der Reservierungsplanung war, auf die VU-Dauer bezogen, keine Verbesserung gegenüber dem Ist-Modell zu erreichen. Was die Auslastung der Ärzte auf den kard. Stationen anbelangt, war es bisher nicht möglich, die Wartezeiten bei der ärztlichen Anamnese oder auf den Arztbrief bei den Patienten der kard. Stationen nachhaltig zu verbessern. Damit stellen die Ärzte auf den kard. Stationen einen wesentlichen Engpass dar. In wie fern die Annahmen zur Abbildung derer ausschlaggebend sind (siehe Anhang A62 (c)), bleibt an dieser Stelle offen. Für die Richtigkeit spricht, dass die Beobachtungen im Realsystem die Simulationsergebnisse stützen.

13.4 Validierung der Simulationsergebnisse

Um valide Ergebnisse der Simulation und Optimierung zu erhalten, wurden bereits u.a. der Modellaufbau, die Simulationsergebnisse im Ist-Modell und das Optimierungsmodell verifiziert und validiert. Zum Zweck verlässlicher Optimierungsergebnisse wurden, wie ausgeführt, alle Szenarien mit 90 Durchläufen simuliert, um die stochastischen Einflüsse so gut wie möglich zu minimieren. Auch wurde darauf geachtet, die Simulation mit 51 KW in der Simulationslaufzeit ausreichend lang laufen zu lassen und die Einschwingzeit in der Berechnung der Ertragswerte und Kennzahlen auszugrenzen. Ein wichtiger Punkt in der Planung und Optimierung war die Berücksichtigung von Störgrößen und Grundauslastungen,

im Umfang und in den jeweiligen Gegebenheiten des Realsystems. Hierauf bezogen wurden nun die Optimierungsergebnisse überprüft, ob die eingestellten Störgrößen (Notfälle, nicht-elektive Zugänge von sonstigen Stationen/ITS/Notaufnahme sowie elektive Zugänge von sonstigen Stationen) im mengenmäßigen Aufkommen und im zeitlichen Auftreten unverändert geblieben sind. Abweichungen konnten dahingehend keine festgestellt werden. Um zu überprüfen, dass die Optimierungen nicht zu Lasten der sonstigen Stationen, ITS oder Notaufnahme, gehen, wurden die Patientenquellen in den Kennzahlen separiert resp. Patienten innerhalb eines Funktions-/OP-Bereiches gesamtheitlich oder differenziert nach dem Entsender betrachtet. Es war insofern zu erkennen, dass die Optimierungen nicht zu Lasten der Störgrößen und Grundauslastungen gingen und diese in der Bearbeitung resp. Terminvergabe verdrängt wurden. Punktuell wurde auch die Implementierung im zugrunde liegenden Klinik- und Optimierungsmodell nochmals geprüft. Es konnten dahingehend auch jetzt keine Implementierungsfehler identifiziert werden.

13.5 Auswertung statische vs. variable Mutationsrate

In diesem Abschnitt werden die Simulationsläufe des Szenarios 1, bezogen auf die Varianten der statischen und variablen Mutationsrate (siehe Abschnitt 13.1), gegenübergestellt und interpretiert. Im direkten Vergleich zeigt sich am vorliegenden Anwendungsbeispiel, dass die Varianten an statischen Mutationsraten, bezogen auf den Ertragswert (Güte), zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen (siehe Abb. 146).

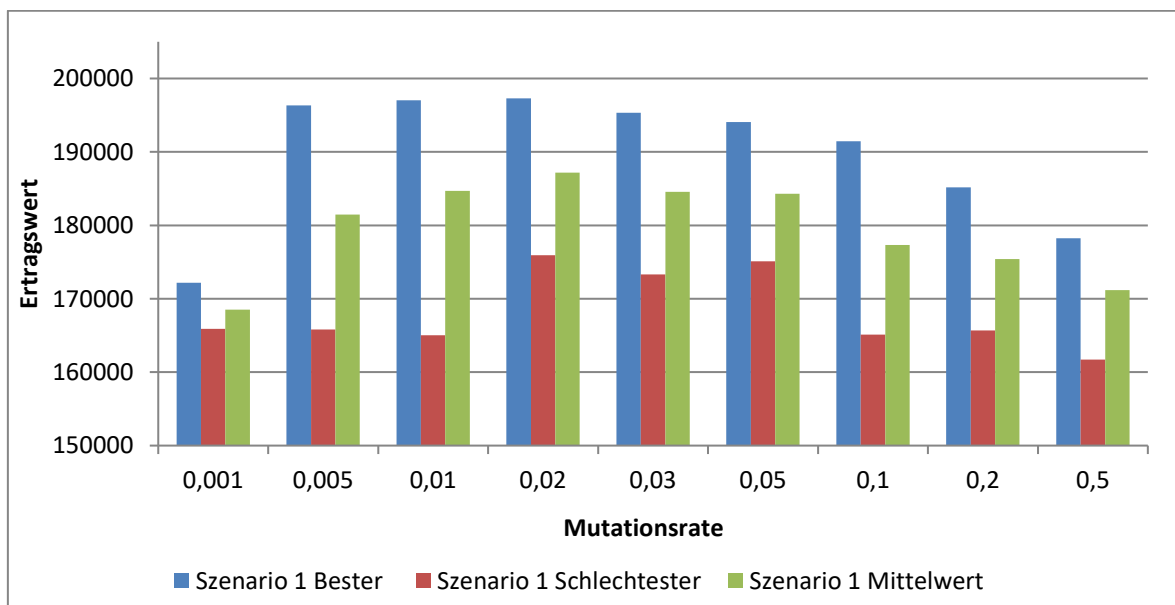


Abb. 146: Übersicht Ertragswerte des Szenarios1 bei statischer Mutation (besten und schlechtesten Lauf sowie Mittelwert über alle Läufe) (in Anlehnung an Nissen & Biethahn [1999, S. 122])

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Bezogen auf die erreichten Mittelwerte der getesteten statischen Mutationsraten lässt sich ein vergleichbarer Kurvenverlauf erkennen, wie in Kühn et al. [2013b, S. 36]. Die besten Einzelwerte konnten mit der statischen Mutationsrate im Bereich von 0,005 bis 0,02 erreicht werden. Dies kann jedoch nicht als Grundlage für eine abschließende Beurteilung herangezogen werden, da potentiell jede Variante befähigt ist, eine sehr gute Lösung oder gar das Optimum zu finden. Lediglich die Häufigkeit resp. Zeit, in der dies erfolgt, unterscheidet die Varianten. Daher wird für die weitere Beurteilung auf den Mittelwert abgestellt. Die optimale statische Mutationsrate liegt, bezogen auf den besten erreichten Mittelwert von 187.177,11, bei 0,02. Es zeigt sich hier das Problem, das im Vorhinein nicht bekannt ist, welches die optimale Mutationsrate für das jeweilige Optimierungsproblem, dessen Kodierung und der Art der Implementierung ist. Die hier gefundene optimale Mutationsrate ist leicht über der von Grefenstette [1986] (auf sein Testumfeld bezogen) aufgezeigten optimalen Mutationsrate von 0,01. In Bezug auf die Ergebnisse von De Jong [1975] und Schaffer et al. [1989], welche einen Bereich von 0,001 bzw. 0,005 – 0,01 als optimal aufzeigen (siehe Unterabschnitt 11.2.4), erscheint der hier ermittelte Wert mit 0,02 ebenfalls erhöht. Als ursächlich dafür kann grundsätzlich das gegenständliche Optimierungsproblem selber (problemspezifisch) als auch die spezifische Implementierung gesehen werden. Letzteres konkret in der multichromosomalen Repräsentation, der gewählten Real-Kodierung oder der relativ kleinen Populationsgröße von 30 Individuen, welche eine höhere Mutation bedingen, um die Diversität ausreichend hoch zu halten. Darüber hinaus kann auch der Fakt, dass im vorliegenden Fall zur Erzeugung eines Individuums entweder Crossover oder Mutation vollzogen wird, ursächlich sein. In Letzterem ist ein Unterschied gegeben, welcher durch die Umsetzung der Chromosomenfitness bei der selbstadaptiven Mutationsrate erforderlich war (siehe [Kühn et al. 2013b, S. 33]). Für eine unverfälschte, direkte Vergleichbarkeit musste die vorgenommene Anpassung auch für die getesteten statischen Mutationsraten angewendet werden. Damit können die unterschiedlichen Ergebnisse ausschließlich auf die jeweilige Mutationsrate zurückgeführt werden.

Die variable Mutationsrate ergab im Test einen besten Einzelwert von 198.272, welcher mit +0,49 % leicht über der besten gefundenen Lösung bei Anwendung einer statischen Mutationsrate liegt. Wie bereits ausgeführt wurde, wird hierin aber keine Aussagekraft in Bezug auf die Effizienz der Testvariante gesehen. Der erreichte Mittelwert liegt bei der Anwendung der variablen Mutationsrate bei 185.987,89 und damit um -0,63 % leicht unter dem Mittelwert bei Anwendung der statischen Mutationsraten von 0,02, welche sich hier als performanteste gezeigt hat (siehe Abb. 147).

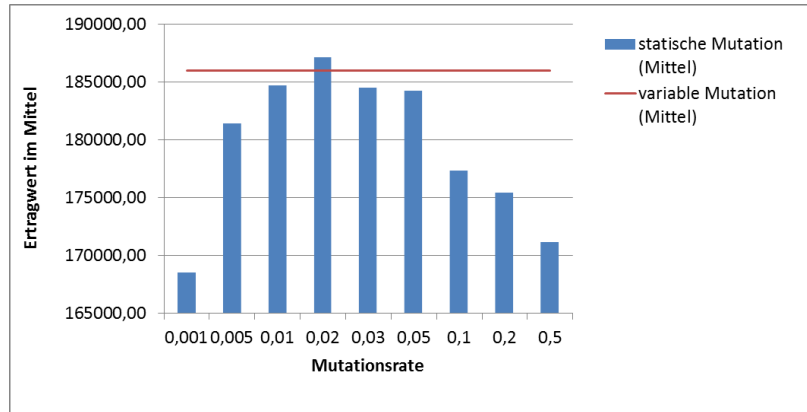


Abb. 147: Ergebnisse der Varianten an statischen Mutationsraten im direkten Vergleich mit der variablen Mutationsrate im Szenario 1

In der Darstellung sind die mittleren Ertragswerte aus den 9 Durchläufen des Szenarios 1 für die 10 Varianten an Mutationsraten (inkl. variabler Mutation) abgetragen. Die implementierte variable Mutationsrate nach Kühn et al. [2013b] liefert, bezogen auf den mittleren Ertragswert, ein besseres Ergebnis als die Mehrheit der getesteten statischen Mutationsraten. Damit kann die variable Mutationsrate, in der hier gewählten Form, ihre Vorteile auch am vorliegenden komplexen Anwendungsbeispiel ausspielen. Diese liegen in einer zu anfangs hohen Mutationsrate, welche auch bei kleineren Populationen, wie dies im vorliegenden Fall mit 30 Individuen gegeben ist, eine anfänglich bessere Abdeckung des Lösungsraums erreicht. Sprich, die Lösungen streuen zu Beginn deutlich stärker, als dies bei einer statischen Mutationsrate der Fall wäre. Die nachfolgenden Abbildungen veranschaulichen diesen Sachverhalt (siehe Abb. 148 - Abb. 149).

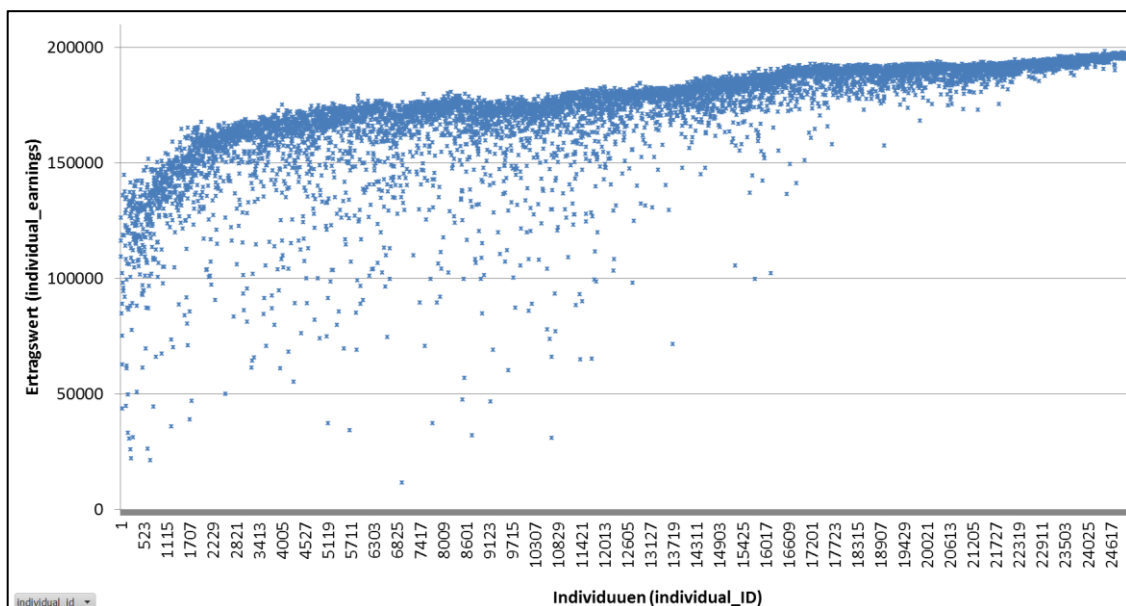


Abb. 148: Streuung der Ertragswerte bei variabler Mutationsrate im zeitlichen Verlauf

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

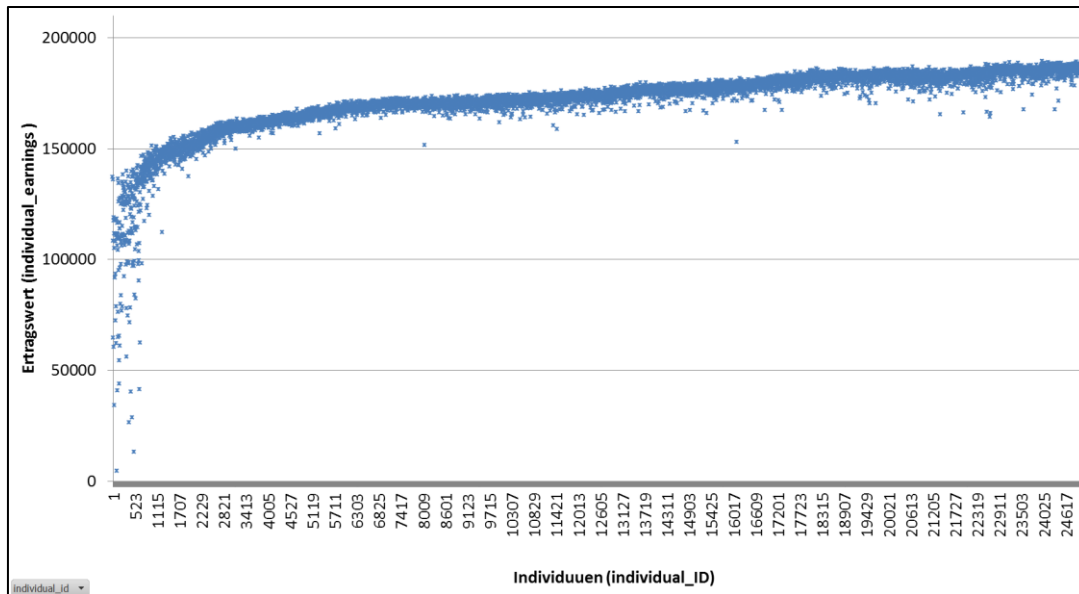


Abb. 149: Streuung der der Ertragswerte bei statischer Mutationsrate von 0,02 im zeitlichen Verlauf

Jeder der aufgeführten Punkte in den Grafiken entspricht einer getesteten Lösung mit dem jeweiligen erreichten Ertragswert (Mittelwert aus 10 Durchläufen). Wie zu erwarten war, ist die anfängliche Steigerungsrate in beiden Fällen sehr hoch. Das Finden besserer Lösungen benötigt jedoch zunehmend mehr Zeit (Konvergenz). Bezogen auf die variable Mutationsrate (siehe Abb. 148) ist deutlich ersichtlich, wie anfänglich eine breitere Streuung auftritt als bei der statischen Mutationsrate (siehe Abb. 149).

Im weiteren Verlauf wird diese sukzessiv abgebaut. Im Ergebnis lassen sich so tendenziell bessere Werte in kürzerer Zeit finden, was sich hier im Mittel in besseren Ergebniswerten äußert als bei der Mehrzahl der statischen Mutationsraten. Darüber hinaus wird die Lösungsfindung durch die eingeführte Chromosomenfitness erleichtert. Es können individuelle Zielstellungen je Chromosomen formuliert werden. Die Chromosomen werden dann je nach Grad der Zielerreichung (Chromosomenfitness) stärker oder weniger stark mutiert. Auf der Basis ist eine stärkere Zielausrichtung der Lösungssuche möglich, als dies der Fall bei einer einzigen Zielfunktion auf Ebene der Individuen wäre. Die nachfolgende Abb. 150 zeigt beispielhaft für einen Optimierungslauf aus dem Szenario 1 die Schwankung der variablen Mutationsrate im zeitlichen Verlauf auf.

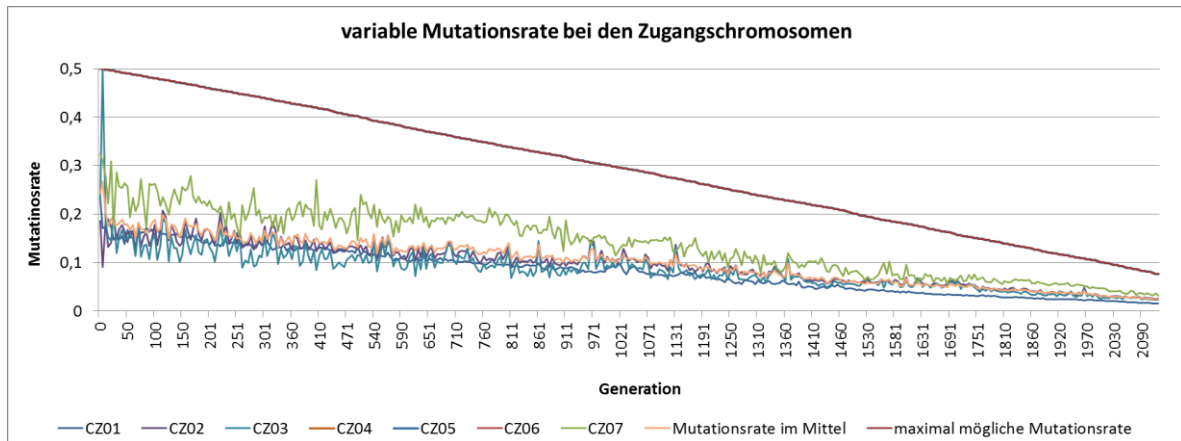


Abb. 150: Mutationsrate im zeitlichen Verlauf bei angewendeter variabler Mutation

Die oberste Linie gibt die maximal mögliche Mutationsrate zum jeweiligen Zeitpunkt an. Diese sinkt kontinuierlich im Zeitverlauf ab. Die Absenkungsrate entspricht dem Wert, um welche die der Berechnung zugrunde liegende maximale Mutationsrate je Generation reduziert wird. Es zeigt sich in der Abbildung, wie die Mutationsraten im zeitlichen Verlauf je Chromosom Schwankungen unterlegen sind¹¹⁸. Das wiederholte auf und ab entsteht durch die erreichte Güte der jeweiligen Chromosomen. Die maximal mögliche Mutationsrate wird in der Darstellung einmal zu Beginn der Optimierung erreicht. Dies bedeutet, dass die Chromosomen in Bezug auf die Planung bis auf einmal nie den hinterlegten schlechtesten Fall der Zugangsplanung erreicht haben.

In der weiteren Auswertung der vorliegenden Testergebnisse wurde untersucht, inwiefern sich im gegebenen Anwendungsfall die Crossoverrate auf die GA-Performance auswirkt. Im vorliegenden Testumfeld des Szenarios 1 wurden jeweils 30 Durchläufe mit einer Crossoverrate von 0,60, 0,75 und 0,95 getätigt (siehe Tab. 78) und hinsichtlich Minimal-, Maximal und Mittelwert der erreichten Ertragswerte ausgewertet. Im direkten Vergleich der Mittelwerte zeigt sich die Crossoverrate von 0,75 als am performantesten (siehe Abb. 165).

Crossoverrate	N	Ertragswert (individual_earnings) bei 10 Durchläufen je Lösungspunkt			Unterschied in Prozent
		Minimum	Maximum	Mittelwert	
0,60	30	161731	196337	182086,27	+4,98 %
0,75	30	165815	198272	184658,03	+6,47 %
0,95	30	165037	179848	173444,77	0,00 %

Tab. 108: Übersicht Ertragswerte bezogen auf die angewendete Crossoverrate im Szenario 1

¹¹⁸ Da die Chromosomen CZ04 – CZ06 für die Referenzeinrichtung 3 keine Anwendung finden, sind für diese in der Abbildung keine Werte aufgeführt.

13. Optimierungsszenarien und Ergebnisse

Ausgehend von dem mittleren Ertragswert bei der Crossoverrate von 0,95, verbesserte sich das Ergebnis bei der Crossoverrate von 0,60 um +4,98 % und bei 0,75 um +6,47 %.

Eine abschließende Aussage zu der Effizienz der hier eingesetzten variablen Mutation ist bisher jedoch noch nicht möglich. Es wird in einem nächsten Schritt nun untersucht werden, ob die variable Mutationsrate auch im Vergleich zu statischen Mutationsraten, welche auf eine ursprüngliche Implementierung des GA¹¹⁹ abstellen, ebenso Effizienzvorteile aufzeigt. Zu diesem Zweck wurde ein neuer Gesamtdurchlauf als Szenario 5 vollzogen. Grundlage ist das Szenario 1. Abweichend wurden beim erneuten Durchlauf die Mutationsraten von 0,001, 0,005, 0,01, 0,02, 0,03 und die selbstadaptierende Mutationsrate nach Kühn et al. [2013b] getestet und entsprechend für die statische Mutation das Verfahren dahingehend geändert, dass immer auch Mutation angewendet wird, wenn ein Kind der Folgepopulation erzeugt wird. Dies entspricht damit der regulären GA-Implementierung. Da nunmehr weniger Varianten an Mutationsraten zu testen sind, wurde die Anzahl der Durchläufe je Variante auf 12 erhöht. Somit beinhaltet dieses Simulationsszenario in Summe 72 Durchläufe. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abb. 151 veranschaulicht.

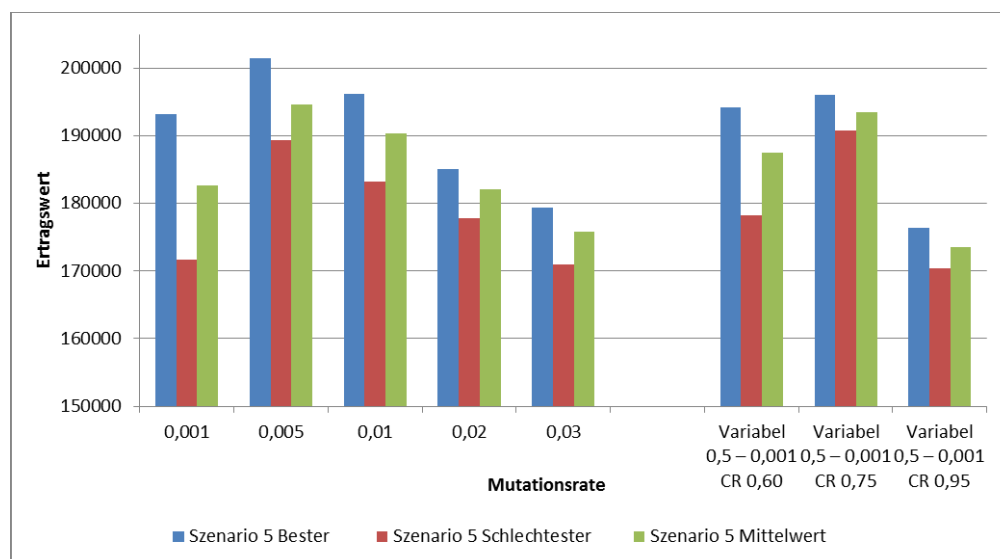


Abb. 151: Übersicht Ertragswerte des Szenarios 1 bei statischer Mutation (besten und schlechtesten Lauf sowie Mittelwert über alle Läufe) (in Anlehnung an Nissen & Biethahn [1999, S. 122])

Zunächst zeigt sich bezogen auf die statischen Mutationsraten wieder der typische Kurvenverlauf. Aus Sicht der Performance finden sich sowohl der beste Einzelwert

¹¹⁹ In der Form, dass immer eine Mutation ausgeführt wird und je nach Crossover-Wahrscheinlichkeit im Vorhinein ein Crossover erfolgt oder auch nicht (siehe [Nissen 1997a, S. 38 ff.]

(201.427) als auch der beste Mittelwert (189.311) bei einer Mutationsrate von 0,005. Hierin ist ein deutlicher Unterschied zum Ergebnis mit der Implementierung im Szenario 1 gegeben. Es bedarf nun einer deutlich geringeren Mutationsrate im statischen Fall als zuvor mit 0,02. Die im Szenario 5 gefundene optimale statische Mutationsrate ist geringer als die von Grefenstette [1986] (auf sein Testumfeld bezogen) aufgezeigten optimalen Mutationsrate von 0,01. In Bezug auf die Ergebnisse von De Jong [1975] und Schaffer et al. [1989], welche einen Bereich von 0,001 bzw. 0,005 – 0,01 als optimal aufzeigen (siehe Unterabschnitt 11.2.4), liegt der hier ermittelte Wert genau in der Spanne.

Die variable Mutationsrate ergab im Test einen besten Einzelwert von 196.047, welcher mit 2,67 % geringer ausgefallen ist als bei der besten gefundenen Lösung bei einer statischen Mutationsrate. Der erreichte Mittelwert ist bei der Anwendung der variablen Mutationsrate bei einer Crossoverrate von 0,75 am performantesten. Dies entspricht auch dem aufgeführten Ergebnis aus dem Szenario 1. Im Szenario 5 liegt der im Mittel erreichte Ertragswert bei 190.861 und damit um 0,63 % leicht unter dem Mittelwert bei Anwendung der statischen Mutationsraten von 0,005, welche sich hier als performanteste gezeigt hat (siehe Abb. 151).

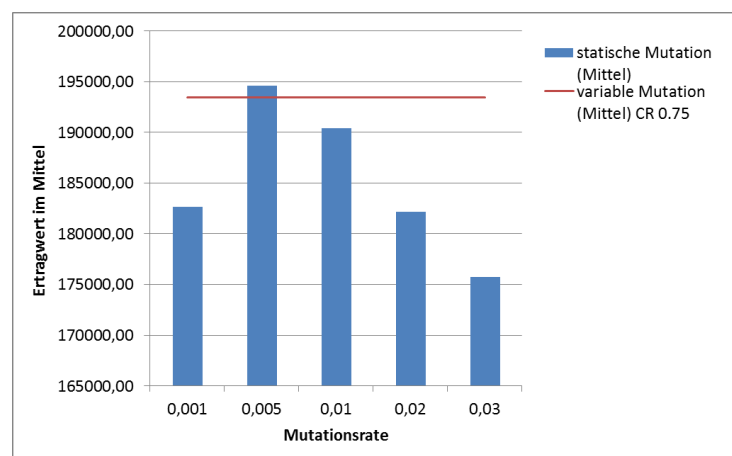


Abb. 152: Ergebnisse der Varianten an statischen Mutationsraten im direkten Vergleich mit der variablen Mutationsrate im Szenario 5

In der Darstellung sind die mittleren Ertragswerte aus den zwölf Durchläufen des Szenarios 1 für die sechs Varianten an Mutationsraten (inkl. variabler Mutation) abgetragen. Die implementierte variable Mutationsrate nach Kühn et al. [2013b] liefert, bezogen auf den mittleren Ertragswert bei einer Crossoverrate von 0,75, ein besseres Ergebnis als die Mehrheit der getesteten statischen Mutationsraten. Damit kann die variable Mutationsrate, in der gewählten Form, ihre Vorteile auch im Szenario 5 zeigen, wengleich dies hier nur bezogen auf die Crossoverrate von 0,75 erfolgt.

13.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das zuvor aus eEPKs erstellte Prozessmodell, welches mit dem hier entwickelten Konverter in ein ausführbares Simulationsmodell transformiert und anschließend zweckbezogen erweitert wurde, ausgeführt. Auf der Basis der im Modell abgebildeten Prozesse und Behandlungspfade wurde mittels eines angebundenen Genetischen Algorithmus abteilungsübergreifend die Termin- und Reihenfolgeplanung in Verbindung mit einer Zugangs- und OP-Planung durchgeführt und optimiert.

Es wurde die beste im Szenario 1 gefundene Lösung aufgeführt und analysiert. Hierbei zeigte sich, dass diese, auf einzelne Ergebniskennzahlen bezogen wie auch hinsichtlich des erreichten Ertragswertes, sich schlechter darstellen als die bestehende Planung im Ist-Modell. Die Ursachen hierfür wurden im Detail mittels der Szenarien 2-4 ergründet. Es zeigte sich in den Szenarien 2+3, dass die Reservierungsplanung nicht in allen Fällen vorteilhaft ist. Die Kombinationen aus Bereich und Reservierungstyp, bei welchen sich Verbesserungen zeigen, konnten identifiziert und die Effekte an Hand der Kennzahlen detailliert dargelegt werden. Mit der im Szenario 3 optimierten Reservierungsplanung konnte, bezogen auf den Ertragswert, eine signifikant bessere Lösung erreicht werden als im Ist-Modell. Die Einzelwerte zu Terminverfügbarkeiten, Wartezeiten und Terminabweichungen verbesserten sich, wie angestrebt, für die Ambulanzpatienten wie auch die stationären Patienten sehr deutlich. Dies, sowohl gegenüber dem Szenario 1 als auch im direkten Vergleich mit dem Ist-Modell. Weitere Erkenntnisse konnten mit dem Szenario 4 gewonnen werden. Es wurden die für den Freitag geplanten elektiven Zugänge auf den kard. Stationen auf den Anfang der Woche umverteilt. Im Ergebnis zeigte sich eine deutliche Verbesserung in der Dauer der Voruntersuchungen und in der Terminverfügbarkeit (Dauer von Terminanfrage bis Termin). Auf diesem Wege konnte die Planung im Realsystem, welche eine deutliche Reduzierung in der Anzahl der elektiven Zugänge am Freitag beinhaltet, als zielführend bestätigt werden. In Folge dessen ergaben sich aber weniger HKL-Maßnahmen am darauf folgenden Montag, was der Zielstellung einer gleichmäßigen Auslastung im HKL entgegenwirkt (Pareto-Optimum). Ferner zeigte sich in der Zugangsplanung, dass prästationäre Patienten am Anfang, zur Mitte und zum Ende der Woche über die kard. Stationen einbestellt wurden. Als größter Engpass konnten die ECHO2 Ressource sowie die Herzkatheterlabore 1-3 ausgemacht werden. Darüber hinaus stellten sich die Ärzte auf den kard. Stationen als Engpass heraus, für welche sich selbst mit einer optimierten Zugangsplanung und allen getesteten Szenarien hohe Wartezeiten bei der ärztlichen Anamnese und beim Anfertigen des Arztbriefes ergaben.

Ausgehend von einer Maximalausprägung im Szenario1, welches alle zu optimierenden Sachverhalte beinhaltet, wurde untersucht, welches die hierauf bezogene optimale Mutationsrate ist. Abschließend hierzu lässt sich festhalten, dass nach wie vor viel Fingerspitzengefühl in die Parameterausprägung der genetischen Operatoren gelegt werden sollte. Viele Untersuchungen und Anwendungsbeispiele, wie auch die vorliegende Arbeit, zeigen, dass es zwar eine Spanne an optimal eingeschätzten Wertausprägungen gibt, diese aber nie vollständig losgelöst gesehen werden sollten von dem zu optimierenden Problem, speziell der Art der Problemkodierung und allgemein der spezifischen Implementierung. Somit gibt es zwar Erfahrungswerte, auf welche sich eine Parametrisierung stützen kann, eine Sicherheit bietet dies jedoch nicht. In der Anwendung der selbstadaptierenden Mutationsrate nach Kühn et al. [2013b] konnte gezeigt werden, dass auch im komplexen Anwendungsfall die Selbstadaption als guter Ansatz zu sehen ist, um nicht auf eine im Voraus unbekannt optimale Mutationsrate abstellen zu müssen. Es wurde gezeigt, dass diese auch grundsätzlich befähigt ist, schnellere bessere Lösungen zu finden, als die Mehrzahl der statischen Mutationsraten dies tun. Damit wird ein effizienteres Arbeiten des Genetischen Algorithmus ermöglicht, als dies bei der Mehrzahl der statischen Mutationsraten der Fall ist. Die Performance der selbstadaptiven Mutationsrate ließe sich vermutlich noch steigern, wenn die maximale oder minimale Mutationsrate angepasst sowie die Einstellungen der Chromosomenfitness noch justiert werden würden. Hier erfolgte derzeit bewusst keine Justierung. Es wurde von den Minimal- und Maximalwerten als Rahmen der Fitnessbewertung ausgegangen. In einem nächsten Schritt wäre es interessant zu testen, wie sich das Verhalten der selbstadaptiven Mutation bei einer höheren minimalen Mutationsrate von 0,005 statt bisher 0,001 verhält und wie sich ein Elitismus im Vergleich zwischen statischer und variabler Mutationsrate auswirkt. Darüber hinaus wird empfohlen, die hier angewendete selbstadaptive Mutationsrate an weiteren Anwendungsfällen zu testen.

14. Umsetzungsmöglichkeiten im Realsystem

In diesem Kapitel wird auf die Umsetzung des eingesetzten Planungskonzeptes und der erzielten Planungsergebnisse im Realsystem eingegangen. Ausgangsbasis der Betrachtung sind die organisatorischen Gegebenheiten im Realsystem und dem Vorhandensein eines SAP IS-H*med, wie es in allen der drei betrachteten Referenzeinrichtungen vorzufinden ist. Es wird versucht, soweit möglich die Lösungsimplementierung auf die vorgefundenen Gegebenheiten abzustellen und diese nur im absolut notwendigen Umfang zu verändern. Hierbei sind die definierten Planungsparameter im Grundgerüst des Planungskonzeptes sehr vorteilhaft (siehe Abschnitt 10.2 zum Planungsraster). Die hierdurch erreichte Transparenz der Planung erleichtert nun die Nachbildung im Realsystem erheblich. Im Folgenden wird im Detail auf die einzelnen Planungsebenen eingegangen.

14.1 Zugangsplanung

Im Zuge der Optimierung der Zugangsplanung wurden folgende Ergebniswerte erreicht:

- die Anzahl einzuplanender Patienten je Wochentag für die stationäre und ambulante Aufnahmeplanung,
- die Anzahl an Patienten je Wochentag zur prästationären Abklärung und
- welcher Umfang an Notfällen (z.B. von Notaufnahme, Stationen) in der Planung (z.B. im HKL, auf den kard. Stationen) indirekt berücksichtigt wurde.

Grundsätzlich können neue Vorgabewerte die im Realsystem bestehenden ersetzen resp. sofern diese bisher nicht geführt werden, als solches nun Planungsrelevanz erhalten. Hierzu bedarf es in der minimalen Anforderung keiner spezifischen Software oder SAP-Implementierung. Im einfachsten Fall reicht eine verbindliche Information der planenden/einbestellenden Stellen über die neuen Gegebenheiten, z.B. in Form eines Handzettels oder bei einer Mitarbeiterversammlung.

Wie ausgeführt, gibt es im Realsystem Vorgabewerte für die Anzahl stationär oder ambulant aufzunehmender Patienten. Bis dato basierten diese auf Schätzungen resp. waren nicht validiert. Die nun ermittelten Planungswerte sind gegenüber den Prozessen und Ressourcengegebenheiten des Realsystems (am dynamischen Modell) validiert und können die bisherigen Vorgabewerte ersetzen. Die Ergebniswerte bezogen auf die Anzahl Patienten zur prästationären Abklärung je Wochentag sind Planungswerte, welche im Realsystem bis dato nicht als Vorgabewerte vorlagen. Diese Werte sind unter Berücksichtigung der medizinischen Gegebenheiten anzusehen und können nun als Orientierungsgröße an die Ärzte der kard. Ambulanz, der kard. Stationen und an die einbestellenden Stellen übermittelt werden.

Entsprechend obliegt es dann diesen, die Patienten unter den medizinischen Gegebenheiten zu selektieren resp. zu bestimmen. Darüber hinaus wurde die Planung unter Berücksichtigung eines definierten Maßes an einströmenden Notfällen resp. nicht-elektiven Patienten durchgeführt (als Störgrößen, Grundaustlastungen), welche von nun an im Realsystem als validierte Planungsgrößen, im Speziellen im Sinne der Absetzbarkeit von Patienten aus Sicht der Notaufnahme auf die kard. Stationen gelten können.

14.2 Terminplanung

Im Folgenden wird die mögliche Umsetzung der Terminplanung im Realsystem ausgeführt. Dies bezieht sich im Speziellen auf:

- die Terminvergaberegeln – Anzahl, zeitliche Lage und der zeitliche Abstand der Aufnahmetermine je Wochentag,
- die Anzahl und zeitliche Lage der Terminreservierungen,
- die Anzahl und zeitliche Lage der Puffer sowie
- die im Soll-Modell der Planung zugrunde liegenden Planwerte zur Terminvergabe.

14.2.1 Aufnahmetermine

Bei den Aufnahmetermine für ambulante resp. stationäre Patienten wurden im optimierten Modell Terminvergaberegeln bestimmt, welche nun als Richtwert der Aufnahmeplanung im Realsystem fungieren können. Da die Zugangsplanung derzeit von Hand erfolgt, bedarf es in der Minimalausprägung erneut lediglich einer verbindlichen Information oder ggf. eines Handzettels. Somit stünde für die Aufnahmeplanung der stationären und ambulanten Patienten jeweils ein Handzettel zur Verfügung, welcher die Anzahl der Patienten je Tag (Zugangsplanung) sowie die zeitliche Lage und den zeitlichen Abstand der Einbestellungen als verbindliche Vorgaben (Masterplan) aufzeigt und in welchen die jeweiligen Patienten eingetragen werden können. Besser wäre natürlich, wenn die Termine (wie in Einrichtung 3) praktiziert im SAP-System eingetragen werden und damit auch den aufnehmenden Stationen zur Verfügung stünden. Gleichwohl die Aufnahmestationen in beiden Varianten um die Anzahl der Zugänge wüssten, wäre im letzteren Fall auch Transparenz bezogen auf den Termin (Reihenfolge) gegeben und, um welchen Patienten (Namen etc.) es sich genau handelt.

14.2.2 Terminreservierungen, Planwerte und Puffer

Hinsichtlich der Umsetzung der Terminreservierungen und Puffer in den Funktions-/OP-Bereichen bedarf es eines Blickes auf die im Realsystem eingesetzten Terminkalender. Im Idealfall wird, wie in Einrichtung 3 bereits praktiziert, die Plantafel des SAP IS-H*med zur Terminplanung eingesetzt (siehe Abb. 153). Die

14. Umsetzungsmöglichkeiten im Realsystem

Plantafel ist Teil des klinischen Arbeitsplatzes im SAP-System. Mit Hilfe dieser ist die jeweilige Planung auch für andere (berechtigte) Fach- und Funktionsbereiche resp. die Stationen einsehbar, transparent und jederzeit verfügbar.

Abb. 153: Plantafel SAP IS-H*med – Funktionsbereich Echokardiografie (Ist-Zustand Einrichtung 3)

Die Plantafel entspricht einem Terminkalender, gegliedert in Wochentage und Uhrzeiten. Grüne (dunkle) Bereiche in der Plantafel können durch die im jeweiligen Feld aufgeführten Organisationseinheiten belegt werden. Helle Bereiche sind blockiert und für Termine nicht zugänglich, z.B. bei Pausen oder zum Ende der Terminvergabezeiten. Wie die Plantafel konfiguriert, entsprechende Organisationseinheiten angelegt sowie die planungsspezifischen Erweiterungen (Reservierungen, Puffer) vorgenommen werden, wird im Anhang A89 beschrieben.

14.3 Patientenauswahl

Nun gilt es noch die im Planungskonzept zugrunde gelegten Auswahlregeln und deren Umsetzung im Realsystem zu betrachten. Zu großen Teilen orientieren sich diese bereits an der Praxis. So haben akute Notfälle immer oberste Priorität bei der Auswahl des nächsten Patienten aus einer Warteschlange. Auch werden die Patienten entsprechend der Reihenfolge bei der Terminvergabe abgearbeitet (first-appointment, first-served). Ergänzt und validiert wurden die Auswahlregeln in Bezug auf ein strukturiertes Vorgehen bei dem Einschleichen/Vorziehen von nicht-elektiven Patienten und dem Umgang mit der Unpünktlichkeit im Auftreten der Patienten.

Grundsätzlich sind die Auswahlentscheidungen auch im Realsystem keiner EDV-Lösung unterworfen, da sich die Reihenfolge, wie ausgeführt, bereits auf der Basis des Patientenzustandes resp. der zuvor terminlich fixierten Reihenfolge determiniert. Hinsichtlich des Vorgehens bei unpünktlich auftretenden Patienten resp. bei nicht-elektiven Patienten ist die Umsetzung im Realsystem leicht mit Hilfe eines Handzettels möglich, welcher die Auswahlregeln (Priorisierungen) ausführt und in den Bereichen als verbindliche Handlungsanweisung fungiert.

14.4 Abschließende Anmerkungen zur Umsetzung im Realsystem

Abschließend hierzu sei noch darauf hingewiesen, dass die Umsetzung von Änderungen als Prozess verstanden werden sollte. Für die Nachhaltigkeit der Umsetzung bedarf es zum einen einer Signalwirkung von oben (als Anweisung) und einer regelmäßigen Kontrolle, um nicht in alte Gewohnheiten zurückzufallen. Gegebenenfalls können Schulungen mit den planenden Stellen resp. mit den betreffenden Bereichen durchgeführt werden, um das Verständnis für die Notwendigkeit zu fördern und die positiven Effekte dessen aufzuzeigen. Da bereits viele Bereiche der Referenzeinrichtungen in die Prozess- und Datenerhebung, die Mitarbeiter-/Patientenbefragungen und die Validierung involviert waren, kann auf einer bestehenden grundlegenden Akzeptanz und einem Verständnis auch für die Lösungsimplementierung aufgebaut werden. Es obliegt nun den leitenden Stellen zu entscheiden, ob die entwickelte Planungsmethode mit den vorgestellten Umsetzungsmöglichkeiten im Realsystem auch tatsächlich eingesetzt wird. Die Entscheidung hierzu ist zum jetzigen Zeitpunkt noch ausstehend.

15. Zusammenfassung & Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde an der konkreten Problemstellung der Termin- und Reihenfolgeplanung von Patienten eine fachübergreifende Planungsmethode für Krankenhäuser entwickelt und am Praxisbeispiel mit Realdaten validiert. Hierzu wurde ein realitätsnahes, ausführbares Simulationsmodell entwickelt, welches unter Einsatz einer hier entwickelten Methode zur automatisierten Transformation aus eEPK Prozessbeschreibungen aufgebaut wurde. Auf den Untersuchungsgegenstand bezogen, ist mit diesem gezeigt worden, wie mit der fachübergreifenden Komplexität umgegangen werden kann, ohne die Detailkomplexität oder die dynamische Komplexität zu vernachlässigen.

Wie aufgezeigt wurde, verlieren sich die bisherigen Lösungsansätze in der Konzentration auf einzelne Sachverhalte, wie die ambulante oder stationäre Aufnahmeplanung, mit zum Teil stark vereinfachenden Annahmen. Die auf der Basis entwickelten, spezifischen Lösungen scheitern im komplexen Zusammenspiel des Realsystems und bringen dort nicht die gewünschten Effekte. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit die stationäre und die ambulante Aufnahmeplanung sowie die OP-Planung gesamtheitlich im Zusammenspiel betrachtet und optimiert. Es wurden hierbei eine Vielzahl bisheriger Annahmen fallen gelassen und in vorhergehenden Arbeiten unberücksichtigte aber einwirkende Gegebenheiten berücksichtigt, um das Modell realitätsnah zu gestalten und damit auch der Detailkomplexität gerecht zu werden. Hierzu zählen insbesondere:

- zufälliges Eintreffen von Patienten und Patientenfragen,
- stochastisches Aufkommen der Notfälle von extern (über die Notaufnahme),
- zufällig im Behandlungsverlauf auftretende Notfälle,
- stochastisches Auftreten von Patienten ohne Termin (nicht-elektiv),
- Unpünktlichkeit von Patienten,
- ohne Absage ausbleibende Patienten (no-show),
- Varianzen im Behandlungsverlauf der Patienten,
- unterschiedliche Arten von Behandlungen (Maßnahmen),
- zum Zeitpunkt der Terminanfragen zur stationären/ambulanten Aufnahme unbekannter Behandlungsverlauf (Maßnahmenplan),
- Varianzen in den Bearbeitungszeiten (z.B. durch Komplikationen oder den individuellen Patientenzustand) und
- Wechselwirkungen zwischen Stationen/Fachbereichen (z.B. Verlegungen).

Das Simulationsmodell wurde flussorientiert aufgebaut, wie dies Brettel [1999, S. 768] aufzeigt. Es wurden hierzu Behandlungspfade (Prozesse), beginnend von der Aufnahme der Patienten bis zur Entlassung fachübergreifend, im Modell abgebildet. Die Planung und Optimierung erfolgt auf der Grundlage als mehrstufiger Ablauf

(multi-stage) sowie unter Einbeziehung verschiedener Ressourcen, teils mit Kapazitäten größer 1 (multi-server). Die Ressourcenkapazitäten sind beschränkt. Sofern es sich um Spezialressourcen handelt, sind diese definierten Maßnahmen zugeordnet. Um der dynamischen Eigenschaft der zugrunde liegenden Prozesse zu entsprechen (dynamische Komplexität), erfolgte die Abbildung in einem dynamischen (ausführbaren) Simulationsmodell. Im Sinne der fachübergreifenden Komplexität erfolgte eine gesamtheitliche Betrachtung und Optimierung der Patientenströme für die kard. Funktionsbereiche (ECHO, EKG), die OP-Bereiche (HKL), kard. Stationen, kard. Ambulanz und die Bereiche/Stationen, zu denen Wechselwirkungen bestehen, insbesondere die interdisziplinäre Notaufnahme. Es konnten so neue Erkenntnisse gewonnen werden, u.a. hinsichtlich einer gesamtheitlichen Problemstrukturierung, Planung und Optimierung unter Berücksichtigung von der Aufnahme nachgelagerter Ressourcenerfordernissen.

Im Rahmen der Arbeit vor Ort in den Referenzkliniken wurde erkannt, dass Krankenhäuser nur sehr eingeschränkt die erforderliche Expertise, u.a. bezogen auf Simulationssysteme, Modelltransformation und den Modellaufbau, haben, um Simulationsstudien selbständig zu realisieren. Das Wissen muss teuer zugekauft oder langwierig aufgebaut werden. Eine aktuelle Herausforderung wird darin gesehen, klinischen Einrichtungen den Zugang zu den Simulationssystemen und den Aufbau von dynamischen, ausführbaren Modellen zu erleichtern. Hierzu wurde in der vorliegenden Arbeit ein Transformationsansatz erarbeitet, welcher es ermöglicht, Behandlungspfade (Prozessdokumentationen) in eEPK-Format, über das Austauschformat EPML, automatisiert in ein ausführbares Simulationsmodell zu überführen (siehe [Kühn et al. 2013a]). In der vorliegenden Arbeit wurde dieser neue Ansatz, zur Modellgenerierung aus Behandlungspfaden, zum Aufbau des hier eingesetzten Simulationsmodells erfolgreich angewendet. Der vorgestellte Ansatz wurde damit in der Anwendbarkeit am komplexen Beispiel validiert und die Grenzen der bisherigen Notationen aufgezeigt. Dahingehend wurde ein Vorschlag zur simulationsspezifischen Erweiterung der eEPK und EPML Notationen erarbeitet. Mit Hilfe dieser Entwicklung kann es zukünftig möglich sein, den Modellerstellungsprozess deutlich zu beschleunigen und die Kosten einer Simulationsstudie zu reduzieren. Es kann auf diesem Wege auch wenig simulationserfahrenes Personal der Klinik frühzeitig in den Aufbau eines Simulationsmodells eingebunden werden. Die Dauer, die Kosten sowie die Einbindung des Personals vor Ort sind wichtige Eckpunkte, um eine Simulationsstudie nachhaltig erfolgreich zu machen und die Position der Simulation als Werkzeug in den klinischen Einrichtungen zu stärken. Speziell im klinischen Umfeld ist die Simulationsmethodik prädestiniert. Es lassen sich, wie im vorliegenden Fall gezeigt wurde, klinische Prozesse analysieren, Verbesserungspotentiale erkennen, Lösungen aufzeigen (Optimierung) sowie gefundene Lösungen

15. Zusammenfassung & Ausblick

am Modell austesten und validieren, ohne hierdurch das operative Tagesgeschäft zu beeinflussen oder gar die Gesundheit der Patienten zu gefährden.

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wurde das generierte Simulationsmodell um den Zweckbezug der Termin- und Reihenfolgeplanung erweitert, validiert und ein Genetischer Algorithmus zur Optimierung angebunden. Zur Optimierung wurde ein Planungskonzept erarbeitet, welches die einzelnen zu planenden Engpassbereiche (Ressourcen) mit einem Multichromosomenansatz in Form von dedizierten Chromosomen abbildet. Auf dem Wege war es möglich, auf die jeweiligen Belange der einzelnen Engpassbereiche spezifisch einzugehen und dennoch eine gesamtheitliche Planung unter dem Gesamtbezug eines Individuums zu vollziehen. Im Zuge des Optimierungsbestrebens wurde eine Methode entwickelt, wie auch Genetische Algorithmen mit multichromosomaler Repräsentation ein flexibler Umgang mit der Mutationsrate (selbstadaptiv) ermöglicht wird (siehe [Kühn et al. 2013b]), vergleichbar der Evolutionsstrategien. Hierzu wurde eine sogenannte Chromosomenfitness verwendet, welche je nach Güte des Einzelchromosoms (Grad der Zielerreichung) die jeweilige Mutationsrate determiniert. Der Ansatz der selbstadaptiven Mutationsrate wurde am vorliegenden komplexen Beispiel angewendet und Varianten statischer Mutationsraten gegenübergestellt. Es konnte auf der Basis gezeigt werden, dass die Performance bei der Anwendung des Genetischen Algorithmus (erreichte Güte innerhalb einer gegebenen Laufzeit) im statischen Fall durchaus in der Lage ist, die variabel ausgelegte Mutationsrate zu schlagen. Hierzu muss jedoch die optimale Mutationsrate im Voraus bekannt sein. Es konnte aber auch gezeigt werden, dass die optimale Mutationsrate, im vorliegenden Beispiel, von den Vorgaben in der Literatur abweicht. Dahingehend ist die selbstadaptive Mutationsrate aber auf einem hohen Ergebnisniveau und damit eine gute Alternative, wenn die optimale statische Mutationsrate im Vorfeld nicht bekannt ist.

Bezogen auf das entwickelte Planungskonzept wurde der optimale Umfang (Näherungslösung) einzubestellender Patienten, deren zeitliche Verteilung (Einbestellungsregel) und die Reservierungsbelegung in den Terminkalendern der Funktions-/OP-Bereiche ermittelt. Mit den Reservierungen können im Voraus spätere Termin-/Ressourcenerfordernisse eingeplant werden. An weiteren Szenariantests wurde die Wirkungsweise der Reservierungen untersucht und festgestellt, dass sich diese in den der Aufnahme nachgelagerten Funktions-/ OP-Bereichen, für elektive stationäre Patienten und nicht-elektive Patienten der kard. Ambulanz, als grundsätzlich positiv erwiesen haben. Es konnte aufgezeigt werden, in welchen Bereichen und für welchen Reservierungstyp welcher Einfluss auf die Ergebniswerte der Planung (Wartezeiten, Termintreue, DLZ) besteht. Ferner wurde gezeigt, dass eingestellte Puffer für Notfälle im OP-Bereich HKL unter der Gesamtsicht der

Ergebniswerte nicht als vorteilhaft gesehen werden können. Gleichwohl die Puffer die Termintreue der elektiven Patienten verbessert haben, verringert sich der Durchsatz an Patienten, was sich stark auf die Liegezeiten und Voruntersuchungsdauern auf den betrachteten Stationen auswirkte. Auch wenn die Notfälle nicht direkt in der Planung berücksichtigt werden, so sind diese dennoch durch das vorhandene Aufkommen indirekt in die Planung eingegangen. Dies betrifft nicht nur die Notfälle in den Herzkatheterlaboren, sondern insbesondere auch die Verlegungen von der Notaufnahmestation auf den kard. Stationen. Die hier geplanten elektiven Aufnahmen sind auf die einfließenden Verlegungen von der Notaufnahme abgestimmt und damit in der Planung berücksichtigt. Aus Sicht der Notaufnahme gibt es damit ein definiertes Kontingent¹²⁰ an Patienten, welches auf die kard. Stationen verlegt werden kann.

Mit der im Modell implementierten Möglichkeit der prästationären resp. ambulanten Abklärung von ursprünglich stationären Fällen erfolgt eine Substitution, im Sinne eines patientenorientierten Ablaufs bei gleichzeitiger Nutzenstiftung (reduzierte Bettenbelastung) für die Klinik. Hiermit wird der Maßgabe nach § 39 Abs. 1 S. 2 SGB V entsprochen, dass ein Patient, dessen medizinischer Zustand dies erlaubt, vorzugsweise ambulant untersucht und behandelt wird. Zu bedenken bleiben hierbei die medizinischen und örtlichen Voraussetzungen des Patienten, welcher in diesem Fall die Klinik zweimal aufsuchen muss sowie die sich ggf. ergebenden abrechnungstechnischen und vergütungstechnischen Hindernisse.

Nachdem die Planungsergebnisse detailliert aufgeführt und erläutert wurden, ist abschließend ein konkreter Vorschlag unterbreitet worden, wie das hier entwickelte Planungskonzept resp. die Planungsergebnisse in das Realsystem übertragen werden können.

Zurückblickend ist anzumerken, dass der für den Modellaufbau und für die Validierung erforderliche Datenbestand bei den betrachteten Krankenhäusern sehr lückenhaft und überwiegend nicht zentral verfügbar war. Um den erforderlichen Datenbestand aufzubauen, wurde zu großen Teilen auf empirische Erhebungen zurückgegriffen, welche zeitaufwendig erhoben und intensiv validiert werden mussten. Auch wenn bereichsspezifische Systeme eingesetzt werden, sollten diese in einem zentralen Datenbestand münden. Die Datengewinnung sollte gestützt werden durch eine an den Prozessen orientierte, durchgängige EDV-Integration. Der zukünftige, zentrale Datenbestand einer Klinik sollte so ausgelegt sein, dass spezifische Messkennzahlen nicht nur auf medizinische oder abrechnungstechnische

¹²⁰ Gemäß dem eingestellten Aufkommen. In der vorliegenden Arbeit wurde das tatsächliche Aufkommen aus dem Realsystem (Referenzeinrichtung 3) eingestellt.

15. Zusammenfassung & Ausblick

Belange, sondern auch bezogen auf Ablauf- und Planungseffizienz abgeleitet werden können, z.B. hinsichtlich Wartezeiten, Beginn-Ende Zeiten von Maßnahmen oder der Häufigkeit von Terminverschiebungen. Derartige Kennzahlen können auflaufende Zusatzkosten, die Gesamtperformance und zu Teilen auch die Zufriedenheit der Patienten quantifizierbar machen. Damit eine solche Datenhaltung valide ist, sollten Prüfmechanismen eingebaut und personelle Verantwortlichkeiten definiert werden. Läge ein solcher Datenbestand zukünftig vor, wird es damit auch als möglich angesehen, die zur Modellerstellung erforderlichen Prozesse und Daten direkt aus dem Datenbestand des zentralen EDV-Systems abzuleiten (Process-/Data-Mining).

Das hier entworfene Simulationsmodell hat durchaus weitere Möglichkeiten des Einsatzspektrums und Ausbaupotentiale. Auch wenn der Aufbau der einzelnen Modellbausteine recht komplex ist und die Implementierung zeitintensiv war, so spiegelt sich hierin die gängige Praxis der drei Referenzkliniken wider und macht die Bausteine damit wiederverwendbar für ähnlich gelagerte Problemstellungen. Ferner wurden in der vorliegenden Arbeit Extremszenarien, wie eintretende Katastrophen oder eine Ressourcenoptimierung, bewusst in der Betrachtung ausgeklammert. Dennoch bleibt die Möglichkeit bestehen, das vorliegende Modell auch für eben diesen Zweck zu nutzen. In Bezug auf die Terminplanung bei den elektiven Zugängen, der Terminvergabe und der OP-Planung wurde, unter Berücksichtigung der jeweiligen Ressourcenerfordernisse, mit dem „first-come, first-appointment“ eine noch recht einfache Planungsmethodik eingesetzt. So wäre im Weiteren eine Implementierung anderer Planungsmethoden (z.B. mit weiteren Abstufungen in den Priorisierungen oder der Möglichkeit für Patienten, einen späteren Termin zu wählen) und Vergleiche dieser in Bezug auf die Gesamtperformance sowie deren Zusammenspiel im Modell möglich. Ebenso wäre es vorstellbar, das vorliegende Modell auf eine gesamte Klinik auszuweiten. Inwiefern dies jedoch sinnvoll ist, bleibt zu hinterfragen.

Anzumerken ist auch, dass die Planung im Modell derzeitig zeitpunktbezogen ausgelegt ist. Es werden Eingangswerte eingestellt und hierfür möglichst optimale Planungsparameter ermittelt. Für die Zukunft könnte die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Simulation und Optimierung auch als kontinuierlicher Hintergrundprozess ausgelegt werden, welcher die einzelnen Planungsparameter fortwährend auf der Basis der sich ändernden Inputwerte anpasst.

Die vorliegende Arbeit hat aufgezeigt, dass die Optimierung mit einem Genetischen Algorithmus durchaus ihre Grenzen hat. So kann eine schlecht gewählte Fitnessfunktion zu einer schlechten Performance oder einer fehlgeleiteten Suche führen. Ebenso kann eine nicht optimale Problemkodierung zu schlechteren Ergebniswerten führen, wie sich in der vorliegenden Arbeit, in Bezug auf die fehlende Möglichkeit zur Deaktivierung von einzelnen Reservierungstypen, gezeigt hat. Bei

komplexen Problemstellungen sind solche Sachverhalte im Voraus nicht immer zu erkennen resp. bedürfen sehr viel Erfahrung.

Ferner ist zu erwähnen, dass hier über einen Ansatz von Erlösen und Kosten (Bonus/Malus) ein Gesamtwert (Ertragswert) ermittelt wurde. Die Festlegung der Werte und die Gewichtungen sind nahezu frei gewählt und auf die vorliegende Zielstellung ausgerichtet, die Patienten stärker in den Fokus zu rücken (z.B. in Bezug auf die Wartezeiten). Sie vermögen nicht abschließend die tatsächliche Zielstellung der Klinik widerzuspiegeln. Dem Sachverhalt liegt eine mehrkriterielle Optimierung zugrunde, welche durchaus auch anders aufgelöst werden könnte, z.B. durch das Aufzeigen der Paretofront. Auf dieser könnte dann die Klinik ihren Zielstellungen und Gewichtungen entsprechend die resultierenden Ergebniswerte ablesen.

Abschließend ist festzuhalten, dass in der vorliegenden Arbeit gezeigt wurde, wie eine stärkere Flussorientierung (aus Sicht der Patienten) einen Beitrag leisten kann, zu einer effizienteren, abteilungsübergreifenden Arbeitsweise. Die Prozessorganisation im Sinne der Optimierung der Patientenflüsse, die Terminierung von Aufnahmen und Maßnahmen sowie die Schaffung von Transparenz und Verlässlichkeit (Termintreue) ist in der vorliegenden Arbeit zentraler Schlüssel. Eine Klinik ist ein Gesamtsystem, deren Teilsysteme sich nicht im Bereichsdenken verlieren dürfen. Es bedarf einer kontinuierlichen fachübergreifenden Prozessverbesserung, Schaffung von Transparenz und einer Organisationsgestaltung. In diesem Zusammenhang muss es organisatorisch bedingt den verantwortlichen Ärzten bewusst sein, dass nicht nur medizinische Erfolge für ein nachhaltiges Bestehen einer Klinik von Bedeutung sind, sondern auch eine Prozess- sowie organisatorische Verantwortung besteht. Die Organisationsentwicklung ist für ein erfolgreiches Wirtschaften und zufriedene Patienten ebenso entscheidend. Dies liegt, bedingt durch die Gegebenheiten einer Expertenorganisation, in den Händen der verantwortlichen Ärzte. Daher müssen auf Seiten der Ärzte Verständnis, Know-how und Möglichkeiten geschaffen werden, diesem auch nachzukommen. Organisatorisch wäre z.B. eine Art Leitstand vorstellbar, eingesetzt zur Planung und Steuerung der Patientenflüsse. Dieser muss nicht zwangsweise durch ärztliches Personal besetzt sein, aber durch alle Beteiligten der Klinik akzeptiert werden. Dass ein Bewusstsein zur Verbesserung der Prozesse besteht, zeigen die beteiligten Referenzeinrichtungen darin, dass die vorliegende Arbeit auf breiter Front unterstützt wurde. Im nächsten Schritt gilt es zu überprüfen, ob die hier gewonnenen Erkenntnisse, z.B. in Bezug auf die Planungsmethodik, auch in der praktischen Anwendung zu den aufgezeigten Verbesserungen führen. Hier ist eine Entscheidung zur Umsetzung derzeit noch ausstehend.

Glossar

Ambulanz – ambulanter Patient

Eine Ambulanz bezeichnet innerhalb der betrachteten Einrichtungen eine Abteilung zur ambulanten ärztlichen und medizinischen Versorgung von Patienten. Es werden hier für gewöhnlich keine Notfälle betreut. Ambulant bezeichnet hierbei den Sachverhalt, dass dieser Bereich keine Betten führt, die Patienten nicht stationär behandelt werden und am Tag der ambulanten Behandlung wieder nach Hause / zu dem entsendenden Bereich entlassen werden. Unter diesem Gesichtspunkt wird hier als ambulanter Patient verstanden, wenn der Patient von außen (zu Hause, externer Klinik, anderer Fachbereich) nur zur Untersuchung/Behandlung in einen Fach-/Funktionsbereich verbracht wird und anschließend, z.B. in das ursprüngliche Krankenhaus, zur entsendenden Fachabteilung oder nach Hause zurück überführt wird. Unter der allgemeinen kardiologischen Ambulanz (in der Arbeit kardiologische Ambulanz oder nur Ambulanz bezeichnet) wird hier die kontinuierliche Einrichtung einer Ambulanz mit Spezialisierung auf kardiologische Krankheitsbilder verstanden. Patienten kommen bei Beschwerden oder zu Vor-/Nachuntersuchungen vor/nach Eingriffen, z.B. im Herzkatheterlabor, in die kard. Ambulanz.

Echokardiografie

Die echokardiographische Untersuchung gilt als eine wichtige Untersuchung im Rahmen der Abklärung von kardiologischen Erkrankungen sowie der vorbereitenden Maßnahmen für eine HKL-Untersuchung. Unter Echokardiografie wird die sonografische Untersuchung des Herzens (Ultraschall) verstanden (siehe [Pfleger et al. 2003] zur Echokardiografie). Hierbei kann eine Ultraschalluntersuchung von außen (TTE - auf dem Brustkorb aufsetzend) oder ein Schluckecho aus dem Inneren des Körpers (TEE - von der Speiseröhre aus) durchgeführt werden. Es kann von einem Ruhezustand des Patienten oder unter Stress (Medikament-/belastungsinduziert) ausgegangen werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Untersuchungsplatz mit Echo-Gerät (siehe Abb. 154).

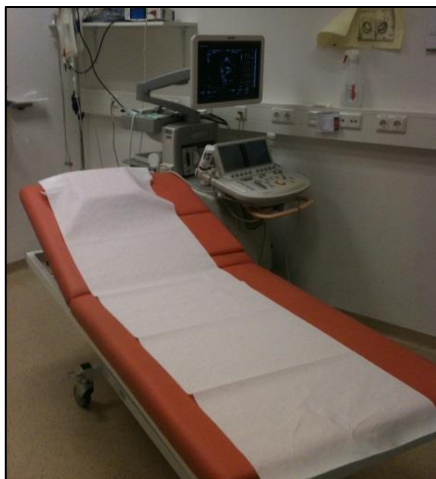


Abb. 154: Untersuchungszimmer Echokardiografie – Einrichtung 3

Elektrokardiografie

Der Funktionsbereich Elektrokardiografie befasst sich mit den elektrischen Signalen der Herzmuskel. Hauptuntersuchungsgegenstand ist auch hier das Herz. In der Elektrokardiografie werden Elektrokardiogramme (EKG) erstellt. Dies bezeichnet eine Messung und Aufzeichnung der Herzstromkurve, gelegentlich auch Herzschritt genannt (siehe [Klinge 2011] zum Elektrokardiogramm). Je nach Anforderung kann das EKG unter Belastung (Ergometer) mit und ohne Zugabe von Sauerstoff erstellt werden. Diese Untersuchung ist häufig Teil der Voruntersuchungen für eine Untersuchung im Herzkatheterlabor.

Als Ruhe-EKG wird die elektrokardiographische Untersuchung verstanden, bei der ein Patient keiner körperlichen Belastung ausgesetzt wird. Dies erfolgt gewöhnlich im Liegen (siehe Abb. 210).



Abb. 155: Ruhe-EKG – Einrichtung 2

Glossar

Unter Belastungs-EKG und Spiroergometrie wird die elektrokardiographische Untersuchung verstanden, bei der ein Patient einer körperlichen Belastung ausgesetzt wird. Dies erfolgt gewöhnlich auf einem Laufband-Ergometer oder einem Fahrrad-Ergometer (siehe Abb. 156). Spiroergometrie (kurz SPIRO) bezeichnet hierbei die zusätzliche Messung der Atemgase während der körperlichen Belastung.



Abb. 156: Belastungs-EKG mit Fahrradergometer – Einrichtung 2

Unter mobilem EKG wird das allgemeine Ruhe-EKG verstanden, welches sich dahingehend unterscheidet, dass die verwendete technische Ressource in diesem Fall ein mobiles Gerät ist. Dies wird vorwiegend auf den Stationen eingesetzt, im Zuge der regulären Aufnahme (in Einrichtung 3) oder im Falle von nicht mobilen, bettlägerigen Patienten (in Einrichtung 2).

Als Langzeit-EKG wird die elektrokardiographische Untersuchung verstanden, bei der die Patienten ein Aufzeichnungsgerät erhalten, welches über einen längeren Zeitraum die elektrischen Signale des Herzens aufzeichnet. Der elektrokardiographische Funktionsbereich wertet die Aufzeichnung im Anschluss aus. Zur Auswertung ist der Patient nicht von Nöten. Da auch das Anbringen ohne Zeitverzug, ohne terminliche Absprachen und mittels eigenen Ressourcen auf Seiten der Pflegekräfte erfolgt, wird diese Maßnahme im Sinne der Termin- und Reihenfolgeplanung nicht näher betrachtet.

Fachabteilung:

Zu den Fachabteilungen zählen u.a. die Kardiologie, Pneumologie oder die Augenheilkunde.

„Fachabteilungen sind abgegrenzte, von Ärzten und Ärztinnen mit Gebiets- oder Schwerpunktbezeichnung ständig verantwortlich geleitete Abteilungen mit besonderen Behandlungseinrichtungen.“ [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016b].

Fachabteilungen können Unterbereiche haben, wie Funktionsbereiche oder Stationen. Synonym für Fachabteilung wird in der vorliegenden Arbeit Abteilung oder Fachbereich verwendet.

Funktionsbereich

Als Funktionsbereich wird eine hierarchische Untergruppe in einer Fachabteilung verstanden, z.B. die Funktionsbereiche Echokardiografie oder Elektrokardiografie. Stationen und Ambulanzen zählen nicht in diese Gruppe. Auch die Herzkatheterlabore können zu den Funktionsbereichen gezählt werden, werden in der vorliegenden Arbeit aber als OP-Bereich abgegrenzt.

Herzkatheterlabor (HKL)

Ein Herzkatheterlabor ist ein klinischer Bereich, in dem minimalinvasive Eingriffe (mit kleinster Verletzung von Haut und Weichteilen) durch Einführen bzw. Einschweben eines Herzkatheters, unter Röntgen und Durchleuchtungskontrolle, in die Herzhöhle und die herznahen Gefäße durchgeführt werden [Hoffmann-La Roche AG 1993, S. 731 f.] (siehe [Krakau 2010] zum Herzkatheter). Hier werden nicht selten Notfälle behandelt, z.B. nach einem Herzinfarkt. Gefäßverengungen können erkannt werden und können z.B. mittels einer zu implantierenden Gefäßstütze (Stent) behoben werden (siehe Abb. 157).



Abb. 157: Untersuchungstisch im Herzkatheterlabor – Einrichtung 1

Neben dieser Art von Eingriffen gibt es die elektrophysiologischen Untersuchungen, welche teils ein eigenständiges Labor führen. Vom Aufbau sind die Labore zum regulären oben beschriebenen Herzkatheterlabor fast identisch. In den Räumen der Elektrophysiologie befinden sich hingegen Zusatzgeräte und Instrumente speziell für die elektrophysiologischen Untersuchungen, wie z.B. die Implantation oder Konfiguration eines Schrittmachers. Überwiegend wird dieser Bereich auch regulär als Herzkatheterlabor mit Spezialisierung geführt. Das HKL funktioniert ähnlich wie ein regulärer OP und hat für die kardiologische Fachabteilung eine zentrale Bedeutung¹²¹.

Labor

Für eine Untersuchung, z.B. im Herzkatheterlabor, sind u.a. Blutwerte, wie der Gerinnungsfaktor, von Belang. Daher wird den Patienten vor der Untersuchung Blut entnommen und im Labor, u.a. bezüglich der Gerinnungsfaktoren, untersucht. Das Labor wird vom Patienten nicht selber aufgesucht. Lediglich die entnommene Blutprobe wird ins Labor verbracht. Die Ergebnisse werden in einem sogenannten Blutbild dokumentiert. Die Laborwerte werden anschließend elektronisch oder in Papierform der Patientenakte zugeführt.

Notaufnahme

Neben der Zentralaufnahme, der regulären Aufnahme von Patienten, gibt es die interdisziplinäre Notaufnahme, hier werden Notfallpatienten aufgenommen, welche z.B. mit dem Rettungswagen oder dem Hubschrauber (von extern) in die Klinik gebracht werden. Patienten werden teils stationär in der Notaufnahme untergebracht, bis ein Zimmer/Bett in einer regulären Station oder der Intensivstation frei ist. In sehr dringenden Fällen werden Patienten von hier direkt in den OP oder das Herzkatheterlabor zur Behandlung gebracht.

Patientenakte

Die Patientenakte ist eine personenbezogene Datensammlung über einen Patienten. Sie beinhaltet die Stammdaten, wie Name, Geschlecht, Geburtsjahr. Darüber hinaus beinhaltet diese u.a. eine Anamnese (Patientengeschichte mit Vorerkrankungen, Umfeld, Erkrankungen der Eltern etc.). Während der Behandlung oder des stationären Aufenthaltes werden Untersuchungsergebnisse, Arztbriefe, Laborbefunde, Medikationen etc. in der Patientenakte abgelegt resp. vermerkt. Die Patientenakte kann elektronisch - allzeit verfügbar über ein EDV-System, oder in Papierform vorliegen.

¹²¹ Das Herzkatheterlabor wird in den klinischen Einrichtungen als eine Art Profit-Center gesehen, wo nach Aussage der zuständigen leitenden Ärzte ein Großteil des Umsatzes gemacht wird.

Station – stationärer Patient

Stationen sind Räumlichkeiten in der klinischen Einrichtung, welche bereitgestellt sind, um Patienten über einen längeren Zeitraum unterzubringen, medizinisch zu versorgen und zu verpflegen. Ein Patient, welcher auf einer Station aufgenommen wurde, wird als stationärer Patient bezeichnet. Stationen können fachbereichsbezogen spezialisiert sein, wie eine kardiologische Station auf kardiologische Krankheitsbilder ausgerichtet ist, oder sich in der Intensität der Betreuung unterscheiden. So wird in Intensivstationen (intensive-care), Überwachungsstationen (intermediate-care) und Normalstationen unterschieden. Auf den Stationen ist eine 24-stündige Betreuung der Patienten an 7 Tagen der Woche gewährleistet. Der Umfang an Spezialgeräten und fachspezifischem Personal ist auf ärztlicher und pflegerischer Seite auf den Intensiv- oder Überwachungsstationen im Verhältnis zu der Anzahl betreuter Patienten höher.

Termintreue

Die Termintreue bezeichnet die betragsmäßige (positive) Abweichung von einem gesetzten Termin. Hierbei gilt eine zeitlich zu frühe wie auch eine zu späte Durchführung einer Maßnahme als Terminabweichung.

Zentralaufnahme

Als Zentralaufnahme wird jener zentrale, erste Anlaufpunkt bezeichnet, bei der sich Patienten in der klinischen Einrichtung anmelden, um z.B. stationär aufgenommen zu werden. Es wird hierbei u.a. ein Eintrag im EDV-System vorgenommen und gewisse mitgebrachte Dokumente überprüft und ggf. entgegengenommen. Die Zentralaufnahme grenzt sich hierdurch z.B. von der Aufnahme auf der Station ab, wo die Patientenakte i.d.R. bereits vorliegt oder vom Patienten mitgebracht wird.

Literaturverzeichnis

[Adan & Vissers 2002]

Adan, I.; Vissers, J. M. H.: Patient mix optimisation in hospital admission planning: a case study. In: International Journal of Operations & Production Management (2002), Vol. 22 Iss: 4, S. 445–461.

[Alves et al. 2006]

Alves, F. S. R.; Guimaraes, K. F.; Fernandes, M. A.: Modeling workflow systems with genetic planner and scheduler. In: Proceedings of 18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'06) (2006), S. 381–388.

[Amelung et al. 2004]

Amelung, V.; Schumacher, H.; Amelung, A.: Managed Care: Neue Wege im Gesundheitsmanagement, Gabler [u.a.] Wiesbaden, 2004.

[Ammon 2006]

Ammon, D.: Konzipierung und Realisierung einer Software zum Import von ARIS-Modellen im MLDesigner, Diplomarbeit, Univ.-Bibl, Ilmenau, 2006.

[Anthony 1965]

Anthony, R. N.: Planning and control systems, Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, 1965.

[Antonisse 1989]

Antonisse, J.: A new interpretation of schema notation that overturns the binary encoding constraint. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms (1989), S. 86–91.

[Applegate & Cook 1991]

Applegate, D.; Cook, W.: A computational study of the job-shop scheduling problem. In: ORSA Journal on Computing (1991), Vol. 3 No. 2, S. 149–156.

[Arezki et al. 2012]

Arezki, M.; Namane, A.; Benallal, A.; Meyrueis, P.; Berkani, D.: Fast Adaptive Filtering Algorithm for Acoustic Noise Cancellation. In: Ao, S. I.; Gelman, L.; Hukins, D.; Hunter, A.; Korsunsky, A. M. (Hrsg.): Proceedings of the World Congress on Engineering, 2012, S. 1147–1151.

[Aringhieri et al. 2015]

Aringhieri, R.; Landa, P.; Soriano, P.; Tànfani, E.; Testi, A.: A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem. In: Computers & operations research and their applications to problems of world concern ; an international journal, 54 (2015) (2015), pp. 21–34.

[Augurzky et al. 2012]

Augurzky, B.; Krolow, S.; Weiler, S.: Pressemitteilung zum Krankenhaus Rating Report 2012: Immer mehr Kliniken im „roten Bereich“, <http://www.rwi-essen.de/presse/mitteilung/89/>; Zugriff am 16.06.2012.

[Augurzky et al. 2015]

Augurzky, B.; Weiler, S.; Krolow, S.: Krankenhaus Rating Report 2015: Kurzfristig höhere Erträge, langfristig große Herausforderungen, <http://www.rwi-essen.de/presse/mitteilung/198/>; Zugriff am 23.09.2015.

- [Bäck 1992]
Bäck, T.: Self-Adaption in Genetic Algorithms. In: Proceedings of the 1st European Conference on Artificial Life (1992), S. 263–271.
- [Bäck et al. 1993]
Bäck, T.; Rudolph, G.; Schwefel, H. P.: Evolutionary Programming and Evolution Strategies: Similarities and Differences. In: Fogel, D. B.; Atmar, W. (Hrsg.): Proceedings of the Second Annual Conference on Evolutionary und Programming, San Diego, 1993, S. 11–22.
- [Bäck 1993]
Bäck, T.: Optimal mutation rates in genetic search. In: Forrest, S. (Ed.), Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms (1993), S. 2–8.
- [Bäck 1996]
Bäck, T.: Evolutionary algorithms in theory and practice: Evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms, Oxford Univ. Press, New York, 1996.
- [Baetge 1974]
Baetge, J.: Betriebswirtschaftliche Systemtheorie: Regelungstheoretische Planungs-Überwachungsmodelle für Produktion, Lagerung und Absatz, Westdeutscher Verlag, Opladen, 1974.
- [Bailey 1952]
Bailey, N. T. J.: A Study of Queues and Appointment Systems in Hospital Out-Patient Departments, with Special Reference to Waiting-Times. In: Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) (1952), Vol. 14 No. 2, S. 185–199.
- [Becker et al. 1995]
Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik (1995), Jg. 37 Nr. 5, S. 435–445.
- [Bekker & Koeleman 2011]
Bekker, R.; Koeleman, P. M.: Scheduling admissions and reducing variability in bed demand. In: Health Care Management Science (2011), Vol. 14 Is. 3, S. 237–249.
- [Berekoven 1983]
Berekoven, L.: Der Dienstleistungsmarkt in der Bundesrepublik Deutschland: Theoretische Fundierung und empirische Analyse, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1983.
- [Bernardetta et al. 2014]
Bernardetta, A.; Giuliana, C.; Elena, T.: A robust optimization approach for the Advanced Scheduling Problem with uncertain surgery duration in Operating Room Planning - an extended analysis, HAL Id: hal-00936019, 2014.
- [Bertalanffy et al. 1973]
Bertalanffy, L. von; Ericson, R. F.; Kast, F. E.; Rosenzweig, J. E.: General systems theory. In: Academy of Management journal (1973), Vol. 15 Is. 4, S. 407–510.
- [Beyer 1993]
Beyer, H.-G.: Towards a Theory of 'Evolution Strategies': Some asymptotical results from the (1+,1) theory [(1+,lambda)] Theory. In: Evolutionary Computation (1993), Vol. 1 No. 2, S. 165–188.
- [Biethahn 1978]
Biethahn, J.: Optimierung und Simulation: Anwendung verschiedener

Literaturverzeichnis

- Optimierungsverfahren auf ein stochastisches Lagerhaltungsproblem, Gabler, Wiesbaden, 1978.
- [Blake & Carter 1997]
Blake, J.; Carter, M. W.: Surgical process scheduling: a structured review. In: Journal of the Society for Health Systems (1997), Vol. 5 No. 3, S. 17–30.
- [Bossel 2004]
Bossel, H.: Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme, Books on Demand, Norderstedt, 2004.
- [BQS 2008]
BQS: BQS-Qualitätsreport 2008, <http://www.bqs-qualitaetsreport.de/>; Zugriff am 29.01.2012.
- [BQS 2012]
BQS: BQS-Institut, <http://www.bqs-institut.de/>; Zugriff am 29.01.2012.
- [BR Online 2011]
BR Online: Klinikskandal - Missstände durch Sparzwang?, 2011.
- [Bradley 1968]
Bradley, J. V.: Distribution-free statistical tests, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1968.
- [Branke 2001]
Branke, J.: Evolutionary Approaches to Dynamic Optimization Problems: updated survey. In: GECCO Workshop on Evolutionary Algorithms for Dynamic Optimization Problems (2001), S. 27–30.
- [Braun von Reinersdorff 2007]
Braun von Reinersdorff, A.: Strategische Krankenhausführung: Vom Lean Management zum Balanced Hospital Management, Huber, Bern, 2007.
- [Brendel & Stein 2009]
Brendel, T.; Stein, T.: RFID in der Krankenhauslogistik. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik (2009), Jg. 46 Nr. 266, S. 108–116.
- [Brettel 1999]
Brettel, M.: Krankenhauslogistik. In: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik: Management von Material- und Warenflußprozessen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1999, S. 764–774.
- [Brownson & Dowd 1997]
Brownson, K.; Dowd, S. B.: Floating: a nurse's nightmare? In: The Health Care Supervisor (1997), Vol. 15 Is. 3, S. 10–15.
- [Brucker et al. 1994]
Brucker, P.; Jurisch, B.; Sievers, B.: A Branch and Bound Algorithm for Job-Shop Scheduling Problem. In: Discrete Applied Mathematics (1994), 49, S. 105–127.
- [Brunner & Munzel 2013]
Brunner, E.; Munzel, U.: Nichtparametrische Datenanalyse: Unverbundene Stichproben, Springer Spektrum, Berlin, 2013.
- [Bundesministerium der Justiz 2013a]
Bundesministerium der Justiz: Das Fünfte Sozialgesetzbuch - Gesetzliche

Krankenversicherung, http://www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/index.html; Zugriff am 05.07.2013.

[Bundesministerium der Justiz 2013b]

Bundesministerium der Justiz: Gesetz zur wirtschaftlichen Sicherung der Krankenhäuser und zur Regelung der Krankenhauspflegesätze (Krankenhausfinanzierungsgesetz - KHG), <http://www.gesetze-im-internet.de/khg/index.html>; Zugriff am 05.07.2013.

[Büning & Trenkler 1994]

Büning, H.; Trenkler, G.: Nichtparametrische statistische Methoden: [das Buch enthält 69 Tabellen] de Gruyter, Berlin, 1994.

[Cardoen et al. 2009]

Cardoen, B.; Demeulemeester, E.; Beliën, J.: Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem. In: *International Journal of Production Economics* (2009), Vol. 119 Is. 2, S. 354–366.

[Cardoen et al. 2010]

Cardoen, B.; Demeulemeester, E.; Beliën, J.: Operating room planning and scheduling: A literature review. In: *European Journal of Operational Research* (2010), Vol. 201 Is. 3, S. 921–932.

[Carlier & Pinson 1989]

Carlier, J.; Pinson, E.: An Algorithm for Solving the Job Shop Problem. In: *Management science* (1989), Vol. 35 No. 2, S. 164–176.

[Cavill et al. 2005]

Cavill, R.; Smith, S.; Tyrrell, A.: Multi-Chromosomal Genetic Programming. In: *Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)*, Washington D.C. (2005), S. 1753–1759.

[Cayirli & Veral 2003]

Cayirli, T.; Veral, E.: Outpatient scheduling in health care: a review of literature. In: *Production and Operations Management* (2003), Vol. 12 Is. 4, S. 519–549.

[Chaabane et al. 2008]

Chaabane, S.; Meskens, N.; Guinet, A.; Laurent, M.: Comparison of two methods of operating theatre planning: Application in Belgian hospitals. In: *Journal of Systems Science and Systems Engineering* (2008), Vol. 17 No. 2, S. 171–186.

[Chen & Robinson 2011]

Chen, R. R.; Robinson, L. W.: Sequencing and Scheduling Appointments with Potential Call-In Patients, (working paper), http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1871125; Zugriff am 18.04.2013.

[Cohen et al. 1980]

Cohen, M. A.; Hershey, J. C.; Weiss, E. N.: Analysis of Capacity Decisions for Progressive Patient Care Hospital Facilities. In: *Health Service Research* (1980), Vol. 15 Is. 2, S. 145–160.

[Cox et al. 1985]

Cox, T. F.; Birchall, J. P.; Wong, H.: Optimising the queuing system for an ear, nose and throat outpatient clinic. In: *Journal of Applied Statistics* (1985), Vol. 12 Is. 2, S. 113–126.

Literaturverzeichnis

- [Davidor 1991]
Davidor, Y.: Genetic Algorithms And Robotics: A Heuristic Strategy For Optimization, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapur, 1991.
- [Davis 1991] *Davis, L.* (Hrsg.): Handbook of genetic algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [De Jong 1975]
De Jong, K. A.: An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive, Ph.D. thesis, Michigan, 1975.
- [De Jong & Sarma 1993]
De Jong, K. A.; Sarma, J.: Generation Gaps Revisited. In: Whitley, L. (Hrsg.): Foundations of Genetic Algorithms 2. Morgan Kaufmann, San Mateo/CA, 1993, S. 19–28.
- [Dellaert & Jeunet 2010]
Dellaert, N.; Jeunet, J.: Hospital admission planning to optimize major resources utilization under uncertainty, Working Report, Eindhoven (NL), 2010.
- [Deutsches Institut für Normung 2014]
Deutsches Institut für Normung: DIN IEC 60050-351:2013: Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik, 2014.
- [Deutsches Krankenhaus Institut 2015]
Deutsches Krankenhaus Institut: Krankenhaus Barometer 2015; Zugriff am 18.03.2016.
- [Dinkelbach 1980]
Dinkelbach, W.: Entscheidungsmodelle. In: Grochla, E.; Thom, N. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Poeschel, Stuttgart, 1980, Sp. 623 ff.
- [Domschke et al. 1993]
Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.: Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte, Springer, Berlin, 1993.
- [Domschke et al. 2011]
Domschke, W.; Drexl, A.: Domschke-Drexl: Einführung in Operations Research, Springer, Berlin, 2011.
- [Ducrocq 1959]
Ducrocq, A.: Die Entdeckung der Kybernetik: Über Rechenanlagen, Regelungstechnik und Informationstheorie, Europ. Verl.-Anst, Frankfurt am Main, 1959.
- [Duden 2013]
Duden: Wortdefintion "übergreifend",
<http://www.duden.de/rechtschreibung/uebergreifend>; Zugriff am 20.02.2013.
- [Eckardt 2006]
Eckardt, J.: Was sind integrierte Behandlungspfade (IBP)?: Praxishandbuch Integrierte Behandlungspfade. Economica [u.a.] Heidelberg [u.a.] 2006, S. 9–37.
- [Eichhorn & Schmidt-Rettig 2000]
Eichhorn, S.; Schmidt-Rettig, B.: Notwendigkeit und Empfehlungen für einen Paradigmenwechsel der Leitungsorganisation des Krankenhauses. In: Eichhorn, P. v.; Seelos, P.; Graf Schulenburg, J.-M. von der (Hrsg.): Krankenhausmanagement. Urban und Fischer, München, Jena, 2000, S. 1–33.

- [Eiff & Ziegenbein 2001]
Eiff, W. von; Ziegenbein, R.: Entwicklung von Prozeßmodellen im Krankenhaus. In: Eiff, W. von; Ziegenbein, R. (Hrsg.): Geschäftsprozeßmanagement: Methoden und Techniken für das Management von Leistungsprozessen im Krankenhaus. Verl. Bertelsmann-Stiftung, Gütersloh, 2001, S. 55–81.
- [Fetter & Thompson 1966]
Fetter, R. B.; Thompson, J. D.: Patients' Waiting Time and Doctors' Idle Time in the Outpatient Setting. In: Health Service Research (1966), Vol. 1 No. 1, S. 66–90.
- [Fischer & Thomson 1963]
Fischer, H.; Thomson, G. L.: Probabilistic Learning Combinations of Local Job-Shop Scheduling Rules. In: Thomson, G. L.; Muth, J. L. (Hrsg.): Industrial Scheduling, New Jersey, 1963, S. 225–251.
- [Fitzpatrick & Grefenstette 1988]
Fitzpatrick, J. M.; Grefenstette, J. J.: Genetic Algorithms in Noisy Environments. In: Machine Learning (1988), Vol. 3, S. 101–120.
- [Flechtner 1970]
Flechtner, H.-J.: Grundbegriffe der Kybernetik: Eine Einführung, Wiss. Verl.-Ges, Stuttgart, 1970.
- [Fleßa 2013]
Fleßa, S.: Grundzüge der Krankenhausbetriebslehre, Oldenbourg, München, 2013.
- [Fleßa & Nickel 2008]
Fleßa, S.; Nickel, S.: Grundzüge der Krankenhaussteuerung, Oldenbourg, München, 2008.
- [Focus Online 2009]
Focus Online: 7 Tote, viele Verletzte – Prozess um Klinik-Skandal,
http://www.focus.de/panorama/welt/prozesse-7-tote-60-verletzte-prozess-um-klinik-skandal_aid_436487.html; Zugriff am 28.01.2012.
- [Fogarty 1989]
Fogarty, T. C.: Varying the probability of mutation in the genetic algorithm. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms (1989), S. 104–109.
- [Fogel et al. 1966]
Fogel, L. J.; Owens, A. J.; Walsh, M. J.: Artificial intelligence through simulated evolution, Wiley, New York, 1966.
- [Forrest 1993]
Forrest, S.: Genetic Algorithms: Principles of Natural Selection Applied to Computation. In: Science (1993), Vol. 261 Is. 5123, S. 872–878.
- [Frankfurter Allgemeine 2016]
Frankfurter Allgemeine: Südhessischer Klinikverbund beantragt Insolvenzverfahren,
<http://www.faz.net/-gzzg-8dna5>.
- [Gais et al. 1991]
Gais, U.; Patzina, P.; Adler, U.: Simulieren geht über probieren: Einführung in die Simulation für den betriebswirtschaftlichen Praktiker anhand eines Petri-Netz-gestützten Werkzeugs, Vahlen, München, 1991.

Literaturverzeichnis

- [Gemmel & van Dierdonck 1999]
Gemmel, P.; van Dierdonck, R.: Admission scheduling in acute care hospitals: does the practice fit with the theory. In: *International Journal of Operations & Production Management* (1999), Vol. 19 Is. 9, S. 863–871.
- [Gerdes et al. 2004]
Gerdes, I.; Klawonn, F.; Kruse, R.: Evolutionäre Algorithmen: Genetische Algorithmen - Strategien und Optimierungsverfahren - Beispielanwendungen ; [mit Online-Service zum Buch] Vieweg, Wiesbaden, 2004.
- [Ghazalbash et al. 2012]
Ghazalbash, S.; Sepehri, M. M.; Shadpour, P.; Atighehchian, A.: Operating Room Scheduling in Teaching Hospitals. In: *Advances in Operations Research* (2012), Vol. 2012, S. 1–16.
- [Giffler & Thomson 1960]
Giffler, B.; Thomson, G. L.: Algorithms for Solving Production-Scheduling Problems. In: *Operations Research* (1960), Vol. 8 No. 4, S. 487–503.
- [Gmilkowsky 1995]
Gmilkowsky, P.: Produktionsfaktor Information. In: Schipanski, D.; Palleduhn, D. (Hrsg.): *Produktionsfaktor Information: 6. Ilmenauer Wirtschaftsforum*, 26. Oktober 1995. Techn. Univ. Fak. für Wirtschaftswiss, Ilmenau, 1995, S. 1–11.
- [Goldberg 1989]
Goldberg, D. E.: Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Addison-Wesley, Reading, Mass, 1989.
- [Gonçalves et al. 2002]
Gonçalves, J. F.; Magalhães, M. J. J. de; Resende, M. G. C.: A Hybrid Genetic Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem: AT&T Labs Research Technical Report TD-5EAL6J; Zugriff am 28.05.2012.
- [Gonçalves & Resende 2011]
Gonçalves, J. F.; Resende, M. G. C.: A parallel multi-population genetic algorithm for a constrained two-dimensional orthogonal packing problem. In: *Journal of Combinatorial Optimization* (2011), Vol. 22 Is. 2, S. 180–201.
- [González 2007]
González, T. F.: Handbook of approximation algorithms and metaheuristics, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Fla, 2007.
- [Gordon 1972]
Gordon, G.: Systemsimulation, Oldenbourg, München, 1972.
- [Green et al. 2006]
Green, L. V.; Savin, S. V.; Wang, B.: Managing Patient Service in a Diagnostic Medical Facility. In: *Operations Research* (2006), Vol. 54 No. 1, S. 11–26.
- [Grefenstette 1986]
Grefenstette, J. J.: Optimization of control parameters for genetic algorithms. In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* (1986), Vol. 16 No. 1, S. 122–128.
- [Greiling 2000]
Greiling, D.: Rahmenbedingungen krankenhausbezogenen Unternehmensmanagements. In: Eichhorn, P. v.; Seelos, P.; Graf Schulenburg, J.-M. von der (Hrsg.): *Krankenhausmanagement*. Urban und Fischer, München, Jena, 2000, S. 69–104.

- [Greiling 2004]
Greiling, M.: Pfadmanagement im Krankenhaus: Führen mit Kennzahlensystemen. In: Krankenhaus Umschau KU Spezial (2004), Band 24 Nr. 5, S. 21–23.
- [Greiling 2007]
Greiling, M.: Patientenbehandlungspfade optimieren - Prozessmanagement im Krankenhaus, Baumann, Kulmbach, 2007.
- [Günther & Tempelmeier 1995]
Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktionsmanagement: Einführung mit Übungsaufgaben ; mit 233 Tabellen, Springer, Berlin [u.a.] 1995.
- [Gupta 2007]
Gupta, D.: Surgical suites operations management. In: Production and Operations Management (2007), Vol. 16 Is. 6, S. 689–700.
- [Gupta & Wang 2012]
Gupta, D.; Wang, W.-Y.: Patient Appointments in ambulatory Care. In: Hall, R. (Hrsg.): Handbook of Healthcare System Scheduling. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht London, 2012, S. 65–104.
- [Gutenberg 1965]
Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre: Erster Band - Die Produktion, Berlin, Heidelberg, New York, 1965.
- [Haberfellner & Daenzer 2002] *Haberfellner, R.; Daenzer, W. F.* (Hrsg.): Systems Engineering: Methodik und Praxis, Verl. Industrielle Organisation, Zürich, 2002.
- [Hackl 2000]
Hackl, R.: Optimierung von Reihenfolgeproblemen mit Hilfe Genetischer Algorithmen, Dissertation, Regensburg, 2000.
- [Hammel & Bäck 1994]
Hammel, U.; Bäck, T.: Evolution strategies on noisy functions: How to improve convergence properties. In: Parallel Problem Solving from Nature — PPSN III, Lecture Notes in Computer Science (1994), Vol. 866, S. 159–168.
- [Hammel & Bäck 1998]
Hammel, U.; Bäck, T.: Optimierung in der Simulation: Evolutionäre Algorithmen, Univ. SFB 531, Dortmund, 1998.
- [Helbing 2008]
Helbing, D.: Konzeption und Realisierung eines Konverters zur Übertragung von MoBimeP-Strukturen als Referenzen für MLDesigner-Modelle, Diplomarbeit, Ilmenau, 2008.
- [Helm et al. 2010]
Helm, J. E.; Lapp, M.; See, B. D.: Characterizing an effective hospital admissions scheduling and control management system: A genetic algorithm approach. In: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference (WSC) (2010), S. 2387–2398.
- [Helm & van Oyen 2014]
Helm, E. J.; van Oyen, M. P.: Design and Optimization Methods for Elective Hospital Admissions, Operations research the journal of the Operations Research Society of America (2014), 62 6, S. 1265–1282.
- [Hesser & Männer 1991]
Hesser, J.; Männer, R.: Towards an Optimal Mutation Probability for Genetic

Literaturverzeichnis

- Algorithms. In: Proceedings of 1st workshop Parallel problem solving from nature (1991), S. 23–32.
- [Hevner et al. 2004]
Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.: Design research in information systems research. *MIS Quarterly*, 28, 1 (2004), 75–105. 21. Hickey, A.M., and Davis, A.M. A. In: *MIS Quarterly* (2004), 28 1, S. 75–105.
- [Hillier & Lieberman 1997]
Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.: Operations Research: Einführung, Oldenbourg, München, 1997.
- [Hillier & Lieberman 2010]
Hillier, F. S.; Lieberman, G. J.: Introduction to operations research, McGraw-Hill, Boston, 2010.
- [Hinterding 1997]
Hinterding, R.: Self-adaptation using multi-chromosomes. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (1997) Indianapolis, S. 87–91.
- [Ho & Lau 1992]
Ho, C.-J.; Lau, H.-S.: Minimizing Total Cost in Scheduling Outpatient Appointments. In: *Management science* (1992), Vol. 38 No. 12, S. 1750–1763.
- [Hoffmann & Wolfe 1992]
Hoffmann, A. J.; Wolfe, P.: History. In: Lawler, E. L.; Lenstra, J. K.; Rinnoy Kan, A. H. G.; Shmoys, D. B. (Hrsg.): *The traveling salesman problem: A guided tour of combinatorial optimization*. Wiley, Chichester, 1992, S. 1–16.
- [Hoffmann-La Roche AG 1993]
Hoffmann-La Roche AG: *Roche-Lexikon Medizin*, Von der Hoffmann-La Roche AG u. Urban & Schwarzenberg, München [u.a.] 1993.
- [Holland 1975]
Holland, J. H.: *Adaption in natural and artificial systems: An introd. analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1975.
- [Hutzschenreuter et al. 2008]
Hutzschenreuter, A. K.; Bosman, P. A. N.; Blonk-Altena, I.; Aarle, J. v.; Poutré, H. L.: Agent-based Patient Admission Scheduling in Hospitals. In: Padgham, L.; Parkes; D., C.; Müller, J. P.; Parsons, S. (Hrsg.): *Proceedings of the Seventh International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - AAMAS*, Estoril in Portugal, 2008, S. 45–54.
- [Janikow & Michalewicz 1991]
Janikow, C. Z.; Michalewicz, Z.: An experimental comparison of binary and floating point representations in genetic algorithms. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Genetic Algorithms*, (1991), S. 151–157.
- [Jebali & Diabat 2015]
Jebali, A.; Diabat, A.: A stochastic model for operating room planning under capacity constraints. In: *International journal of production research* (2015), 53 24, S. 7252–7270.
- [Juliff 1993]
Juliff, K.: A multi-chromosome genetic algorithm for pallet loading. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms* (1993), S. 467–473.

- [Jünemann & Daum 1989]
Jünemann, R.; Daum, M.: Materialfluß und Logistik: Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen, Springer, Berlin, 1989.
- [Kanaga et al. 2010]
Kanaga, G. M. E.; Valarmathi, M. L.; Murali, J. A.: Agent Based Patient Scheduling Using Heuristic Algorithm. In: International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE) (2010), Vol. 02 No. 1, S. 69–75.
- [Kanaga & Valarmathi 2012]
Kanaga, G. M. E.; Valarmathi, M. L.: Multi-agent based Patient Scheduling Using Particle Swarm Optimization. In: Procedia Engineering: International Conference on Communication Technology and System Design 2011 (2012), Vol. 30, S. 386–393.
- [Keller et al. 1992]
Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)", Inst. für Wirtschaftsinformatik Univ, Saarbrücken, 1992.
- [Kerati et al. 2009]
Kerati, S.; Moudani, W. E. L.; Coligny, M. de; Mora-Camino, F.: A Heuristic Genetic Algorithm Approach for the Airline Crew Scheduling Problem. In: IEEE Congress on Evolutionary Computation (2009), S. 1383–1390.
- [Kinnebrock 1994]
Kinnebrock, W.: Neuronale Netze: Grundlagen, Anwendungen, Beispiele, Oldenbourg, München, 1994.
- [Kirn et al. 2001]
Kirn, S.; Heine, C.; Petsch, M.; Puppe, F.; Klügl, F.; Herrler, R.: Partiiell-globales Scheduling von Logistikprozessen: Modell und Optimierungsstrategien für ein Multiagentensimulationssystem in der akut-stationären Versorgung. In: Proceedings des 4.Kolloquiums des DFG-Schwerpunktprogrammes "Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien", Bonn (2001).
- [Klaas 2009]
Klaas, V.: RFID macht Fast-Food aus Krankenhausesen: Funkchips automatisieren Warentransport und Krankenhauslogistik. In: Ident: Das führende Anwendermagazin für automatische Datenerfassung & Identifikation (2009), Jg. 14 Nr. 3, S. 36–37.
- [Klassen & Rohleder 1996]
Klassen, K. J.; Rohleder, T. R.: Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. In: Journal of Operations Management (1996), Vol. 14 Is. 2, S. 83–101.
- [Klein et al. 2004]
Klein, R.; Kupsch, F.; Scheer, A.-W.: Modellierung interorganisationaler Prozesse mit Ereignisgesteuerten Prozessketten, Nr. 178, ISSN: 1438-5678, 2004.
- [Klinge 2011]
Klinge, R.: Das Elektrokardiogramm: Leitfaden für Ausbildung und Praxis ; 15 Tabellen ; [mit 200 Übungsaufgaben] Thieme, Stuttgart [u.a.] 2011.
- [Kloos 2014]
Kloos, O.: Generierung von Simulationsmodellen auf der Grundlage von Prozessmodellen: Ein Transformationsmodell Ansatz, Dissertationsschrift, Ilmenau, 2014.

Literaturverzeichnis

[Knoeff 2010]

Knoeff, T.: Operating room scheduling: An evaluation of alternative scheduling approaches to improve OR efficiency and minimize peak demands for ward beds at SKB Winterswijk, Masterarbeit, Enschede, 2010.

[Koch 2011]

Koch, S.: Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM, Springer, Berlin, 2011.

[Körner 2009]

Körner, J.: Patientenlogistik als Instrument zur Prozessoptimierung im Krankenhaus: Komplexität - Logistik - Strategien, Masterarbeit, GRIN Verlag, 2009.

[Kosturiak & Gregor 1995]

Kosturiak, J.; Gregor, M.: Simulation von Produktionssystemen, Springer, Wien, 1995.

[Koza 1989]

Koza, J. R.: Hierarchical genetic algorithms operating on populations of computer programs. In: Proceedings of the 11th international joint conference on Artificial intelligence (1989) Vol. 1, S. 768–774.

[Krakau 2010]

Krakau, I.: Das Herzkatheterbuch: Diagnostische und interventionelle Kathetertechniken, Thieme, Stuttgart, 2010.

[Krallmann et al. 1999]

Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N.: Systemanalyse im Unternehmen: Partizipative Vorgehensmodelle, objekt- und prozeßorientierte Analysen, flexible Organisationsarchitekturen, Oldenbourg, München, 1999.

[Kriegel 2007]

Kriegel, J.: Was tun gegen die logistische Fettleibigkeit? In: Krankenhaus Umschau (2007), Jg. 76 Nr. 7, S. 598–601.

[Kriegel et al. 2009]

Kriegel, J.; Jehle, F.; Seitz, M.: Der schnelle Patient: Innovationen für die Patientenlogistik in Krankenhäusern, Fraunhofer-Verl, Stuttgart, 2009.

[Kriegel 2012]

Kriegel, J.: Krankenhauslogistik: Innovative Strategien für die Ressourcenbereitstellung und Prozessoptimierung im Krankenhauswesen, Springer-Gabler, Wiesbaden, 2012.

[Krüger 1975]

Krüger, S.: Simulation: Grundlagen, Techniken, Anwendungen, de Gruyter, Berlin, 1975.

[Krumnow et al. 2008]

Krumnow, S.; Decker, G.; Weske, M.: Modellierung von EPKs im Web mit Oryx. In: Loos, P.; Nüttgens, M.; Turowski, K.; Werth, D. (Hrsg.): Proceedings of the Workshops colocated with the MobIS2008 conference: including EPK2008, KobAS2008 and ModKollGP2008. Saarbrücken, 2008, S. 5–17.

[Kühn 2006]

Kühn, M.: Simulation und Optimierung einer Tagesklinik: Simulationsstudie mit dem MLDesigner, Diplomarbeit, Ilmenau, 2006.

[Kühn 2007]

Kühn, M.: Process simulation for significant efficiency gains in clinical departments - a

practical example of a cancer clinic. In: Scharff, P. (Hrsg.): Proceedings of 52nd international scientific colloquium, Ilmenau, 2007, S. 305–310.

[Kühn et al. 2012]

Kühn, M.; Baumann, T.; Salzwedel, H.: Genetic algorithm for process optimization in hospitals. In: Troitzsch, Möhring et al. (Hg.): Proceedings 26th European Conference on Modelling and Simulation (2012), S. 103–107.

[Kühn et al. 2013a]

Kühn, M.; Lippold, J.; Salzwedel, H.: Automatic transformation of hospital processes into executable model with EPML. In: International Journal of Computer Applications (2013), Vol. 80 No. 9, S. 20–30.

[Kühn et al. 2013b]

Kühn, M.; Severin, T.; Salzwedel, H.: Variable Mutation Rate at Genetic Algorithms: Introduction of Chromosome Fitness in Connection with Multi-Chromosome Representation. In: International Journal of Computer Applications (2013), Vol. 72 No. 17, S. 31–38.

[Kühnle 2000]

Kühnle, S.: Lernende Organisationen im Gesundheitswesen: Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen, Dissertation, Dt. Univ.-Verl. [u.a.] Wiesbaden, 2000.

[Küll & Stähly 1999]

Küll, R.; Stähly, P.: Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten. In: Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B.; Stähly, P.; Witte, T. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: State of the Art und neuere Entwicklungen; mit 20 Tabellen. Physica-Verl, Heidelberg, 1999, S. 1–21.

[Landau & Binder 2009]

Landau, D. P.; Binder, K.: A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2009.

[Langner et al. 1997]

Langner, P.; Schneider, C.; Wehler, J.: Prozeßmodellierung mit Ereignisgesteuerten Prozeßketten (EPKs) und Petri-Netzen. In: Wirtschaftsinformatik (1997), Jg. 39 Nr. 5, S. 479–489.

[Law 2015]

Law, A. M.: Simulation modeling and analysis, McGrawHill Education, New York, NY, 2015.

[Law & Kelton 1982]

Law, A. M.; Kelton, W. D.: Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, New York, 1982.

[Leidl 1987]

Leidl, R.: Die fallbezogene Spezifikation des Krankenhausprodukts: Ein methodischer und empirischer Beitrag, Springer, Berlin, 1987.

[Lenstra & Rinnoy Kan 1979]

Lenstra, J. K.; Rinnoy Kan, A. H. G.: Computational complexity of discrete optimisation problems. In: Annals of Discrete Mathematics (1979), Vol. 4, S. 121–140.

[Lieb 2004]

Lieb, N.: Aufgaben, Anforderungen und Auswahl leitender Ärzte: Assessment Center als Beitrag zur Managemententwicklung im Krankenhaus, Dissertation, Baumann, Kulmbach, Bielefeld, 2004.

Literaturverzeichnis

[Liebl 1995]

Liebl, F.: Simulation: Problemorientierte Einführung, Oldenbourg, München, 1995.

[Lin 2015]

Lin, C. K.: An adaptive scheduling heuristic with memory for the block appointment system of an outpatient specialty clinic. In: International journal of production research (2015), 53 24, S. 7488–7516.

[Lippold 2014]

Lippold, J.: Aufbau eines prozessorientierten Simulationsmodells für klinische Einrichtungen zur abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung, Diplomarbeit, Ilmenau, 2014.

[Little 1991]

Little, A. D.: Logistics in Service Industries: prepared by Arthur D. Little and the Pennsylvania State University, Center of Logistics Research, for the Council of Logistics Management, 1991.

[Liu 2016]

Liu, N.: Optimal Choice for Appointment Scheduling Window under Patient No-show Behavior. In: Production and Operations Management (2016), 25 1, S. 128–142.

[Magerlein & Martin 1978]

Magerlein, J. M.; Martin, J. B.: Surgical demand scheduling: A review. In: Health Serv Research (1978), Vol. 13 No. 4, S. 418–433.

[Maleri & Frietzsche 2008]

Maleri, R.; Frietzsche, U.: Grundlagen der Dienstleistungsproduktion, Springer, Berlin, 2008.

[Manitz 2005]

Manitz, M.: Leistungsanalyse von Montagesystemen mit stochastischen Bearbeitungszeiten, Kölner Wissenschaftsverl, Köln, Köln, 2005.

[Martin 2013]

Martin, R.: Unsere selbst verschuldete Komplexität,
<http://www.harvardbusinessmanager.de/meinungen/artikel/selbstverschuldeter-komplexitaetszuwachs-a-922443-druck.html>; Zugriff am 20.09.2013.

[März et al. 2011] *März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G.* (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen, Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011.

[März & Weigert 2011]

März, L.; Weigert, G.: Simulationsgestützte Optimierung. In: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen. Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011, S. 3–12.

[Mazier et al. 2010]

Mazier, A.; Xiaolan Xie; Sarazin, M.: Scheduling Inpatient Admission Under High Demand of Emergency Patients. In: IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (2010), S. 792–797.

[Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland 2011a]

Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland: Durchschnittliche Verweildauer der DRG-Fälle in Tagen, Landkarte Hochschulmedizin,

http://www.landkarte-hochschulmedizin.de/TruthTableView_evaluationsheet.aspx?page=3&id=92.

- [Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland 2011b]
Medizinischer Fakultätentag der Bundesrepublik Deutschland: Landkarte Hochschulmedizin, <http://www.landkarte-hochschulmedizin.de>; Zugriff am 07.10.11.
- [Meffert & Bruhn 1997]
Meffert, H.; Bruhn, M.: Dienstleistungsmarketing: Grundlagen, Konzepte, Methoden ; mit Fallbeispielen, Gabler, Wiesbaden, 1997.
- [Mendling & Nüttgens 2003]
Mendling, J.; Nüttgens, M.: XML-basierte Geschäftsprozessmodellierung. In: Uhr, W.; Schoop, E.; Esswein, W. (Hrsg.): Proceedings der 6. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik 2003: Medien - Märkte – Mobilität. Physica -Verlag, Heidelberg, 2003, S. 161-180.
- [Mendling & Nüttgens 2004]
Mendling, J.; Nüttgens, M.: Exchanging EPC Business Process Models with EPML. In: Nüttgens, M.; Mendling, J. (Hrsg.): Proceedings of the 1st GI Workshop XML4BPM - XML Interchange Formats for Business Process Management, Marburg, 2004, S. 61–79.
- [Mendling & Nüttgens 2005]
Mendling, J.; Nüttgens, M.: EPC Markup Language (EPML) - An XML-Based Interchange Format for Event-Driven Process Chains (EPC): Technical Report, Wien, 2005.
- [Meng et al. 2015]
Meng, F.; Qi, J.; Zhang, M.; Ang, J.; Chu, S.; Sim, M.: A robust optimization model for managing elective admission in a public hospital. In: Operations research the journal of the Operations Research Society of America (2015), 63 6, S. 1452–1467.
- [Mensch 1968]
Mensch, G.: Ablaufplanung, Univ., Diss.-Bonn, 1966, Westdt. Verl, Köln, 1968.
- [Mertens 1998]
Mertens, P.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik, Springer, Berlin, 1998.
- [Michalewicz 1996]
Michalewicz, Z.: Genetic algorithms + data structures: Evolution programs ; with 36 tables, Springer, Berlin, 1996.
- [Michalewicz & Fogel 2000]
Michalewicz, Z.; Fogel, D. B.: How to solve it: Modern heuristics ; with 7 tables, Springer, Berlin, 2000.
- [Milsum et al. 1973]
Milsum, J. H.; Turban, E.; Vertinsky, I.: Hospital admission systems: their evaluation and management. In: Management science (1973), Vol. 19 No. 6, S. 646–666.
- [Mintzberg 1992]
Mintzberg, H.: Die Mintzberg-Struktur: Organisation effektiver gestalten, Verl. Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1992.
- [Mission Level Design GmbH 2012]
Mission Level Design GmbH: Das Modellierungs- und Simulationswerkzeug MLDesigner,

Literaturverzeichnis

[http://www.mldesigner.de/cms/index.php?id=198&tx_palarticles_pi1\[articleitem\]=13](http://www.mldesigner.de/cms/index.php?id=198&tx_palarticles_pi1[articleitem]=13),
Zugriff am 16.04.2012.

[Mitchell 1996]

Mitchell, M.: An introduction to genetic algorithms, MIT Press, Cambridge, London, 1996.

[MLDesign Technologies Inc. 2010]

MLDesign Technologies Inc.: MLDesigner Documentation Version 2.8,
<http://www.mldesigner.com/fileadmin/assets/MLDesigner/Manual/manual.pdf>, Zugriff
am 16.04.2012.

[Müller 1998]

Müller, J.-A.: Simulation ökonomischer Prozesse, Manz-Verl. Schulbuch, Wien, 1998.

[Müller et al. 2003]

Müller, G.; Kreutzer, M.; Strasser, M.; Eymann, T.; Hohl, A.: Geduldige Technologie für ungeduldige Patienten: Führt Ubiquitous Computing zu mehr Selbstbestimmung?: Total vernetzt. Springer, Berlin [u.a.] 2003, S. 159–186.

[Niemann 2013]

Niemann, C.: Behandlungsplanung in der Notaufnahme von Krankenhäusern: Hybride Entscheidungsunterstützung in partiell automatisierbaren Entscheidungssituationen, Univ., Diss.--Bayreuth, 2011, Springer, Wiesbaden, 2013.

[Niemann & Eymann 2006]

Niemann, C.; Eymann, T.: Softwareagenten in der Krankenhauslogistik - Ein Ansatz zur effizienten Ressourcenallokation. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik (2006), Jg. 43 Nr. 251.

[Niemeyer 1977]

Niemeyer, G.: Kybernetische System- und Modelltheorie: System dynamics, Vahlen, München, 1977.

[Nissen 1995]

Nissen, V.: Overview of Evolutionary Algorithms in Management- Applications. In: Biethahn, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Evolutionary Algorithms in Management Applications. Springer, Berlin [u.a.] 1995, S. 44–97.

[Nissen 1997a]

Nissen, V.: Einführung in evolutionäre Algorithmen: Optimierung nach dem Vorbild der Evolution, Vieweg, Braunschweig, 1997.

[Nissen 1997b]

Nissen, V.: Management Applications and Other Classical Optimization Problems. In: Bäck, T. (Hrsg.): Handbook of evolutionary computation. Inst. of Physics Publ. [u.a.] Bristol, 1997, F1.2:1-50.

[Nissen & Biethahn 1999]

Nissen, V.; Biethahn, J.: Ein Beispiel zu stochastischen Optimierung mittels Simulation und einem Genetischen Algorithmus. In: Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B.; Stähly, P.; Witte, T. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: State of the Art und neuere Entwicklungen; mit 20 Tabellen. Physica-Verl, Heidelberg, 1999, S. 108–125.

[Nissen & Propach 1998]

Nissen, V.; Propach, J.: On the Robustness of Population-Based Versus Point-Based

Optimization in the Presence of Noise. In: IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION (1998), Vol. 2 No. 2, S. 107–119.

[Nowak & Schmied 2003]

Nowak, P.; Schmied, H.: Integrierte Bewertungsverfahren für Krankenhäuser unter Berücksichtigung von Qualitätsmanagement, Gesundheitsförderung und Umweltmanagement Literaturstudie und vergleichende Darstellung, Wien, 2003.

[Ochoa et al. 2000]

Ochoa, G.; Harvey, I.; Buxton, H.: Optimal Mutation Rates and Selection Pressure in Genetic Algorithms. In: Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference (2000), S. 315–322.

[OECD 2015]

OECD: Bevölkerung, <http://stats.oecd.org/>; Zugriff am 23.09.2015.

[OECD 2016]

OECD: Health Care Utilisation: Average length of stay by diagnostic categories, <http://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=30165#>; Zugriff am 27.06.2016.

[Oelsnitz 2000]

Oelsnitz, D. von der: Marktorientierte Organisationsgestaltung: Eine Einführung, Kohlhammer, Stuttgart, 2000.

[Olandt 1998]

Olandt, H.: Dienstleistungsqualität in Krankenhäusern: Operationalisierung und Messung der Patientenwahrnehmung, Univ., Diss. --Rostock, 1998, Dt. Univ.-Verl. [u. a.] Wiesbaden, 1998.

[Page 1991]

Page, B.: Diskrete Simulation: Eine Einführung mit Modula-2, Springer, Berlin, 1991.

[Paulussen et al. 2006]

Paulussen, T. O.; Zöller, A.; Rothlauf, F.; Heinzl, A.; Braubach, L.; Pokahr, A.; Lamersdorf, W.: Agent-Based Patient Scheduling in Hospitals: Multi-agent Engineering – Theory and Applications in Enterprises: International Handbooks of Information Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2006, S. 255–276.

[Peffer et al. 2006]

Peffer, K.; Tuunanen, T.; Gengler, C. E.; Rossi, M.; Hui, W.; Virtanen, V.; Bragge, J.: The design science research process: A model for producing and presenting information systems research. In: Proceedings of DESRIST (2006), S. 83–106.

[Peffer et al. 2007]

Peffer, K.; Tuunanen, T.; Rothenberger, M. A., Chatterjee, S.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. In: Journal of Management Information Systems (2007), 24 3, S. 45–77.

[Pfleger et al. 2003]

Pfleger, S.; Metzger, F.; Haase, K. K. (.: Kompendium Echokardiographie: Leitfaden mit CD-Rom zur Aus-, Fort- und Weiterbildung, WVG, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 2003.

[Pfohl 1974]

Pfohl, H.-C.: Die Logistik als Beispiel für Auswirkungen des Systemdenkens in der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre. In: Management international review (1974), Vol. 14 No. 1, S. 67–85.

Literaturverzeichnis

- [Pfohl 2009]
Pfohl, H.: Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen, Springer, Darmstadt, 2009.
- [Pierrot & Hinterding 1997]
Pierrot, H. J.; Hinterding, R.: Using multi-chromosomes to solve a simple mixed integer problem. In: Australian Joint Conference on Artificial Intelligence (1997), S. 137–146.
- [Pohlheim 2000]
Pohlheim, H.: Evolutionäre Algorithmen: Verfahren, Operatoren und Hinweise für die Praxis, Springer, Berlin, 2000.
- [Porter & Guth 2012]
Porter, M. E.; Guth, C.: Chancen für das deutsche Gesundheitssystem: Von Partikularinteressen zu mehr Patientennutzen, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [Post & Münzel 2010]
Post, F.; Münzel, T.: Das akute Koronarsyndrom: Eine in der Praxis unscharf gehandhabte Diagnose. In: Der Internist (2010), Jg. 51 No. 8, S. 953–962.
- [Puterman 2005]
Puterman, M. L.: Markov decision processes: Discrete stochastic dynamic programming, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ, 2005.
- [Rabe et al. 2008]
Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken, Springer, Berlin, 2008.
- [Ramasesh 1990]
Ramasesh, R.: Dynamic Job Shop Scheduling: A Survey of Simulation Research. In: OMEGA International Journal of Management Science (1990), Vol. 18 No. 1, S. 43–47.
- [Rechenberg 1994]
Rechenberg, I.: Evolutionsstrategie '94, Frommann-Holzboog, Stuttgart, Berlin, 1994.
- [Rechenberg & Eigen 1973]
Rechenberg, I.; Eigen, M.: Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution, Frommann-Holzboog, Stuttgart-Bad Cannstadt, 1973.
- [Reeves, Colin, R 1993]
Reeves, Colin, R: Using Genetic Algorithms With Small Populations. In: Forrest, S. (Hrsg.): Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms: University of Illinois at Urbana-Champaign, July 17 - 21, 1993. Kaufmann, San Mateo, Calif, 1993, S. 92–99.
- [Rey & Wender 2011]
Rey, G. D.; Wender, K. F.: Neuronale Netze: Eine Einführung in die Grundlagen, Anwendungen und Datenauswertung, Huber, Bern, 2011.
- [Riise & Burke 2011]
Riise, A.; Burke, E. K.: Local search for the surgery admission planning problem. In: Journal of Heuristics (2011), Vol. 17 Is. 4, S. 389–414.
- [Rink 2011]
Rink, O.: Evaluation zeigt: Es gibt noch Verbesserungspotenzial. In: Deutsches Ärzteblatt (2011), 108 27, S. 1518–1520.

- [Rising et al. 1973]
Rising, E. J.; Baron, R.; Averill, B.: A Systems Analysis of a University-Health-Service Outpatient Clinic. In: *Operations Research* (1973), Vol. 21 Is. 5, S. 1030–1047.
- [Rittgen 2000]
Rittgen, P.: Quo vadis EPK in ARIS? - Ansätze zu syntaktischen Erweiterungen und einer formalen Semantik. In: *Wirtschaftsinformatik* (2000), Jg. 42 Nr. 1, S. 27–35.
- [Rixen 1997]
Rixen, I.: Maschinenbelegungsplanung mit Evolutionären Algorithmen, Dissertationsschrift, Wiesbaden, 1997.
- [Roberts et al. 2010]
Roberts, L.; Mosena, R.; Winter, E.: Gabler Wirtschaftslexikon, Gabler, Wiesbaden, 2010.
- [Ronald et al. 1997]
Ronald, S.; Kirby, S.; Eklund, P.: Multi-Chromosome Mixed Encodings for Heterogenous Problems. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Evolutionary Computation* (1997), S. 37–42.
- [Ropohl 2012]
Ropohl, G.: Allgemeine Systemtheorie: Einführung in transdisziplinäres Denken, Ed. Sigma, Berlin, 2012.
- [Rosemann 1996]
Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen, Schriften zur EDV-orientierten Betriebswirtschaft, Gabler, Wiesbaden, Münster, 1996.
- [Ross 1995]
Ross, D. F.: Distribution: Planning and Control logistics and distribution channel management for the year 2000, Chapman & Hall, New York, 1995.
- [Rudolph 1994]
Rudolph, G.: Convergence of Non-Elitist Strategies. In: *Proceedings of the 7 First IEEE Conference on Evolutionary Computation* (1994), Orlando, FL., S. 63–66.
- [Russell et al. 2012]
Russell, S.; Norvig, P.; Kirchner, F.: Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz, Pearson Higher Education, München, 2012.
- [Salzwedel et al. 2007]
Salzwedel, H.; Richter, F.; Kühn, M.: Standardized Modeling and Simulation of Hospital Processes – Optimization of Cancer Treatment Center: *Proceedings of the 2007 Western Multiconference on Computer Simulation, WMC 2007: health sciences simulation (HSS)*, January 14-17, 2007. Society for Modeling and Simulation International, San Diego, CA, 2007.
- [Salzwedel & James 1983]
Salzwedel, H.; James, H. V.: Modeling Identification and Control of Flexible Aircraft: Parameter Identification of Flexible Aircraft, AFWAL-TR-84-3032, 1983.
- [SAP AG 2013]
SAP AG: SAP Dokumentation: Knowledge Warehouse,
http://help.sap.com/saphelp_nwmobile71/helpdata/de/bb/bdb041575911d189240000e8323d3a/content.htm; Zugriff am 29.09.2013.

Literaturverzeichnis

- [Sarshar et al. 2005]
Sarshar, K.; Dominitzki, P.; Loos, P.: Einsatz von Ereignisgesteuerten Prozessketten zur Modellierung von Prozessen in der Krankenhausdomäne. In: Nüttgens, M.; Rump, f. J. (Hrsg.): Geschäftsprozessmanagement mit Ereignisgesteuerten Prozessketten: Proceedings 4. GI-Workshop und -Arbeitskreistreffen Vol. 167, 2005, S. 97–116.
- [Schaffer et al. 1989]
Schaffer, J. D.; Caruana, R. A.; Eshelman, L. J.; Das, R.: A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithms for function optimization. In: Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms (1989), S. 51–60.
- [Schiemenz 1982]
Schiemenz, B.: Betriebskybernetik: Aspekte des betrieblichen Managements, Poeschel, Stuttgart, 1982.
- [Schmitz 1993]
Schmitz, R.-M.: Patientenbezogene Steuerung im Krankenhaus, Dissertationsschrift, Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, 1993.
- [Schneider et al. 2005]
Schneider, H. M.; Buzacott, J. A.; Rücker, T.: Schneider-Buzacott-Rücker: Operative Produktionsplanung und -steuerung: Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen, Oldenbourg, München, 2005.
- [Scholz & Vrohlings 1994]
Scholz, R.; Vrohlings, A.: Prozess-Leistungs-Transparenz. In: Gaitanides, M. (Hrsg.): Prozeßmanagement: Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering ; mit 20 Tabellen. Hanser, München, 1994, S. 57–98.
- [Schulte 2005]
Schulte, C.: Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain, Vahlen, München, 2005.
- [Schulte-Zurhausen 2010]
Schulte-Zurhausen, M.: Organisation, Vahlen, München, 2010.
- [Schwartz et al. 2003]
Schwartz, F. W.; Wismar, M.; Amelung, V.: Planung und Management. In: Schwartz, F. B. B.; Busse, R.; Leidl, R.; Raspe, H.; Siegrist, J.; Walter, U. (Hrsg.): Das Public-Health-Buch: Gesundheit und Gesundheitswesen. Urban & Fischer, München, 2003, S. 695–713.
- [Schwefel 1975]
Schwefel, H. P.: Evolutionsstrategien und numerische Optimierung, Dissertationsschrift, Technische Universität Berlin, Berlin, 1975.
- [Schwickert & Fischer 1996]
Schwickert, A. C.; Fischer, K.: Der Geschäftsprozeß als formaler Prozeß - Definition, Eigenschaften und Arten, in: Arbeitspapiere WI, Nr. 4/1996, Hrsg.: Lehrstuhl für Allg. BWL und Wirtschaftsinformatik, Mainz, 1996.
- [Sedlacek 2010]
Sedlacek, K.-D.: Emergenz: Strukturen der Selbstorganisation in Natur und Technik ; Arbeits- und Handbuch, Books on Demand, Norderstedt, 2010.
- [Seelbach & Fehr 1975]
Seelbach, H.; Fehr, H.: Ablaufplanung, Univ., Habil.-Schr. u.d.T.: Seelbach, Horst: Die

Planung mehrstufiger Produktionsprozesse in Mehrproduktunternehmen mit Hilfe von Simulationsverfahren--Köln, 1970, Physica-Verl, Würzburg, 1975.

[Seitz et al. 2009]

Seitz, M.; Niemann, C.; Kriegel, J.; Eymann, T.: Optimierte Patientenlogistik unter Einsatz von Smart-Object-Technologien im Krankenhaus. In: Mobiles Computing in der Medizin. Proceedings zum 9. Workshop der GI- und GMDS-Arbeitsgruppe Mobile Informationstechnologie in der Medizin (2009), Berichte aus der Medizinischen Informatik und Bioinformatik, 29. September 2009, S. 19–32.

[SemTalk GmbH 2011]

SemTalk GmbH: Tutorial SemTalk Version 4.0: EPK Edition,
<http://www.semtalk.com/pub/tutsem40epcg.pdf> Zugriff am 24.04.2012.

[Senger 2000]

Senger, E.: Modellierung vernetzter Logistikkreisläufe im Krankenhaus als Ausgangspunkt einer agentenbasierten Simulation, Diplomarbeit, Ilmenau, 2000.

[Severin 2014]

Severin, T.: Implementierung eines genetischen Algorithmus mit Multichromosomenansatz zur abteilungsübergreifenden Termin- und Reihenfolgeplanung in Kliniken, Diplomarbeit, Ilmenau, 2014.

[Sickinger 2008]

Sickinger, S.: Optimierung der Terminvergabe und Patientenauswahl in Radiologischen Instituten von Krankenhäusern, Dissertationsschrift, Shaker, München, 2008.

[Siepermann 2004]

Siepermann, C.: Stand und Entwicklungstendenzen der Krankenhauslogistik in Deutschland, Dissertationsschrift, VWF, Berlin, Kassel, 2004.

[Sivanandam & Deepa 2008]

Sivanandam, S.; Deepa, S.: Introduction to Genetic Algorithms, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.

[Smith-Daniels et al. 1988]

Smith-Daniels, V. L.; Schweikhart, S. B.; Smith-Daniels, D. E.: Capacity Management in Health Care Services: Review and Future Research Directions. In: Decision Sciences (1988), Vol. 19 Is. 4, S. 889–919.

[Solinger Tageblatt 2016]

Solinger Tageblatt: St. Lukas Klinik: Geburtshilfe schließt am Samstag,
<http://www.solinger-tageblatt.de/solingen/lukas-klinik-geburtshilfe-schliesst-samstag-6076110.html> Zugriff am 18.03.2016.

[Sotskov & Shakhlevich 1995]

Sotskov, Y. N.; Shakhlevich, N. V.: NP-hardness of shop-scheduling problems with three jobs. In: Discrete Applied Mathematics (1995), Vol. 59 Is. 3, S. 237–266.

[Stachowiak 1973]

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie, Springer, Wien, 1973.

[Statistisches Bundesamt Deutschland 2016a]

Statistisches Bundesamt Deutschland: Einrichtungen, Betten und Patientenbewegung: Krankenhäuser,
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/KrankenhaeuserJahreOhne100000.html> Zugriff am 27.06.2016.

Literaturverzeichnis

- [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016b]
Statistisches Bundesamt Deutschland: Gesundheitsberichterstattung des Bundes (GBE): Glossar - Fachabteilung, <http://www.gbe-bund.de/glossar/Fachabteilung.html>; Zugriff am 27.06.2016.
- [Statistisches Bundesamt Deutschland 2016c]
Statistisches Bundesamt Deutschland: Kostennachweise der Krankenhäuser - Fachserie 12 Reihe 6.3, <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankenhaeuser/KostennachweisKrankenhaeuser.html>; Zugriff am 27.06.2016.
- [Stepaniak et al. 2012]
Stepaniak, P. S.; van der Velden, R. A. C.; van de Klundert, J.; Wangelmans, A. P. M.: Human and Artificial Scheduling System for Operating Rooms. In: Hall, R. (Hrsg.): Handbook of Healthcare System Scheduling. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht London, 2012, S. 155–175.
- [Stoll et al. 2008]
Stoll, M.; Lindner, M.; Leschek, U.: Ergebnis-Zusammenfassung der Befragung von Krankenhäusern zur Krankenhauslogistik, 2008.
- [Suhl et al. 2009]
Suhl, L.; Mellouli, T.: Suhl-Mellouli: Optimierungssysteme: Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen, Springer, Heidelberg. London, New York, 2009.
- [Suzuki 1995]
Suzuki, J.: A Markov Chain Analysis on Simple Genetic Algorithms. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (1995), Vol. 25 Is. 4, S. 655–659.
- [Szyperski & Klein 1993]
Szyperski, N.; Klein, S.: Informationslogistik und virtuelle Organisationen. In: Die Betriebswirtschaft (1993), 53 11, S. 187–209.
- [Thun 2006]
Thun, S.: Projektmanagement zur praktischen Umsetzung von integrierten Behandlungspfaden: Praxishandbuch Integrierte Behandlungspfade. Economica [u.a.] Heidelberg [u.a.] 2006, S. 199–221.
- [Triebel & Becker 2000]
Triebel, A. S.; Becker, M. R.: Pflegemanagement. In: Eichhorn, P. v.; Seelos, P.; Graf Schulenburg, J.-M. von der (Hrsg.): Krankenhausmanagement. Urban und Fischer, München, Jena, 2000, S. 287–302.
- [Van Aken, J. E. 2004]
Van Aken, J. E.: Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field-tested and grounded technological rules. In: Journal of Management Studies (2004), 41 2, S. 219–246.
- [Verein Deutscher Ingenieure 2014]
Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen Begriffsdefinitionen,, Düsseldorf, 2014.
- [Vissers 1979]
Vissers, J.: Selecting a Suitable Appointment System in an Outpatient Setting. In: Medical Care (1979), Vol. 17 Nr. 12, S. 1207–1220.
- [Vissers et al. 2007]
Vissers, J. M. H.; Adanc, I. J. B. F.; Dellaerta, N. P.: Developing a platform for

comparison of hospital admission systems: An illustration. In: European Journal of Operational Research (2007), Vol. 180 No. 3, S. 1290–1301.

[Völkner 1998]

Völkner, P.: Modellbasierte Planung von Geschäftsprozeßabläufen, Gabler, Wiesbaden, Bochum, 1998.

[Wald & Wolfowitz 1940]

Wald, A.; Wolfowitz, J.: On a Test Whether Two Samples are from the Same Population. In: The Annals of Mathematical Statistics (1940), 11 2, S. 147–162.

[Weber et al. 2003]

Weber, J.; Bacher, A.; Groll, M.: Steuerung der Supply Chain: Aber mit welchen Instrumenten?, WHU-Otto-Beisheim-Hochschule, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Vallendar, 2003.

[Weicker 2007]

Weicker, K.: Evolutionäre Algorithmen, Teubner, Stuttgart, 2007.

[Wenzel 2008]

Wenzel, S.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien, Springer, Berlin, 2008.

[Wenzlaff 2006]

Wenzlaff, P.: Glossar zum Prozessmanagement im Gesundheitswesen und zu Integrierten Behandlungspfaden: Praxishandbuch Integrierte Behandlungspfade. Economica [u.a.] Heidelberg [u.a.] 2006, S. 267–310.

[Westeneng 2007]

Westeneng, J.: Outpatient appointment scheduling: An evaluation of alternative appointment systems to reduce waiting times and underutilization in an ENT outpatient clinic, Master's thesis, Enschede, 2007.

[Whitley & Kauth 1988]

Whitley, D.; Kauth, J.: Genitor: A Different Genetic Algorithm: Proceedings 4th Rocky Mountain Conference on Artificial Intelligence, Denver,. In: Proceedings 4th Rocky Mountain Conference on Artificial Intelligence, Denver (1988).

[Wight & Zhang 2005]

Wight, J.; Zhang, Y.: An "Ageing" Operator and Its Use in the Highly Constrained Topological Optimization of HVAC System Design. In: Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation (2005), S. 2075–2082.

[Wijewickrama & Takakuwa 2008]

Wijewickrama, A.; Takakuwa, S.: Outpatient appointment scheduling in a multi facility system (2008). In: Mason, S. J.; Hill, R. R.; Mönch, L.; Rose, T.; Jefferson, T.; Fowler J. W. (Ed.): Proceedings of the 40th Winter Simulation Conference (2008), S. 1563–1571.

[Wimmer 2010]

Wimmer, A.: Risiken und Chancen der deutschen Krankenversicherer im internationalen Vergleich, Liberales Institut der Friedrich-Neumann-Stiftung für Freiheit, Potsdam, 2010.

[Wöhe & Döring 2008]

Wöhe, G.; Döring, U.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Vahlen, München, 2008.

Literaturverzeichnis

[Wooldridge 2009]

Wooldridge, M.: An introduction to multiagent systems, Wiley, Chichester, 2009.

[Wright 1991]

Wright, A. H.: Genetic algorithms for real parameter optimization. In: Rawlins, G. et al.: Foundations of Genetic Algorithms. (1991), S. 205–217.

[Yan et al. 2014]

Yan, C.; Tang, J.; Jiang, B.: Sequential Appointment Scheduling Considering Walk-In Patients. In: Mathematical Problems in Engineering (2014) Article ID 564832,

[Yoon & Kim 2012]

Yoon, Y.; Kim, Y.-H.: The Roles of Crossover and Mutation in Real-Coded Genetic Algorithms: Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications, InTech, Kroatien, 2012.

[Zimmermann 1963]

Zimmermann, H.-J.: Mathematische Entscheidungsforschung und ihre Anwendung auf die Produktionspolitik, de Gruyter, Berlin, 1963.

[Zimmermann 2005]

Zimmermann, H.-J.: Operations Research: Methoden und Modelle. Für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte, Informatiker, Vieweg, Wiesbaden, 2005.

[Zimmermann & Stache 2001]

Zimmermann, W.; Stache, U.: Operations Research: Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung, Oldenbourg, München, 2001.

Anhang

A1.	Grafische Ablaufplanung nach Akers	A-1
A2.	Branch & Bound	A-3
A3.	Fragebogen für Patienten - Station / HKL - nach der Aufnahme	A-5
A4.	Fragebogen für Patienten - Station / HKL - nach der Entlassung.....	A-9
A5.	Fragebogen für Patienten - Ambulanz	A-10
A6.	Fragebogen für Mitarbeiter – Station	A-13
A7.	Fragebogen für Mitarbeiter – Herzkatheterlabor	A-17
A8.	Fragebogen für Mitarbeiter - Ambulanz	A-21
A9.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Vorbereitung der stationären Aufnahme.....	A-25
A10.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Stationäre Aufnahme	A-27
A11.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Vorbereitung der Patienten für HKL.....	A-32
A12.	Prozessablauf - Einrichtung 1 – Abruf der Patienten vom HKL.....	A-34
A13.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Nachbereitung der Patienten vom HKL	A-35
A14.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Entlassung von Station	A-38
A15.	Prozessablauf - Einrichtung 1 - Anfertigung des Arztbriefes.....	A-40
A16.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Vorbereitung der stationären Aufnahme.....	A-43
A17.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Stationäre Aufnahme	A-44
A18.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Vorbereitung der Patienten für HKL.....	A-47
A19.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Abruf der Patienten vom HKL	A-49
A20.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Nachbereitung der Patienten vom HKL	A-50
A21.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Entlassung von Station	A-51
A22.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Anfertigung des Arztbriefes.....	A-53
A23.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Patientenannahme für die Notfallstation.....	A-55
A24.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Patientenaufnahme auf der Notfallstation.....	A-57
A25.	Prozessablauf - Einrichtung 2 - Entlassung von der Notfallstation	A-59
A26.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Vorbereitung der stationären Aufnahme.....	A-61
A27.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Stationäre Aufnahme	A-62
A28.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Vorbereitung der Patienten für HKL.....	A-67
A29.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Abruf der Patienten vom HKL	A-68
A30.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Nachbereitung der Patienten vom HKL	A-70
A31.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Entlassung von Station	A-73
A32.	Prozessablauf - Einrichtung 3 - Anfertigung des Arztbriefes.....	A-75
A33.	Aufbau Datensatz der Bewegungsdaten aus dem SAP-IS-H*med	A-77
A34.	Datenerhebungsbogen Bettenfreigabe	A-78
A35.	Datenerhebungsbogen Elektrokardiografie – Einrichtung 2	A-79
A36.	Datenerhebungsbogen Elektrokardiografie – Einrichtung 3	A-80
A37.	Datenerhebungsbogen Echokardiografie	A-81
A38.	Datenerhebungsbogen HKL.....	A-82

Anhang

A39.	Erläuterungen zum Datenerhebungsbogen HKL.....	A-84
A40.	Ausgewählte Kennzahlen aus der Erhebung im HKL.....	A-87
A41.	Datenerhebungsbogen kardiologische Ambulanz.....	A-89
A42.	Laufzettel kardiologische Ambulanz	A-90
A43.	Grafische Darstellung der Auslastungen in den HKL der Einrichtung 2	A-91
A44.	Grafische Darstellung der Auslastungen in den HKL der Einrichtung 3	A-92
A45.	Verteilung in der Art der HKL-Maßnahmen und Maßnahmendauern	A-93
A46.	Verlauf eines Notfalls am Beispiel eines Herzinfarktes	A-95
A47.	Für Import und Modelltransformation verwendete eEPKs.....	A-97
A48.	Ergänzung Pfad 16 im Soll-Modell.....	A-115
A49.	Zuordnung der (e)EPK-Elemente zu Elementen der Simulationsumgebung.....	A-119
A50.	Transformation einer eEPK.....	A-120
(a)	Transformation von Funktionen.....	A-120
(b)	Transformation von Ereignissen	A-120
(c)	Transformation von logischen Konnektoren.....	A-120
(d)	Transformation von Ressourcen	A-121
(e)	Transformation von Hierarchien	A-124
(f)	Erforderliche Datenstruktur.....	A-124
(g)	Abbildung von Warteschlangen	A-125
(h)	Restriktionen und weitere Erfordernisse	A-125
A51.	Import der eEPK und Umsetzung der Transformation mittels EPML	A-128
(a)	Generierung von Funktions-Modulen und Ports	A-128
(b)	Generierung von Konnektoren.....	A-128
(c)	Generierung der Basisfunktionalität und der Ressourcennutzung	A-128
(d)	Generierung von EPK-Modulen und Hierarchien	A-129
(e)	Generierung des Top-Level Systems	A-129
(f)	Beispiel der Transformation für ein Funktions-Modul.....	A-130
(g)	Bibliothek an wiederverwendbaren Bausteinen.....	A-131
(h)	EPML-Kodierung und Konvertierung.....	A-132
(i)	Ausführung der Transformation.....	A-133
A52.	Verifizierung des Konverters und Validierung des Transformationsmodells sowie des Transformationskonzepts.....	A-134
A53.	Vorschlag zur Erweiterung der eEPK-Elemente und EMPL-Notation	A-138
A54.	Umsetzung der Zugangsplanung im Modell	A-140
(a)	Elektive Patientenzugänge	A-140
(b)	Notfälle und nicht-elektive Patientenzugänge in den Funktions-/OP- Bereichen.....	A-140
(c)	Nicht-elektive Patientenzugänge auf den kard. Stationen	A-141
(d)	Implementierung der Patientenquellen und Verteilung von Notfällen.....	A-142
A55.	Umsetzung der Terminvergabe im Modell	A-144

(a)	Vergabe von Aufnahmetermeninen für elektive Zugänge der kard. Normalstationen und der kard. Ambulanz	A-144
(b)	Terminanforderung durch elektive Zugänge in den Funktions- und OP-Bereichen.....	A-145
(c)	Terminanforderungen aus dem Modellablauf heraus (interne Anforderungen)	A-146
(d)	Terminvergabe an nicht-elektive Anforderungen in den Funktions-/OP-Bereichen und den kard. Stationen	A-150
(e)	Implementierung der Terminvergabe für elektive und nicht-elektive Patienten	A-151
A56.	Identifizierung der Patienten mittels Patienten-ID	A-157
A57.	Einschränkungen und Störungen in den Funktions-/OP-Bereichen	A-159
(a)	Beginn und Ende der Öffnungszeiten sowie Terminvergabezeiten	A-159
(b)	Pausenzeiten und Wartungsarbeiten	A-160
(c)	Abbildung von Störungen.....	A-162
(d)	Implementierung des Ressourcenmanagements	A-164
A58.	Umsetzung der Patientenauswahl im Modell	A-167
(a)	Entstehung von Notfällen	A-167
(b)	Entstehung nicht-elektiver Anforderungen.....	A-167
(c)	Auswahl- und Priorisierungsregeln in den Funktions-/OP-Bereichen	A-168
(d)	Auswahl- und Priorisierungsregeln bei den betrachteten Bettenstationen ..	A-170
(e)	Priorisierung innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten	A-171
(f)	Umsetzung der Patientenauswahl für elektive und nicht-elektive Patienten im Modell.....	A-175
(g)	Regeln zum Vorziehen und Einschieben von Patienten in die bestehende Planung	A-181
(h)	Implementierung der Patientenauswahl	A-183
A59.	Beispiel zum Aufbau der Patientenrohdaten	A-191
A60.	Umsetzung der Patientenressource	A-193
A61.	Überarbeitung und Umsetzung der Ressourcen im Modell.....	A-195
A62.	Umsetzung der kard. Stationen und Notfälle innerhalb dieser	A-196
(a)	Abbildung der Stationen und Stationsressourcen im Modell	A-196
(b)	Umsetzung von Öffnungszeiten und Pausen innerhalb der kard. Stationen	A-197
(c)	Umsetzung der ärztlichen Ressource	A-197
(d)	Umsetzung der Liegezeiten sowie Maßnahmen innerhalb dieser.....	A-201
(e)	Umsetzung von Notfällen zur Liegezeit auf den kard. Stationen	A-206
A63.	Umsetzung der Funktions- /OP-Bereiche sowie Notfälle innerhalb dieser	A-207
A64.	Umsetzung der sonstigen Bereiche und Notfälle innerhalb dieser.....	A-208
A65.	Umsetzung von Wegezeiten im Modell	A-209
A66.	Übersicht wesentlicher Tabellen in der zentralen Datenbank.....	A-210

Anhang

A67.	Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung der Quellen im Ist-Modell - Zugangsplanung	A-211
A68.	Überblick Öffnungs-, Pausen- und Abwesenheitszeiten	A-213
A69.	Überblick zur Dauer der Maßnahmen und Prozessschritte	A-214
A70.	Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung von Prozess- und Maßnahmendauern im Ist-Modell.....	A-215
A71.	Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung der Priorisierungen im Ist- Modell	A-219
A72.	Patientenzugänge - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis	A-220
A73.	Patientenzugänge - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis.....	A-225
A74.	Anzahl Maßnahmen - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis	A-230
A75.	Anzahl Maßnahmen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis.....	A-231
A76.	Bearbeitungszeiten - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis	A-232
A77.	Bearbeitungszeiten - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis.....	A-233
A78.	Warte-, Durchlaufzeiten in der kard. Ambulanz - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle	A-234
A79.	Wartezeiten und Terminabweichungen in den Funktions-/OP-Bereichen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle.....	A-235
A80.	Durchlauf- und Liegezeiten auf den kard. Stationen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis.....	A-236
A81.	Voruntersuchungszeit und Räumung Bett auf den kard. Stationen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis.....	A-237
A82.	Implementierung von Verspätungen und no-show Ereignissen bei Aufnahmetermen im Soll-Modell	A-238
A83.	Alternative Terminvergabe für Aufnahmetermin durch den GA.....	A-239
A84.	Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Zugangsplanung ..	A-240
A85.	Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Terminplanung	A-241
A86.	Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Reservierungsplanung.....	A-242
A87.	Übersicht der Systemparameter im Optimierungsmodell.....	A-243
A88.	Boxplots der im Szenario 1 eingestellten Reservierungen in den Terminkalendern der Funktions- /OP-Bereiche	A-248
A89.	Umsetzungsmöglichkeit der Terminplanung im SAP IS-H*med, bezogen auf Terminreservierungen, Planwerte und Puffer	A-251

(a)	Anlegen der Organisationseinheiten	A-251
(b)	Anlegen von Räumen und Zuordnen zu einer Organisationseinheit	A-251
(c)	Anlegen von Planobjekten	A-251
(d)	Dispositionstypen für Besuchstermine anlegen	A-252
(e)	Anlegen der Tages-/Wochen-/Jahresplanung und Einstellen von Puffern	A-253
(f)	Festlegung der Berechtigungen	A-256

A1. Grafische Ablaufplanung nach Akers

Das Verfahren geht auf Akers (1956) zurück und wird auch als Diagonaltechnik bezeichnet, zur grafischen Bestimmung einer exakten Lösung für ein Job-Shop oder Flow-Shop Problem [Mensch 1968, S. 66 ff.; Zimmermann & Stache 2001, S. 178–179; Domschke et al. 1993, S. 270–275]. Das Verfahren wurde entwickelt für zwei Aufträge, wenn jeder Auftrag aus mehreren Arbeitsgängen, die Arbeitsgänge eine feste Folge je Auftrag haben, beliebig viele Maschinen eingesetzt werden und konstante Bearbeitungszeiten vorliegen. Zielstellung ist hierbei eine minimale Durchlaufzeit der Aufträge (Zykluszeit). Das Vorgehen wird am Beispiel der zwei Aufträge (FA1, FA2) in Tab. 109 geschildert.

Auftrag	Arbeitsgangfolge + Bearbeitungszeit [h]					
FA1	B 2	E 2	C 3	F 3	A 4	D 5
FA2	A 3	C 2	E 5	B 4	D 5	F 4

Tab. 109: Arbeitsgangfolge und Bearbeitungszeiten für Diagonaltechnik

Im ersten Schritt werden sogenannte Konfliktfelder in ein Koordinatensystem eingetragen, welche die Fertigungsaufträge mit den zugehörigen Arbeitsschritten widerspiegeln (siehe Abb. 158 graue Felder).

Als Konfliktfelder werden Bereiche benannt, zu denen die Fertigungsaufträge auf eine Maschine zugreifen und ggf. ein anderer Fertigungsauftrag ebenfalls die Ressource benötigt. An diesen Stellen gabelt sich der Weg der Aufträge. Entweder kann der Fertigungsauftrag 1 (FA1) oder der Fertigungsauftrag 2 (FA2) ausgeführt werden. Diese Gabelungen werden mit allen Varianten in die Grafik eingetragen. Abschließend wird die Länge des Weges errechnet oder abgezählt, durch vertikales/horizontales Folgen der eingezeichneten Wege. Dies gibt Auskunft über die zeitliche Dauer der Abarbeitung in den einzelnen Varianten. Der kürzeste Weg ist zugleich der zeitlich günstigste und die effizienteste Maschinenbelegungsfolge (siehe Abb. 158).

1. Weg (schwarz) : $4 + 1 + 10 + 4 + 4 + 1 = 24$ Stunden
2. Weg (blau) : $3 + 4 + 11 + 1 + 9 = 28$ Stunden
3. Weg (orange) : $3 + 4 + 7 + 9 + 4 + 1 = 28$ Stunden
4. Weg (rot) : $4 + 1 + 9 + 6 + 9 = 29$ Stunden

Somit ergibt sich folgende optimale Auftragsabarbeitungsreihenfolge (siehe Abb. 159):

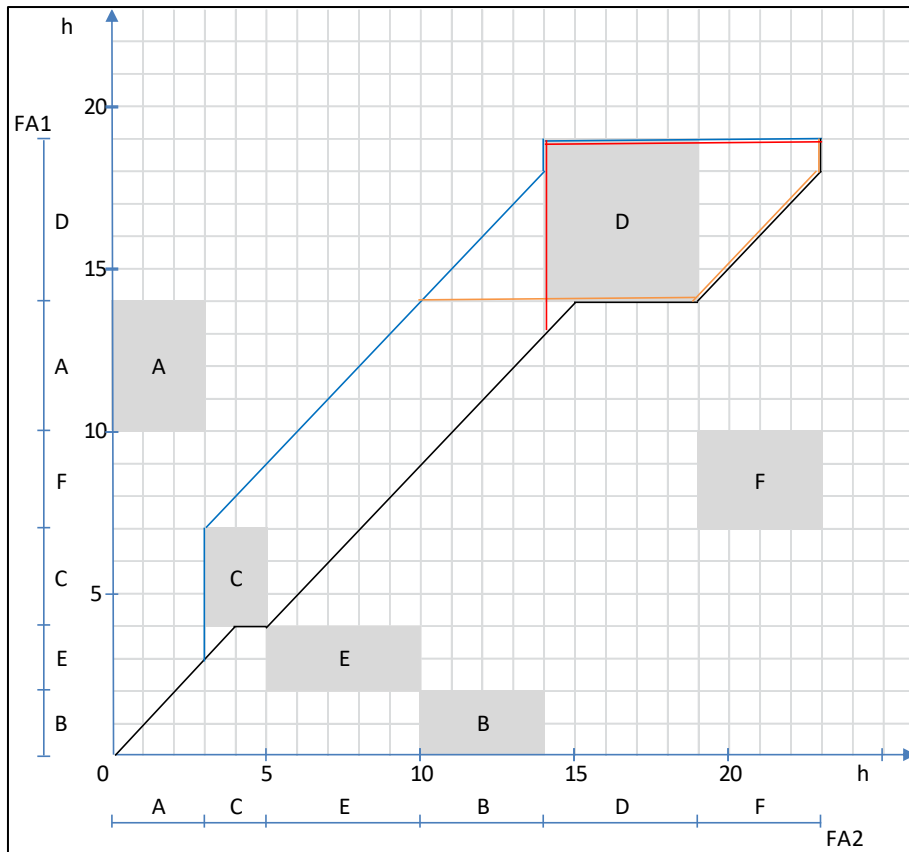


Abb. 158: Grafische Lösungsweg für Maschinenbelegung nach Diagonaltechnik

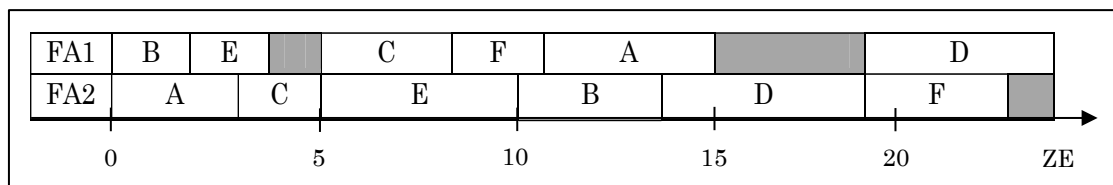


Abb. 159: Optimale Abarbeitungsreihenfolge nach Diagonaltechnik

Auch wenn das Verfahren inzwischen weiterentwickelt wurde und nun für beliebig viele Aufträge angewendet werden kann [Zimmermann & Stache 2001, S. 179], bleibt es unter den Vorbedingungen nur für Spezialfälle einsetzbar. Bei größerem Umfang an Aufträgen oder Arbeitsgängen wird das Verfahren zunehmend schwerer handhabbar.

A2. Branch & Bound

Branch & Bound (Verzweigung und Begrenzung) ist ein Entscheidungsbaumverfahren [Domschke et al. 1993, S. 43-46; 347 ff.; Zimmermann & Stache 2001, S. 131–137]. Es zielt darauf ab, Lösungen auszugrenzen und nicht zu überprüfen, um für ein gegebenes ganzzahliges Optimierungsproblem das Optimum zu finden. Es kann als exaktes Verfahren zur Minimierung der Durchlaufzeit von Job-Shop und Flow-Shop Problemen eingesetzt werden. Auch hier ist eine gegebene Maschinenfolge je Auftrag Voraussetzung, wobei die Anzahl der Aufträge nicht begrenzt ist. Darüber hinaus sind die Bearbeitungszeiten je Arbeitsgang fest.

Bei der Methode wird ein Verzweigungsbaum aufgebaut. Hierbei stellen:

Knoten → verfügbare Operationen (Arbeitsgänge),

Pfeil → Wahl der Operation (Arbeitsgang) dar.

Jeder Pfad von der Wurzel (Knoten ohne Vorgänger) bis zu seinen Blättern (Knoten ohne Nachfolger) entspricht einer Reihenfolge der Auftragseinplanung. Abb. 160 zeigt einen Auszug aus dem Entscheidungsbaum für die in Tab. 110 aufgeführten Fertigungsaufträge.

Auftrag	Maschinenfolge Bearbeitungszeit
1	A B C D 2 3 5 2
2	B A C D 1 4 1 3
3	B A C 3 1 4

Tab. 110: Beispiel Arbeitsgangfolge und Bearbeitungszeiten für Branch & Bound

Wie leicht ersichtlich wird, ist der Abbildungsaufwand selbst für dieses kleine Beispiel bereits sehr hoch. Ein Algorithmus kann z.B. computergestützt jeden Zweig aufreißen (vollständige Verzweigung) und mit Bearbeitungszeiten hinterlegen, um die optimale Reihenfolge der Abarbeitung zu ermitteln.

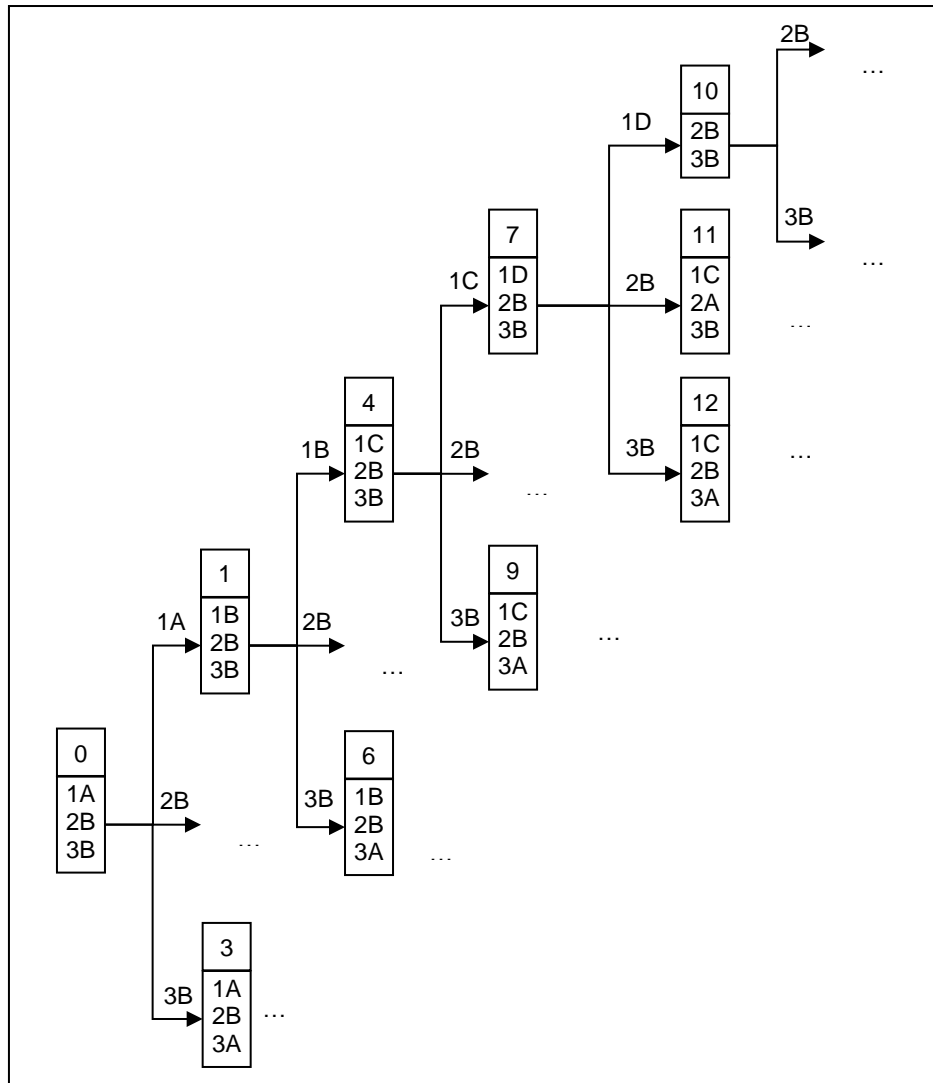


Abb. 160: Branch & Bound – Auszug Entscheidungsbaum

Um den Rechenaufwand zu minimieren, werden Schranken „Bound“ definiert, um bestimmte Zweige „abzuschneiden“ und nicht weiter zu betrachten. Dies erreicht der Algorithmus z.B. durch die Berechnung einer beliebigen zulässigen Lösung. Diese dient im Falle einer Minimierung als obere Schranke und vorerst optimale Lösung. Überschreitet nun ein Zweig an einer zu berechnenden Stelle die obere Schranke, kann der betrachtete Teilbaum „abgeschnitten“ werden, da es mindestens eine bessere zulässige Lösung gibt. Ergibt sich ein neuer Pfad, der besser ist als die bisherige obere Schranke, so wird diese als neue obere Schranke und damit bessere Lösung verwendet.

Das Verfahren ist neben den Ausgangsbedingungen der Art begrenzt, dass mit zunehmender Anzahl Variablen und Nebenbedingungen der Rechen- und Speicher- aufwand zunimmt.

A3. Fragebogen für Patienten - Station / HKL - nach der Aufnahme

A Aufnahme auf die Station

- 1 Wie gut organisiert empfanden Sie die Aufnahme auf der Station?
- 2 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit des Personals, das Sie auf der Station aufgenommen hat?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

- 3 Mussten Sie auf der Station lange auf Ihre Aufnahme warten?
- 4 War Ihr Zimmer rechtzeitig verfügbar, so dass Sie dieses umgehend nach Ihrer Aufnahme beziehen konnten?
- 5 Falls Sie auf der Station lange warten mussten, hat Ihnen jemand erklärt warum?

ja	teilweise	nein
	X	

B Ärztinnen und Ärzte

- 1 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit der Ärztinnen und Ärzte auf der Station?
- 2 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit der Ärztinnen und Ärzte im Herzkatheterlabor?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

- 3 Hatten Sie Vertrauen in die Ärztinnen und Ärzte auf der Station?
- 4 Gab es einen bestimmten Arzt oder eine bestimmte Ärztin, welche/r für Ihre Betreuung zuständig war und sich regelmäßig um Sie kümmerte?
- 5 Wenn Sie eine wichtige Frage an einen Arzt oder Ärztin hatten, bekamen Sie eine kompetente und verständliche Antwort?
- 6 Wurde Ihre Frage an die Ärztin oder den Arzt zu Ihrer Zufriedenheit beantwortet?
- 7 Wenn Sie Ängste oder Befürchtungen wegen Ihres Zustands oder wegen Ihrer Behandlung hatten, hat dann eine Ärztin oder ein Arzt diese mit Ihnen besprochen?
- 8 Waren die Ärztinnen und Ärzte der Station für Sie da, wenn Sie diese brauchten?

ja, immer	meistens	teilweise	nie

Anhang

C Schwestern und Pfleger

Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit und das Verständnis der Schwestern und Pfleger auf der
1 Station?

Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit und das Verständnis der Schwestern und Pfleger im
2 Herzkatheterlabor?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

Wenn Sie eine wichtige Frage an eine Schwester oder einen Pfleger hatten, bekamen Sie eine
3 kompetente und verständliche Antwort?

Wurden Ihre Fragen an die Schwester oder den
4 Pfleger zu Ihrer Zufriedenheit beantwortet?

Wenn Sie Ängste oder Befürchtungen wegen Ihres Zustands oder wegen Ihrer Behandlung hatten, hat dann eine Schwester oder ein Pfleger diese mit Ihnen
5 besprochen?

Hatten Sie Vertrauen in die Schwestern und Pfleger,
6 die Sie versorgt haben?

Waren die Schwestern und Pfleger für Sie da, wenn Sie diese
7 brauchten?

ja, immer	meistens	teilweise	nie

D Herzkatheterlabor

Wurde Ihr geplanter Termin im Herzkatheterlabor
1 verschoben?

Mussten Sie nach Ihrem Eintreffen im Herzkatheterlabor lange bis zum Beginn Ihres
2 Eingriffs warten?

Mussten Sie nach Ihrem Eingriff im Herzkatheterlabor lange auf den Rücktransport zur Station
3 warten?

ja	nein

Wie gut organisiert empfanden Sie die Abläufe im
4 Herzkatheterlabor?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

E Service und Komfort

Hat Ihnen jemand zu Beginn der stationären Behandlung den voraussichtlichen Ablauf Ihres
1 Aufenthaltes genau erklärt?

Gibt es nach Ihrem Empfinden genügend
2 Aufenthaltsmöglichkeiten im stationären Bereich?

ja, ausführlich	teilweise	nein

ja, ausreichend	überwiegend	teilweise	nein

3	War es leicht für Sie, einen Ansprechpartner auf der Station zu finden, der mit Ihnen über Ihre Anliegen und Sorgen sprach?
4	Wurden geplante Untersuchungen bisher pünktlich bei Ihnen durchgeführt?
5	Wurden Ihnen die Ergebnisse Ihrer Untersuchungen mitgeteilt?
6	Haben Sie das Gefühl, während Ihres bisherigen Aufenthalts auf der Station mit Aufmerksamkeit und Rücksicht behandelt worden zu sein?

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

7	Wie beurteilen Sie insgesamt die Wartezeiten, die Sie bisher während Ihres Aufenthaltes auf Station in Kauf nehmen mussten?
8	Wie beurteilen Sie das Angebot an Literatur und Zeitschriften?
9	Wie beurteilen Sie die Parkplatzsituation der Klinik?
10	Wie beurteilen Sie insgesamt das Angebot an Speisen?
11	Wie beurteilen Sie die Qualität der angebotenen Speisen?
12	Wie beurteilen Sie die Telefonanlage?
13	Wie beurteilen Sie die Fernsehanlage?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

F Beschwerdemanagement

1	Haben Sie sich während Ihres bisherigen Aufenthalts auf der Station über etwas geärgert?
2	Haben Sie einen Ansprechpartner für Ihre Beschwerden gefunden?
3	Wurde mit Ihrer Beschwerde in einer für Sie befriedigenden Weise umgegangen?

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

4	Erhielten Sie Informationen über das „Meinungsmanagement“ als zentrales Instrument für Ihre Beschwerden, Anregungen oder Lob?
5	Waren Ihnen bei Bedarf die Bögen des „Meinungsmanagements“ zur Mitteilung Ihres Anliegens jederzeit zugänglich?
6	Haben Sie das „Meinungsmanagement“ zur Mitteilung Ihrer Beschwerde genutzt?
7	Erhielten Sie bei Nutzung des „Meinungsmanagements“ eine zeitnahe Rückmeldung bezüglich Ihres Anliegens?

ja	nein

Anhang

G Gesamteindruck

Wie gut arbeitet das Personal auf Station Ihrer
1 Meinung nach zusammen?

Wie würden Sie Ihre bisherige Behandlung und
2 Betreuung auf der Station insgesamt beurteilen?

Gab es widersprüchliche Aussagen vom Personal der
3 Station Ihnen gegenüber?

Würden Sie bei Bedarf die Station/das
4 Herzkatheterlabor Ihrer Familie oder Bekannten
empfehlen?

5 Haben Sie weitere Anmerkungen oder Anregungen?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

A4. Fragebogen für Patienten - Station / HKL - nach der Entlassung

H Entlassung von der Station

1	Wurde Ihnen spätestens am Vortag der Entlassung Ihr Entlassungstermin mitgeteilt?
2	Hat Ihnen jemand die Ergebnisse der Behandlung so erklärt, dass Sie diese verstehen konnten?
3	Hat Ihnen jemand den Zweck der Medikamente, die Sie zu Hause einnehmen sollen, verständlich erklärt?
4	Hat Sie jemand über mögliche Nebenwirkungen dieser Medikamente aufgeklärt?
5	Hat Ihnen jemand erklärt, auf welche Gefahrensymptome Sie zu Hause im Hinblick auf Ihre Krankheit achten sollten?

ja, immer	meistens	teilweise	nie

6	Mussten Sie lange auf die Erledigung der Entlassungsformalitäten warten?
7	Mussten Sie lange auf das Aushändigen des Arztbriefes warten?

ja	nein

A5. Fragebogen für Patienten - Ambulanz

A Aufnahme in der Ambulanz

	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
1 Wie gut organisiert empfanden Sie die Zentralaufnahme der Uniklinik?				
2 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit des Personals in der Zentralaufnahme, das Sie aufgenommen hat?				
3 Wie gut organisiert empfanden Sie die Patientenaufnahme in der Ambulanz?				
4 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit des Personals in der Ambulanz, welches Sie aufgenommen hat?				

5 Mussten Sie in der Ambulanz lange auf Ihre Aufnahme warten?
6 Falls Sie in der Ambulanz lange warten mussten, hat Ihnen jemand erklärt warum?

ja	teilweise	nein

B Ärztinnen und Ärzte

	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
1 Wie beurteilen Sie die Freundlichkeit der Ärztinnen und Ärzte?				

	ja, immer	meistens	teilweise	nie
2 Hatten Sie Vertrauen in die Ärztinnen und Ärzte?				
3 Gab es einen bestimmten Arzt oder eine bestimmte Ärztin, welche/r für Ihre Betreuung zuständig war und sich regelmäßig um Sie kümmerte?				
4 Wenn Sie eine wichtige Frage an einen Arzt oder Ärztin hatten, bekamen Sie eine kompetente und verständliche Antwort?				
5 Wurde Ihre Frage an die Ärztin oder den Arzt zu Ihrer Zufriedenheit beantwortet?				
6 Wenn Sie Ängste oder Befürchtungen wegen Ihres Zustands oder wegen Ihrer Behandlung hatten, hat dann eine Ärztin oder ein Arzt diese mit Ihnen besprochen?				
7 Waren die Ärztinnen und Ärzte der Ambulanz für Sie da, wenn Sie diese brauchten?				

C Schwestern und Pfleger

	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
1 Wie beurteilen Sie Freundlichkeit und Verständnis der Schwestern und Pfleger in der Ambulanz?				
2 Wie beurteilen Sie Freundlichkeit und Verständnis der Schwestern und Pfleger in der Blutabnahme?				
3 Wie beurteilen Sie Freundlichkeit und Verständnis der Schwestern und Pfleger in der Sonographie?				
4 Wie beurteilen Sie Freundlichkeit und Verständnis der Schwestern und Pfleger beim EKG?				
5 Wie beurteilen Sie Freundlichkeit und Verständnis der Schwestern und Pfleger in der Radiologie?				

6	Wenn Sie eine wichtige Frage an eine Schwester oder einen Pfleger hatten, bekamen Sie eine kompetente und verständliche Antwort?
7	Wurde Ihre Frage an die Schwester oder den Pfleger zu Ihrer Zufriedenheit beantwortet?
8	Wenn Sie Ängste oder Befürchtungen wegen Ihres Zustands oder wegen Ihrer Behandlung hatten, hat dann eine Schwester oder ein Pfleger diese mit Ihnen besprochen?
9	Hatten Sie Vertrauen in die Schwestern und Pfleger, die Sie versorgt haben?
10	Waren die Schwestern und Pfleger für Sie da, wenn Sie diese brauchten?

ja, immer	meistens	teilweise	nie

D Entlassung aus der Ambulanz

1	Hat Ihnen jemand die Ergebnisse der Untersuchung so erklärt, dass Sie diese verstehen konnten?
2	Hat Ihnen jemand den Zweck der Medikamente, die Sie zu Hause einnehmen sollen, verständlich erklärt?
3	Hat Sie jemand über mögliche Nebenwirkungen dieser Medikamente aufgeklärt?
4	Hat Ihnen jemand erklärt, auf welche Gefahrensymptome Sie zu Hause im Hinblick auf Ihre Krankheit achten sollten?
5	Traten nach Ihrer Entlassung aus der Ambulanz Komplikationen auf?

ja, immer	meistens	teilweise	nie

E Service und Komfort

1	Hat Ihnen jemand zu Beginn der ambulanten Behandlung den Ablauf genau erklärt?
---	--

ja, ausführlich	teilweise	nein

2	Gibt es nach Ihrem Empfinden genügend Aufenthaltsmöglichkeiten im Wartebereich?
---	---

ja, ausreichend	überwiegend	teilweise	nein

3	War es leicht für Sie einen Ansprechpartner in der Ambulanz zu finden, der mit Ihnen über Ihre Anliegen und Sorgen sprach?
4	Wurden geplante Untersuchungen pünktlich bei Ihnen durchgeführt?
5	Hatten Sie das Gefühl, während Ihres Aufenthalts in der Ambulanz mit Aufmerksamkeit und Rücksicht behandelt worden zu sein?
6	Warum haben Sie sich für die Ambulanz entschieden (z.B. Empfehlung durch Arzt, Nähe zum Wohnort, gute Betreuung etc.)?

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

Anhang

7	Wie beurteilen Sie die Wartezeiten in der Ambulanz?
8	Wie beurteilen Sie das Angebot an Literatur und Zeitschriften?
9	Wie beurteilen Sie die Parkplatzsituation der Klinik?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

F Beschwerdemanagement

1	Haben Sie sich während Ihres Aufenthalts in der Ambulanz über etwas geärgert?
2	Haben Sie einen Ansprechpartner für Ihre Beschwerden gefunden?
3	Wurde mit Ihrer Beschwerde in einer für Sie befriedigenden Weise umgegangen?

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

G Gesamteindruck

1	Wie gut hat das Personal Ihrer Meinung nach zusammengearbeitet?
2	Wie würden Sie Ihre Behandlung und Betreuung in der Ambulanz insgesamt beurteilen?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

3	Gab es widersprüchliche Aussagen vom Personal Ihnen gegenüber?
4	Würden Sie bei Bedarf die Ambulanz Ihrer Familie oder Bekannten empfehlen?

ja, immer	überwiegend	teilweise	nein

5	Haben Sie weitere Anmerkungen oder Anregungen?
---	--

A6. Fragebogen für Mitarbeiter – Station

A Erfolgsfaktoren und Kompetenzen

Wie beurteilen Sie die Wichtigkeit folgender Kriterien / Kompetenzen für die Station?

hoch	eher hoch	eher gering	gering
------	-----------	-------------	--------

1	Patientenzufriedenheit
2	Mitarbeiterzufriedenheit
3	Qualität der Behandlung
4	Behandlungserfolg
5	Innovationsgrad der Behandlungsmethoden
6	Wartezeiten der Patienten bei der stationären Aufnahme
7	Wartezeiten der Patienten bei der kurz-stationären Aufnahme
8	Wartezeiten für Patienten der Herzkatheter-Ambulanz
9	Wartezeiten der Patienten bei der Entlassung
10	Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit
11	Ansprechende Räumlichkeiten
12	Ausreichendes Platz-/Raumangebot
13	Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten
14	Erfahrung der behandelnden Ärzte
15	Erfahrung des Pflegepersonals
16	Reputation der Station

Wie beurteilen Sie die derzeitigen Kompetenzen bzw. den Grad der Erfüllung folgender Kriterien durch die Station?

hoch	eher hoch	eher gering	gering
------	-----------	-------------	--------

1	Patientenzufriedenheit
2	Mitarbeiterzufriedenheit
3	Qualität der Behandlung
4	Behandlungserfolg
5	Innovationsgrad der Behandlungsmethoden
6	Wartezeiten der Patienten bei der stationären Aufnahme
7	Wartezeiten der Patienten bei der kurz-stationären Aufnahme
8	Wartezeiten für Patienten der Herzkatheter-Ambulanz
9	Wartezeiten der Patienten bei der Entlassung
10	Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit
11	Ansprechende Räumlichkeiten
12	Ausreichendes Platz-/Raumangebot

Anhang

13	Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten
14	Erfahrung der behandelnden Ärzte
15	Erfahrung des Pflegepersonals
16	Reputation der Station

hoch	eher hoch	eher gering	gering

A3	Wie beurteilen Sie insgesamt die Patientenorientierung auf der Station?
-----------	--

hoch	eher hoch	eher gering	gering

B Krankenhaus- und Führungskultur
--

B1	Wie beurteilen Sie die heutige Situation der Station in Bezug auf ...
-----------	--

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1	... kontinuierliche Verbesserung der Prozesse?
2	... Honorierung guter Leistungen?
3	... klare Konsequenzen bei schlechten Leistungen?
4	... Identifikation der Mitarbeiter mit der Station?
5	... Delegation von Verantwortung und Kompetenzen?
6	... regelmäßiges Feedback zu Arbeitsergebnissen?
7	... Offenheit und Vertrauen?
8	... Informations- und Kommunikationsverhalten?
9	... Kontinuität und Verlässlichkeit?

B2	Bitte beurteilen Sie, inwieweit folgende Aussagen aus Ihrer Sicht zutreffen.
-----------	---

trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu

1	Die langfristigen Ziele der Station sind Ihnen bekannt.
2	Die langfristigen Ziele der Station sind klar und verständlich.
3	Die langfristigen Ziele der Station sind realistisch.
4	Die Mitarbeiter der Station sind motiviert, die Ziele der Station zu unterstützen und zu erreichen.

**Wie beurteilen Sie das Entscheidungs-
B3 Verhalten innerhalb der Station bezüglich...**

1	... rechtzeitig getroffener Entscheidungen?
2	... Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen?
3	... rechtzeitige Einbindung in Entscheidungen?
4	... Klarheit der Entscheidungen (Inhalt, Verantwortung, Termin)?
5	... Verlässlichkeit der Entscheidungen?
6	... inhaltlicher Umsetzung der Entscheidungen?
7	... termingerechter Umsetzung der Entscheidungen?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

**Gibt es aktuelle Entscheidungen, die aus Ihrer
B4 Sicht überfällig sind?**

1 Welche Entscheidungen sind aus Ihrer Sicht überfällig?

ja	eher ja	eher nein	nein

**Wie beurteilen Sie insgesamt die Kultur und
B5 den Führungsstil auf der Station?**

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

C Mitarbeiter

**Wie beurteilen Sie die Personalentwicklung auf
C1 der Station in Bezug auf...**

1	... eine systematische Analyse der "Lücke" zwischen den erforderlichen und vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter?
2	... Vereinbarung von konkreten Maßnahmen zur Weiterbildung?
3	... Maßnahmen zur Gewinnung von neuen, qualifizierten Mitarbeitern?
4	... Mitarbeitergespräche?
5	... konsequente Umsetzung vereinbarter Maßnahmen?
6	... klare, verständliche Anforderungsprofile und Stellenbeschreibungen?
7	... die Unterstützung und Beratung durch die verantwortliche Personalabteilung?
8	... eine leistungsgerechte Entlohnung durch Boni/Sonderzahlungen?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

Anhang

D Lernen

D1 Wie beurteilen Sie die Station in Bezug auf...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
--	-----------------	------------	---------------------	-------------------

1 ... das Fachwissen?				
2 ... die Sozialkompetenz?				
3 ... Veränderungsbereitschaft und Flexibilität?				
4 ... Lernen durch interne und externe Vergleiche mit anderen Abteilungen bzw. Krankenhäusern?				
5 ... gezielten Wissens- und Erfahrungsaustausch?				

E Organisation und Zusammenarbeit

Wie beurteilen Sie die derzeitige Organisation auf der Station in Bezug auf...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
---	-----------------	------------	---------------------	-------------------

1 ... die Patientenausrichtung ("Inwieweit richtet sich mein Tun und Handeln am Patienten aus?")?				
2 ... die Eindeutigkeit der Aufgabenzuordnung?				
3 ... Klarheit und Verständlichkeit der Organisation?				
4 ... die Qualität von Kommunikations- und Abstimmprozessen?				

E2 Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
--	-----------------	------------	---------------------	-------------------

1 ... innerhalb der Station?				
2 ... zwischen der Station und dem Herzkatheterlabor?				
3 ... zwischen der Station und der Sonographie?				
4 ... zwischen der Station und der Radiologie?				
5 ... zwischen der Station und der Elektrokardiografie?				
6 ... zwischen der Station und dem Archiv?				

Bitte kreuzen Sie Ihre Zugehörigkeit an:

Ärztin/Arzt

Pflegefachkraft/
Arzthelferin

Sonstige
Berufsgruppe

A7. Fragebogen für Mitarbeiter – Herzkatheterlabor

A Erfolgsfaktoren und Kompetenzen

Wie beurteilen Sie die Wichtigkeit folgender Kriterien / Kompetenzen für das Herzkatheterlabor?
A1 Herzkatheterlabor?

hoch	eher hoch	eher gering	gering
------	-----------	-------------	--------

- 1 Patientenzufriedenheit
- 2 Mitarbeiterzufriedenheit
- 3 Qualität der Behandlung
- 4 Behandlungserfolg
- 5 Innovationsgrad der Behandlungsmethoden
- 6 Wartezeiten der Patienten
- 7 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit
- 8 Ansprechende Räumlichkeiten
- 9 Ausreichendes Platz-/Raumangebot
- 10 Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten
- 11 Erfahrung der behandelnden Ärzte
- 12 Erfahrung des Pflegepersonals
- 13 Erfahrung der MTA
- 14 Reputation der Herzkatheterlabors
- 15 Wettbewerbsfähigkeit gegenüber niedergelassenen Ärzten

Wie beurteilen Sie die derzeitigen Kompetenzen bzw. den Grad der Erfüllung folgender Kriterien durch das Herzkatheterlabor?
A2 Herzkatheterlabor?

hoch	eher hoch	eher gering	gering
------	-----------	-------------	--------

- 1 Patientenzufriedenheit
- 2 Mitarbeiterzufriedenheit
- 3 Qualität der Behandlung
- 4 Behandlungserfolg
- 5 Innovationsgrad der Behandlungsmethoden
- 6 Wartezeiten der Patienten
- 7 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit
- 8 Ansprechende Räumlichkeiten
- 9 Ausreichendes Platz-/Raumangebot
- 10 Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten
- 11 Erfahrung der behandelnden Ärzte
- 12 Erfahrung des Pflegepersonals
- 13 Erfahrung der MTA
- 14 Reputation der Herzkatheterlabors
- 15 Wettbewerbsfähigkeit gegenüber niedergelassenen Ärzten

Anhang

Wie beurteilen Sie insgesamt die A3 Patientenorientierung im Herzkatheterlabor?	hoch	eher hoch	eher gering	gering

B Krankenhaus- und Führungskultur

Wie beurteilen Sie die heutige Situation des B1 Herzkatheterlabors in Bezug auf ...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1 ... den partnerschaftlichen Umgang mit angrenzenden Abteilungen (z.B. Radiologie, Labor, Sonographie etc.)?				
2 ... kontinuierliche Verbesserung der Prozesse?				
3 ... Honorierung guter Leistungen?				
4 ... klare Konsequenzen bei schlechten Leistungen?				
5 ... Identifikation der Mitarbeiter mit dem Herzkatheterlabor?				
6 ... Delegation von Verantwortung und Kompetenzen?				
7 ... regelmäßiges Feedback zu Arbeitsergebnissen?				
8 ... Offenheit und Vertrauen?				
9 ... Informations- und Kommunikationsverhalten?				
10 ... Kontinuität und Verlässlichkeit?				

Bitte beurteilen Sie, inwieweit folgende Aussagen aus B2 Ihrer Sicht zutreffen.	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu

1 Die langfristigen Ziele des Herzkatheterlabors sind mir bekannt.				
2 Die langfristigen Ziele des Herzkatheterlabors sind klar und verständlich.				
3 Die langfristigen Ziele des Herzkatheterlabors sind realistisch.				
4 Die Mitarbeiter des Herzkatheterlabors sind motiviert, die Ziele des Herzkatheterlabors zu unterstützen und zu erreichen.				

Wie beurteilen Sie das Entscheidungsverhalten innerhalb des B3 Herzkatheterlabors bezüglich...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1 ... rechtzeitig getroffener Entscheidungen?				
2 ... Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen?				
3 ... rechtzeitige Einbindung in Entscheidungen?				
4 ... Klarheit der Entscheidungen (Inhalt, Verantwortung, Termin)?				
5 ... Verlässlichkeit der Entscheidungen?				
6 ... inhaltlicher Umsetzung der Entscheidungen?				
7 ... termingerechter Umsetzung der Entscheidungen?				

B4 Gibt es Entscheidungen, die aus Ihrer Sicht längst überfällig sind?

ja	eher ja	eher nein	nein

1 Welche Entscheidungen sind aus Ihrer Sicht überfällig?

--

B5 Wie beurteilen Sie insgesamt die Kultur und den Führungsstil im Herzkatheterlabor?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

C Mitarbeiter

C1 Wie beurteilen Sie die Personalentwicklung im Herzkatheterlabor in Bezug auf...

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1 ... eine systematische Analyse der "Lücke" zwischen den erforderlichen und vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter?

--	--	--	--

2 ... Vereinbarung von konkreten Maßnahmen zur Weiterbildung?

--	--	--	--

3 ... Maßnahmen zur Gewinnung von neuen, qualifizierten Mitarbeitern?

--	--	--	--

4 ... Mitarbeitergespräche?

--	--	--	--

5 ... konsequente Umsetzung vereinbarter Maßnahmen?

--	--	--	--

6 ... klare, verständliche Anforderungsprofile und Stellenbeschreibungen?

--	--	--	--

7 ... die Unterstützung und Beratung durch die verantwortliche Personalabteilung?

--	--	--	--

8 ... eine leistungsgerechte Entlohnung durch Boni/Sonderzahlungen?

--	--	--	--

D Lernen

D1 Wie beurteilen Sie das Herzkatheterlabor in Bezug auf...

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1 ... das Fachwissen?

--	--	--	--

2 ... die Sozialkompetenz?

--	--	--	--

3 ... Veränderungsbereitschaft und Flexibilität?

--	--	--	--

4 ... Lernen durch interne und externe Vergleiche mit anderen Abteilungen bzw. Krankenhäusern (sog. Benchmarking)?

--	--	--	--

5 ... gezielten Wissens- und Erfahrungsaustausch?

--	--	--	--

E Organisation und Zusammenarbeit

Wie beurteilen Sie die derzeitige Organisation des Herzkatheterlabors in Bezug auf...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
1 ... die Patientenausrichtung ("Inwieweit richtet sich mein Tun und Handeln am Patienten aus?")?				
2 ... die Eindeutigkeit der Aufgabenzuordnung?				
3 ... Klarheit und Verständlichkeit der Organisation?				
4 ... die Qualität von Kommunikations- und Abstimmprozessen?				

E2 Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
1 ... innerhalb des Herzkatheterlabors?				
2 ... zwischen der Station und dem Herzkatheterlabor?				
3 ... zwischen dem Herzkatheterlabor und der Sonographie?				
4 ... zwischen dem Herzkatheterlabor und der Radiologie?				
5 ... zwischen dem Herzkatheterlabor und der Ambulanz?				

Bitte kreuzen Sie Ihre Zugehörigkeit an:

Ärztin/Arzt

Pflegefachkraft/
Arzthelferin

Sonstige
Berufsgruppe

A8. Fragebogen für Mitarbeiter - Ambulanz

A Erfolgsfaktoren und Kompetenzen
--

Wie beurteilen Sie die Wichtigkeit folgender Kriterien / Kompetenzen für die Ambulanz?	hoch	eher hoch	eher gering	gering
1 Patientenzufriedenheit				
2 Mitarbeiterzufriedenheit				
3 Qualität der Behandlung				
4 Behandlungserfolg				
5 Innovationsgrad der Behandlungsmethoden				
6 Wartezeiten der Patienten				
7 Behandlungsdauer je Therapiesitzung				
8 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit				
9 Ansprechende Räumlichkeiten				
10 Ausreichendes Platz-/Raumangebot				
11 Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten				
12 Wettbewerbsfähigkeit gegenüber niedergelassenen Ärzten				
13 Zusammenarbeit mit niedergelassenen Ärzten				
14 Erfahrung der behandelnden Ärzte				
15 Erfahrung des Pflegepersonals				
16 Reputation der Ambulanz				

Wie beurteilen Sie die derzeitigen Kompetenzen bzw. den Grad der Erfüllung folgender Kriterien durch die Ambulanz?	hoch	eher hoch	eher gering	gering
1 Patientenzufriedenheit				
2 Mitarbeiterzufriedenheit				
3 Qualität der Behandlung				
4 Behandlungserfolg				
5 Innovationsgrad der Behandlungsmethoden				
6 Wartezeiten der Patienten				
7 Behandlungsdauer je Therapiesitzung				
8 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit				
9 Ansprechende Räumlichkeiten				
10 Ausreichendes Platz-/Raumangebot				
11 Psychosoziale Betreuung und Beratung der Patienten				
12 Wettbewerbsfähigkeit gegenüber niedergelassenen Ärzten				
13 Zusammenarbeit mit niedergelassenen Ärzten				
14 Erfahrung der behandelnden Ärzte				
15 Erfahrung des Pflegepersonals				
16 Reputation der Ambulanz				

Anhang

Wie beurteilen Sie insgesamt die A3 Patientenorientierung in der Ambulanz?	hoch	eher hoch	eher gering	gering

B Krankenhaus- und Führungskultur

Wie beurteilen Sie die heutige Situation der B1 Ambulanz in Bezug auf ...	sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

1 ... den partnerschaftlichen Umgang mit angrenzenden Abteilungen (z.B. Radiologie, Labor, Blutabnahme etc.)?				
2 ... kontinuierliche Verbesserung der Prozesse?				
3 ... Honorierung guter Leistungen?				
4 ... klare Konsequenzen bei schlechten Leistungen?				
5 ... Identifikation der Mitarbeiter mit der Ambulanz?				
6 ... Delegation von Verantwortung und Kompetenzen?				
7 ... regelmäßiges Feedback zu Arbeitsergebnissen?				
8 ... Offenheit und Vertrauen?				
9 ... Informations- und Kommunikationsverhalten?				
10 ... Kontinuität und Verlässlichkeit?				

Bitte beurteilen Sie, inwieweit folgende B2 Aussagen aus Ihrer Sicht zutreffen.	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu

1 Die langfristigen Ziele der Ambulanz sind Ihnen bekannt.				
2 Die langfristigen Ziele der Ambulanz sind klar und verständlich.				
3 Die langfristigen Ziele der Ambulanz sind realistisch.				
4 Die Mitarbeiter der Ambulanz sind motiviert, die Ziele der Ambulanz zu unterstützen und zu erreichen.				

Wie beurteilen Sie das B3 Entscheidungsverhalten innerhalb der Ambulanz bezüglich...	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu

1 ... rechtzeitig getroffener Entscheidungen?				
2 ... Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen?				
3 ... rechtzeitige Einbindung in Entscheidungen?				
4 ... Klarheit der Entscheidungen (Inhalt, Verantwortung, Termin)?				
5 ... Verlässlichkeit der Entscheidungen?				
6 ... inhaltlicher Umsetzung der Entscheidungen?				
7 ... termingerechter Umsetzung der Entscheidungen?				

B4 Gibt es aktuelle Entscheidungen, die aus Ihrer Sicht überfällig sind?

ja	eher ja	eher nein	nein

Welche Entscheidungen sind aus Ihrer Sicht überfällig?

--

B5 Wie beurteilen Sie insgesamt die Kultur und den Führungsstil in der Ambulanz?

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

C Mitarbeiter

C1 Wie beurteilen Sie die Personalentwicklung in der Ambulanz in Bezug auf...

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

- | | |
|---|---|
| 1 | ... eine systematische Analyse der "Lücke" zwischen den erforderlichen und vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter? |
| 2 | ... Vereinbarung von konkreten Maßnahmen zur Weiterbildung? |
| 3 | ... Maßnahmen zur Gewinnung von neuen, qualifizierten Mitarbeitern? |
| 4 | ... Mitarbeitergespräche? |
| 5 | ... konsequente Umsetzung vereinbarter Maßnahmen? |
| 6 | ... klare, verständliche Anforderungsprofile und Stellenbeschreibungen? |
| 7 | ... die Unterstützung und Beratung durch die verantwortliche Personalabteilung? |
| 8 | ... eine leistungsgerechte Entlohnung durch Boni/Sonderzahlungen? |

D Lernen

D1 Wie beurteilen Sie die Ambulanz in Bezug auf...

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

- | | |
|---|--|
| 1 | ... das Fachwissen? |
| 2 | ... die Sozialkompetenz? |
| 3 | ... Veränderungsbereitschaft und Flexibilität? |
| 4 | ... Lernen durch interne und externe Vergleiche mit anderen Abteilungen bzw. Krankenhäusern? |
| 5 | ... gezielten Wissens- und Erfahrungsaustausch? |

Anhang

E Organisation und Zusammenarbeit

Wie beurteilen Sie die derzeitige Organisation der Ambulanz in Bezug auf...
E1

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
----------	-----	--------------	------------

- 1 ... die Patientenausrichtung ("Inwieweit richtet sich mein Tun und Handeln am Patienten aus?")?
- 2 ... die Eindeutigkeit der Aufgabenzuordnung?
- 3 ... Klarheit und Verständlichkeit der Organisation?
- 4 ... die Qualität von Kommunikations- und Abstimmprozessen?

E2 Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit...

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend
----------	-----	--------------	------------

- 1 ... innerhalb der Ambulanz?
- 2 ... zwischen der Ambulanz und dem Labor?
- 3 ... zwischen der Ambulanz und der Sonographie?
- 4 ... zwischen der Ambulanz und der Radiologie?
- 5 ... zwischen der Ambulanz und dem Geschäftszimmer?
- 6 ... zwischen der Ambulanz und dem Archiv?

Wie beurteilen Sie insgesamt die Zusammenarbeit innerhalb der Ambulanz?
E3

sehr gut	gut	befriedigend	ungenügend

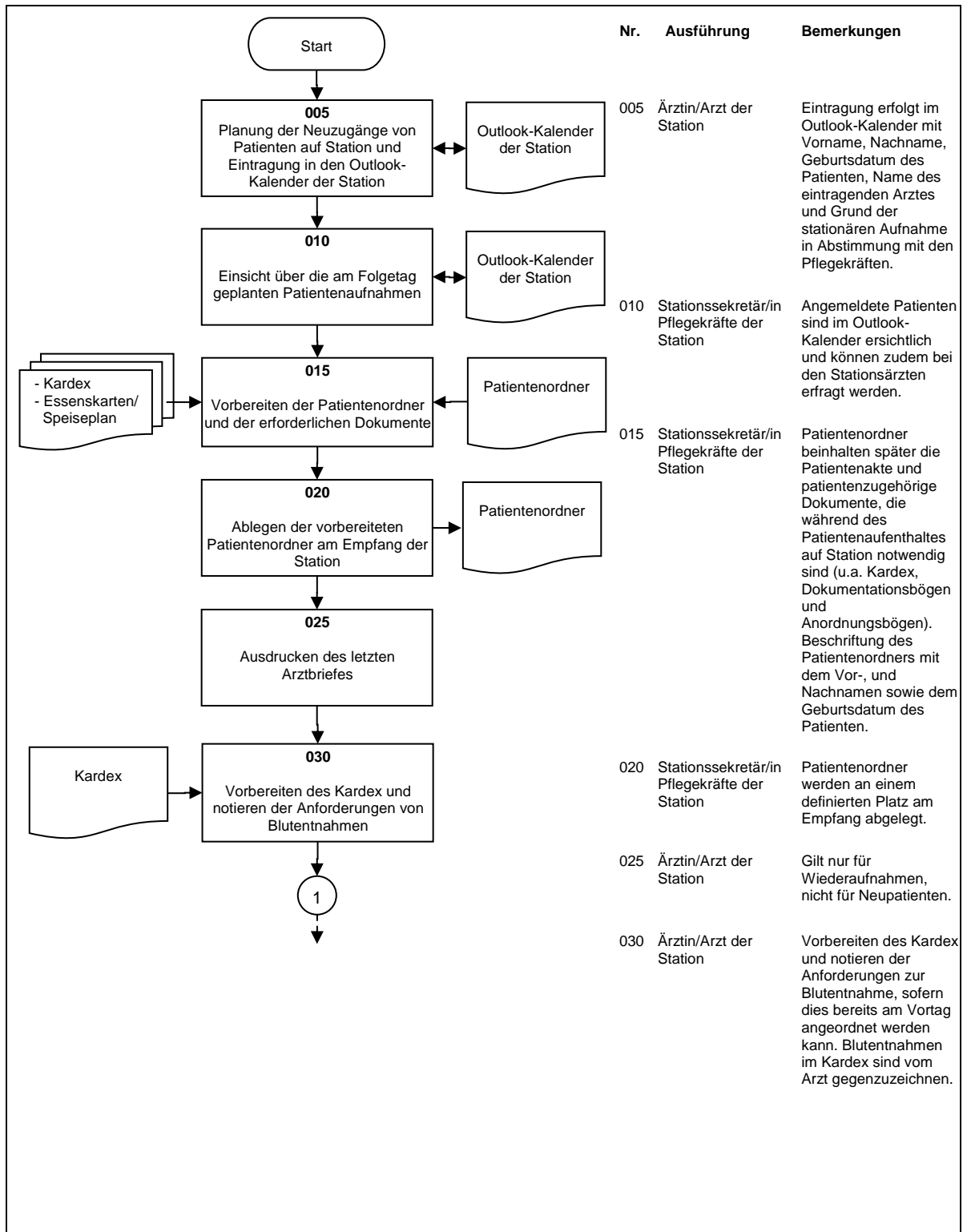
Bitte kreuzen Sie Ihre Zugehörigkeit an:

Ärztin/Arzt

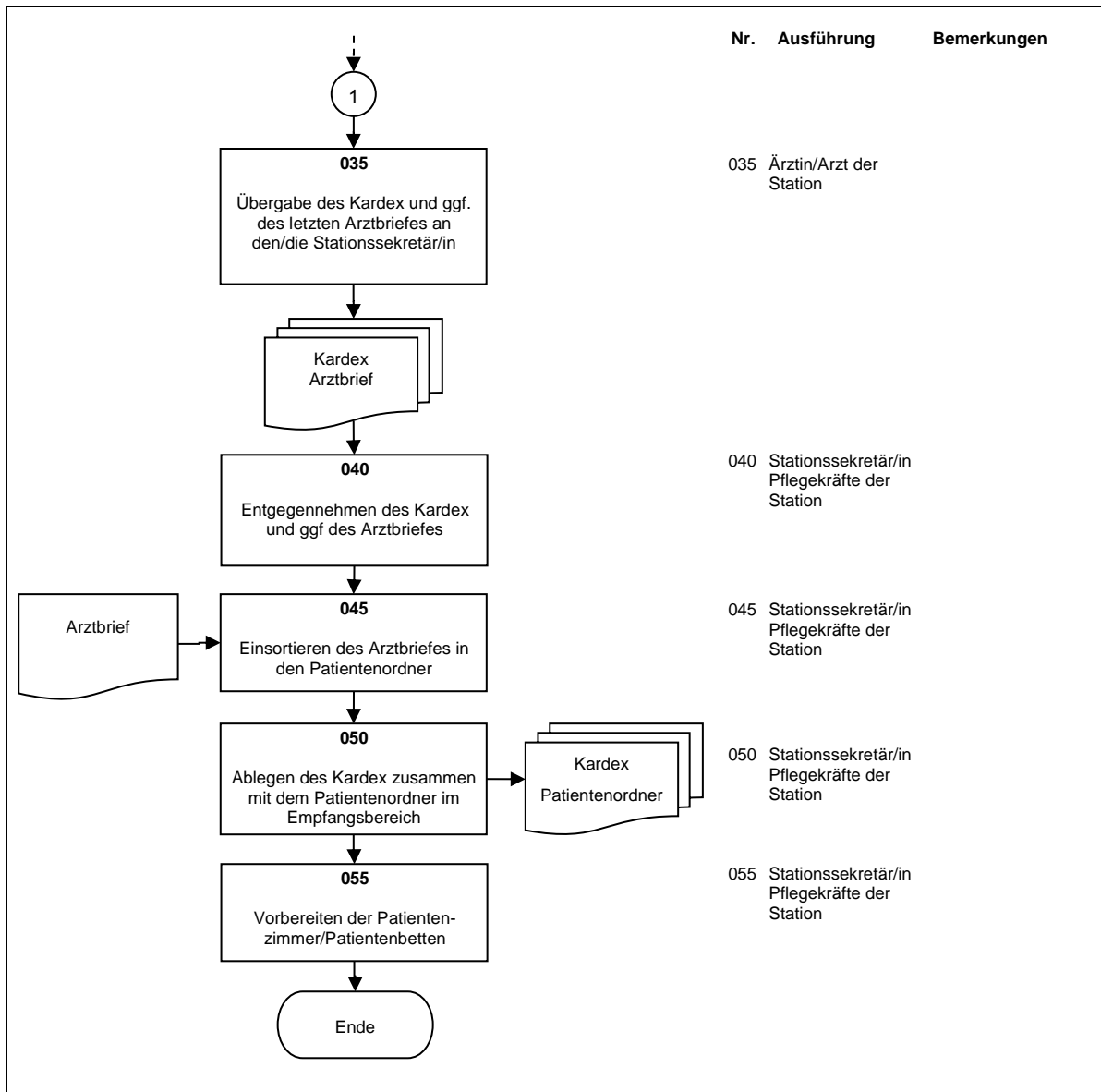
Pflegefachkraft/
Arzthelferin

Sonstige
Berufsgruppe

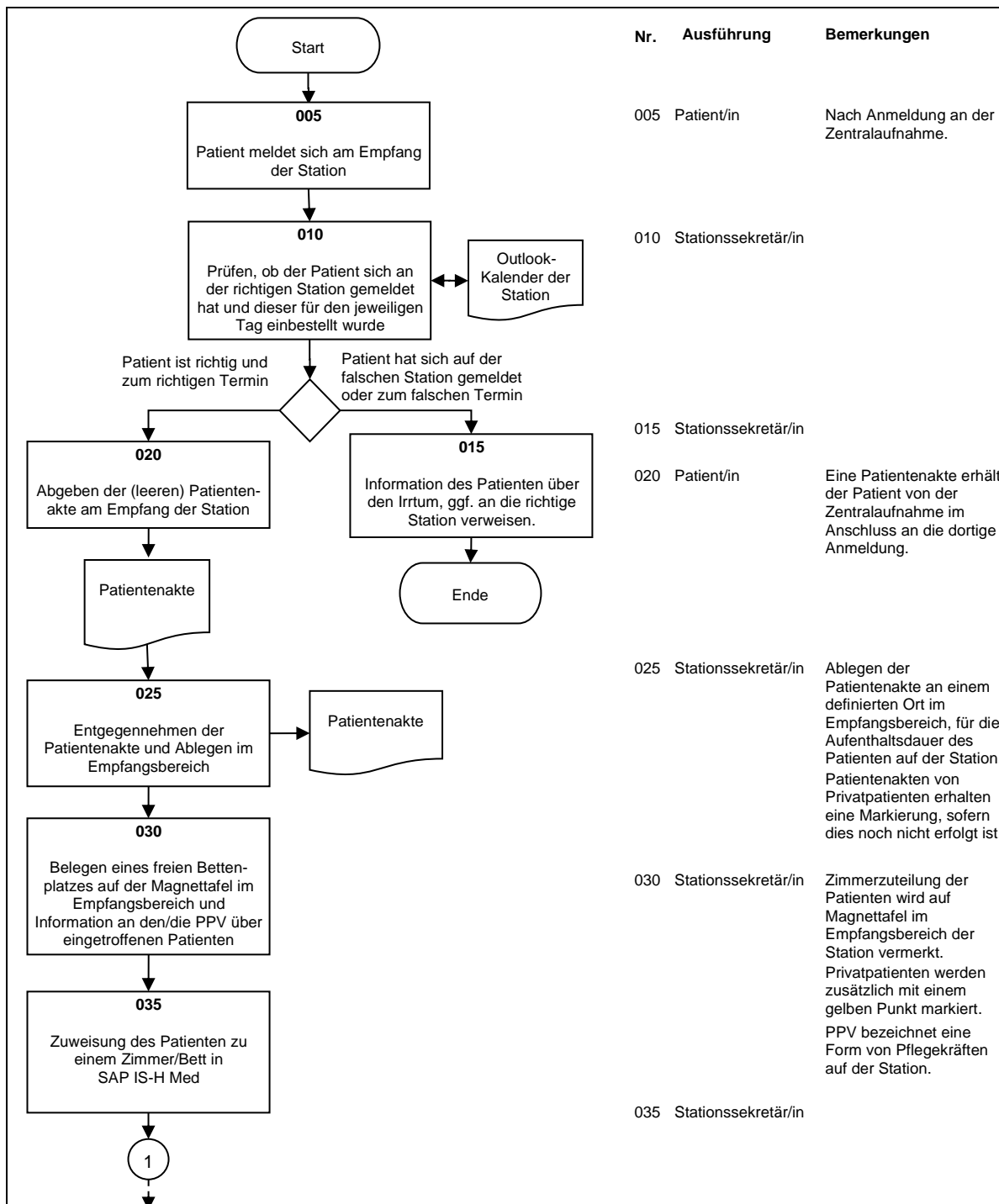
A9. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Vorbereitung der stationären Aufnahme

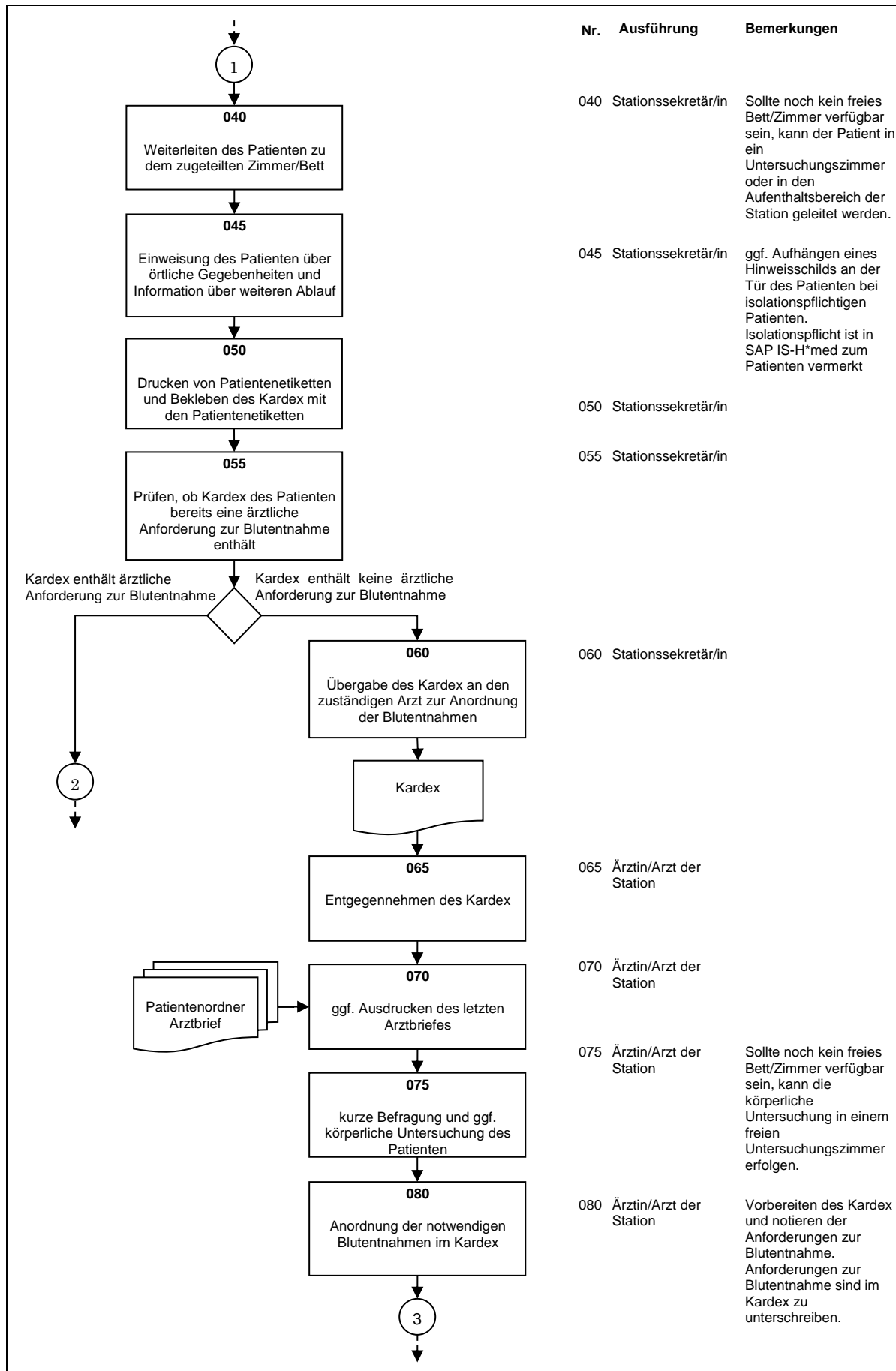


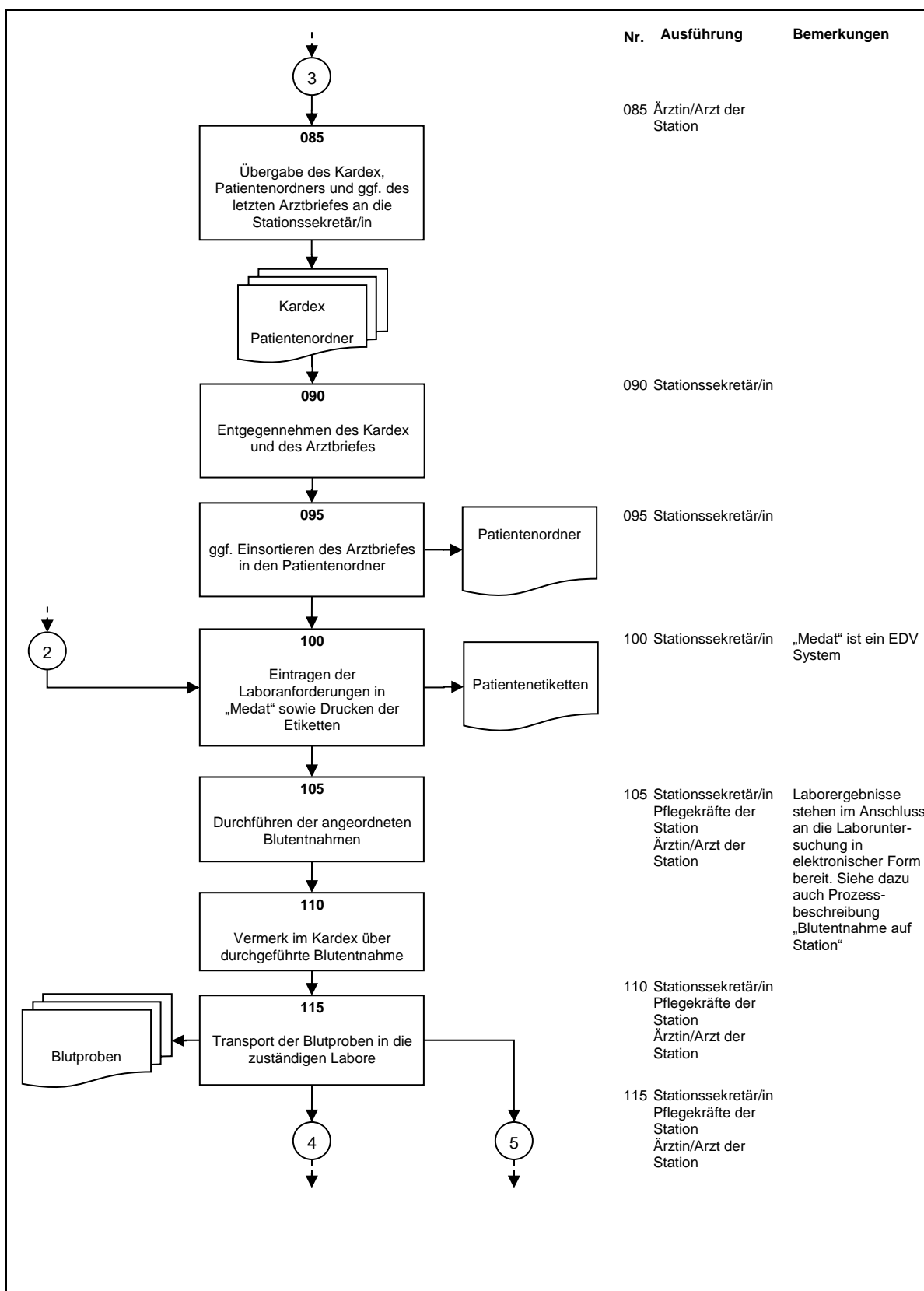
Anhang

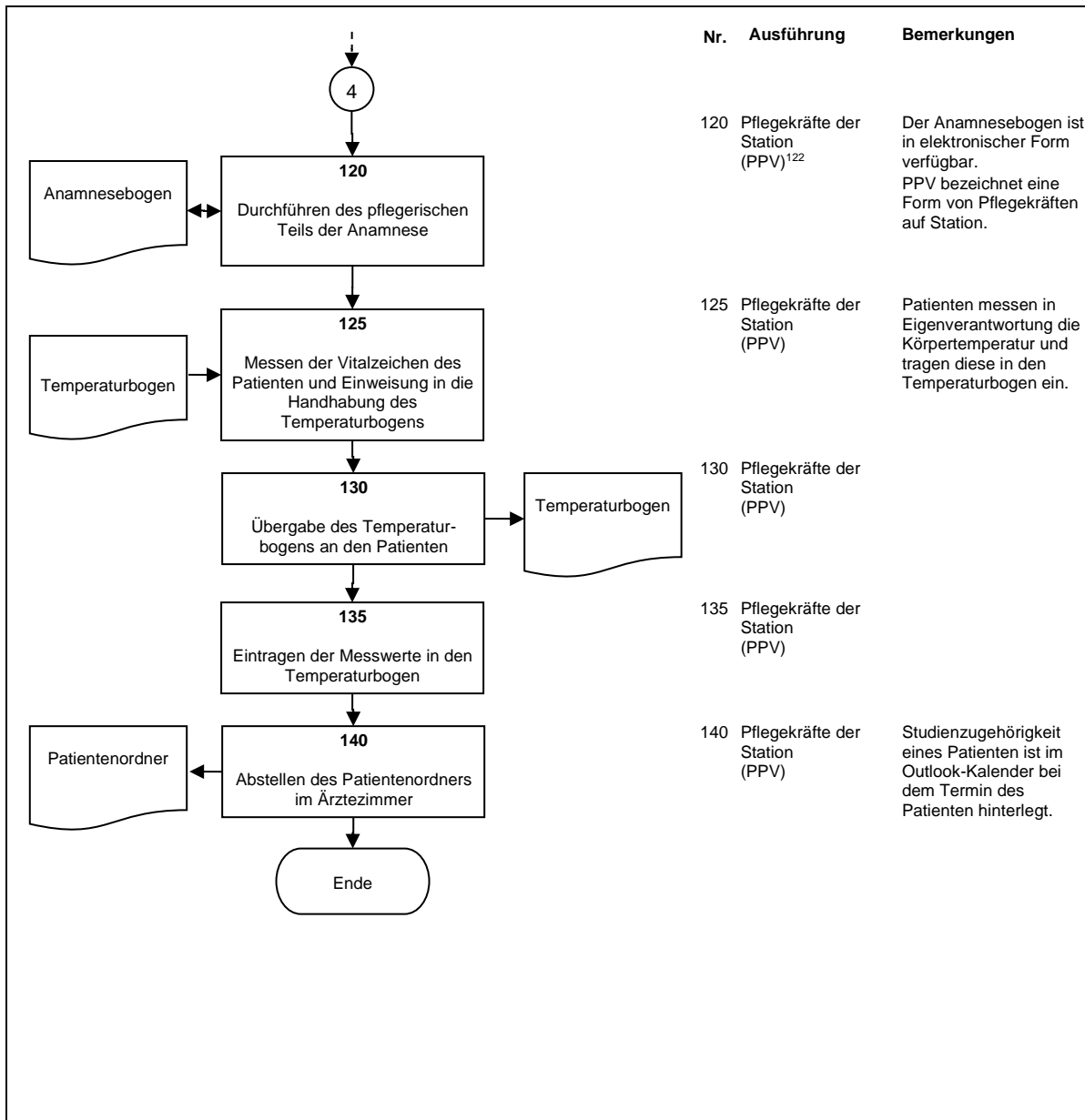


A10. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Stationäre Aufnahme

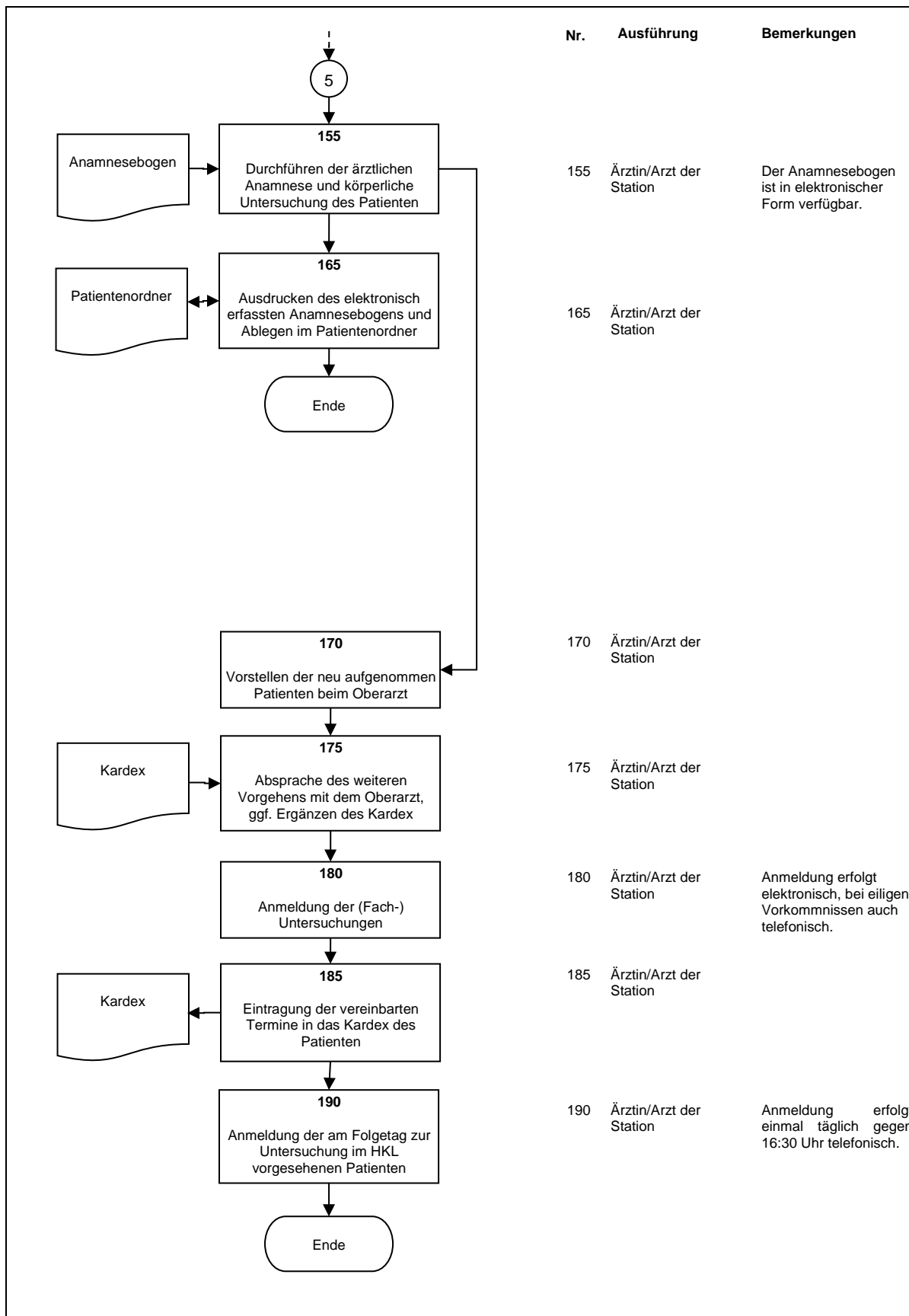




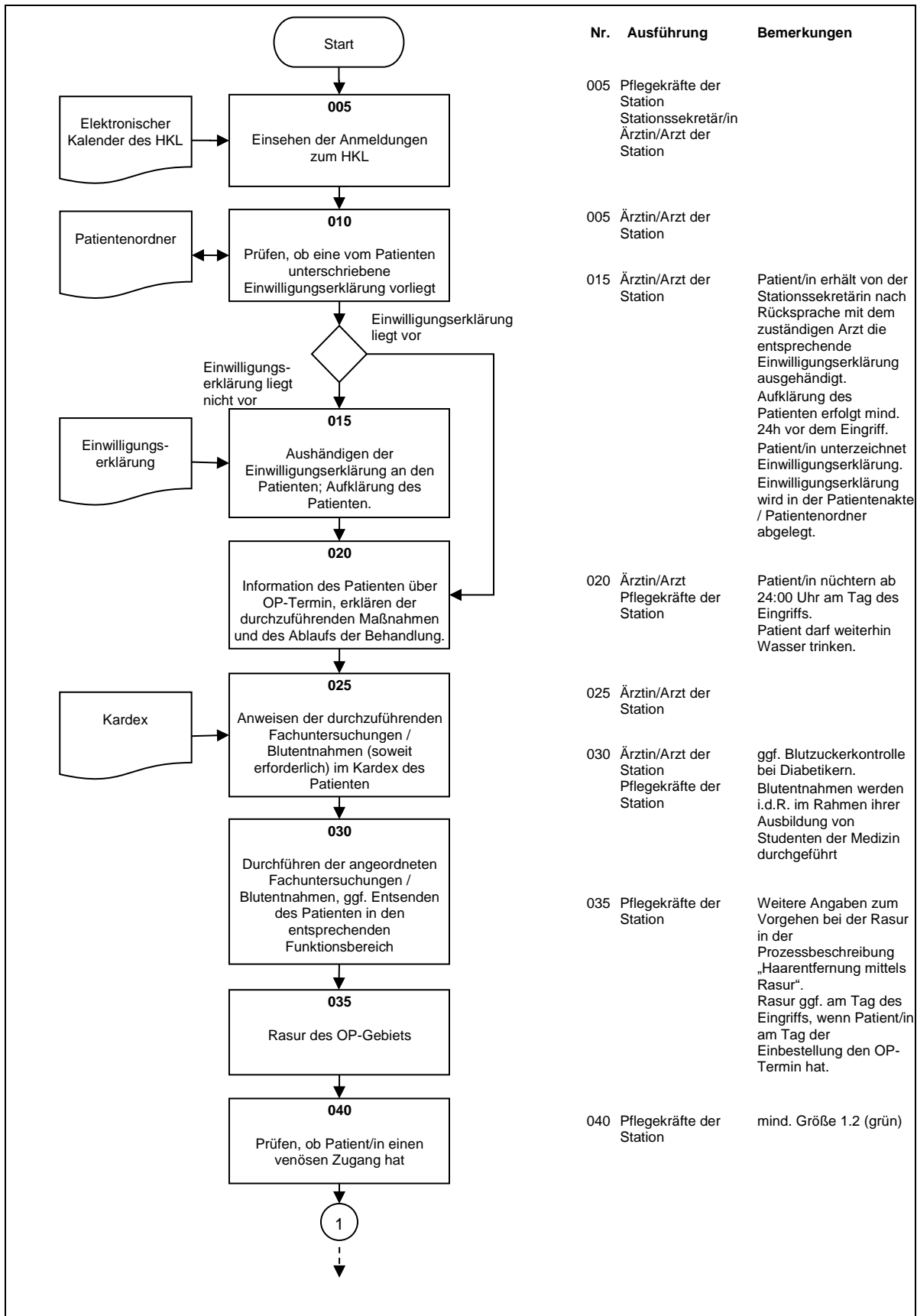


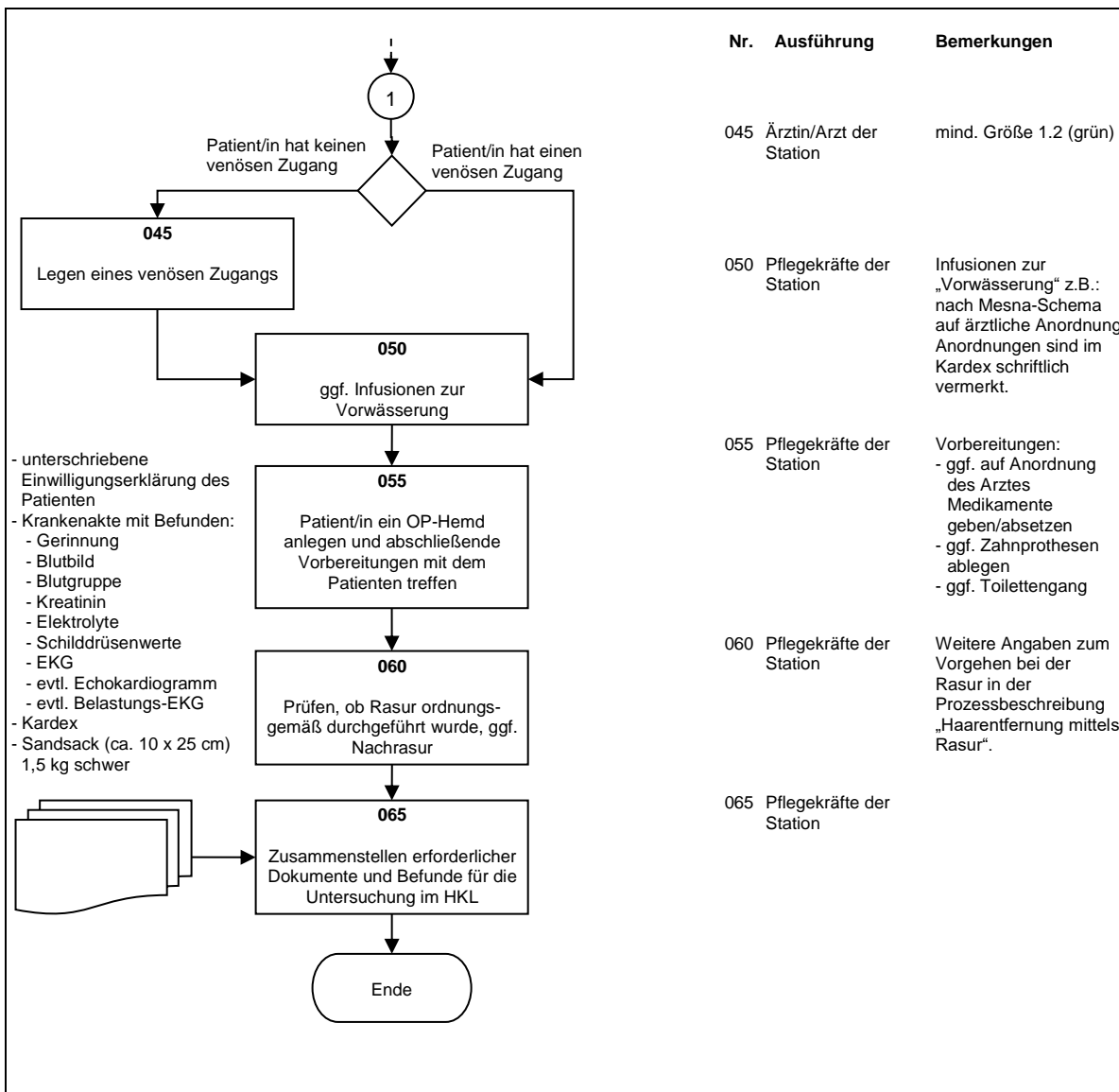


¹²² PPV bezeichnet die Stelle des pflegerischen Prozessverantwortlichen.

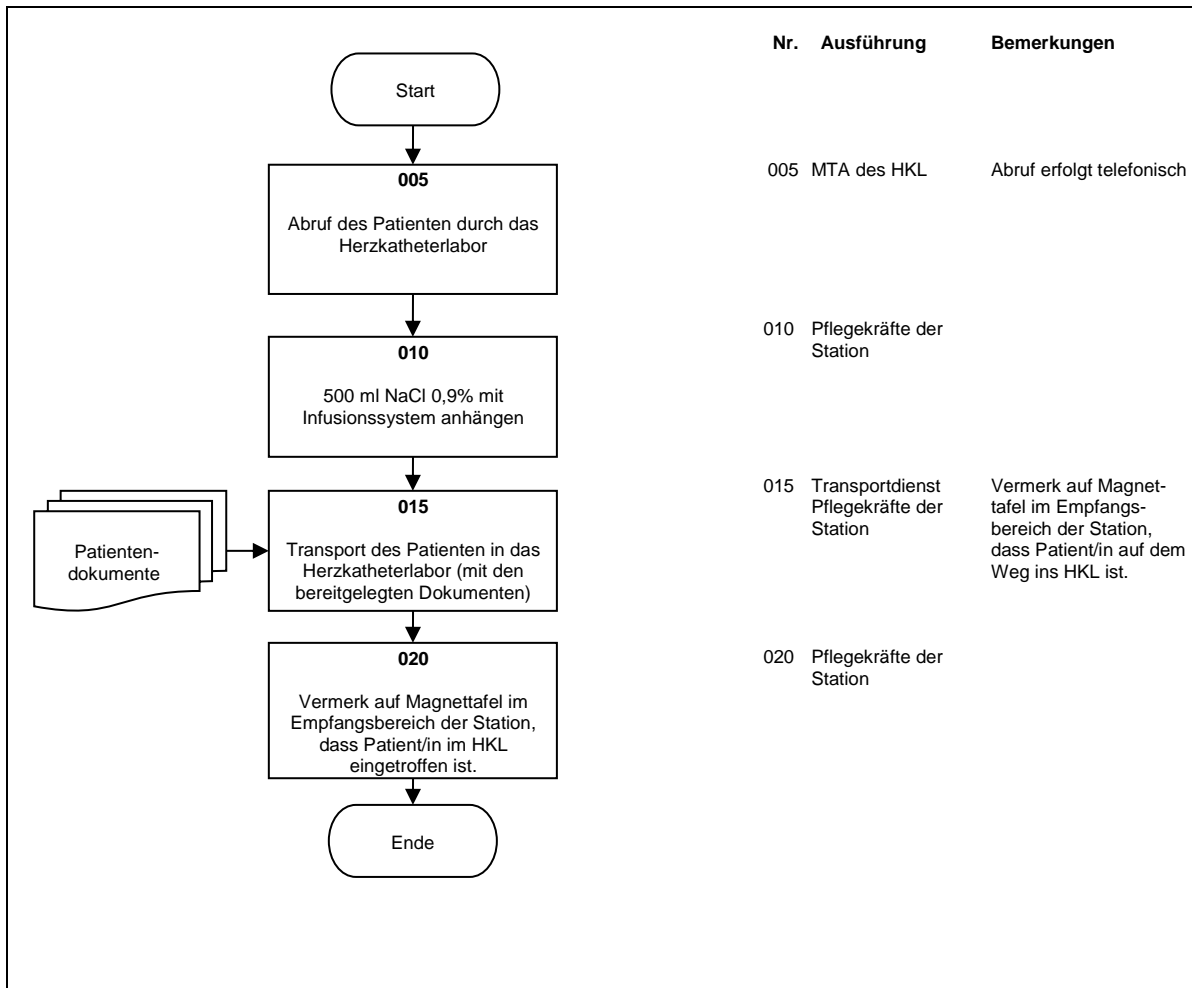


A11. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Vorbereitung der Patienten für HKL

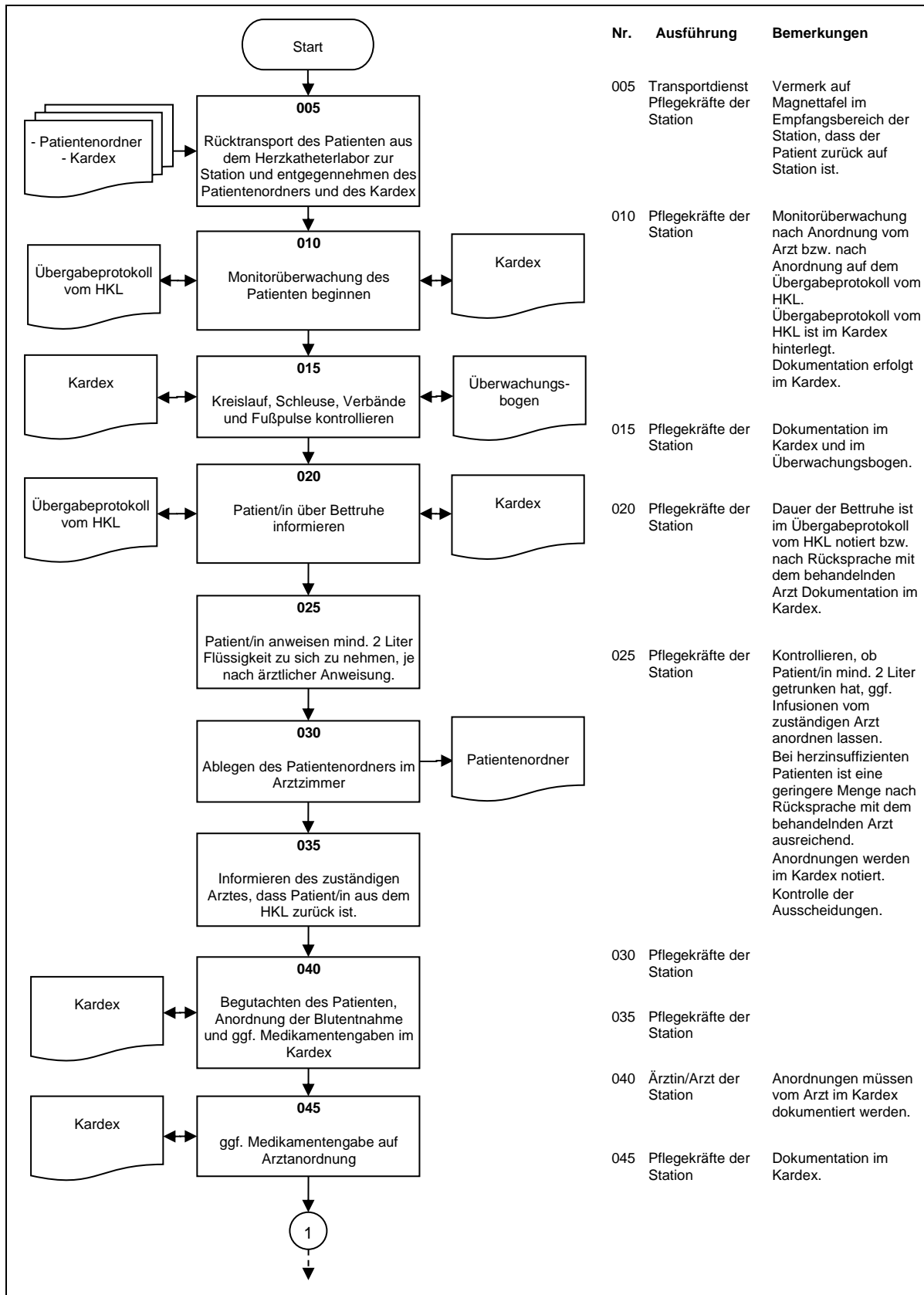


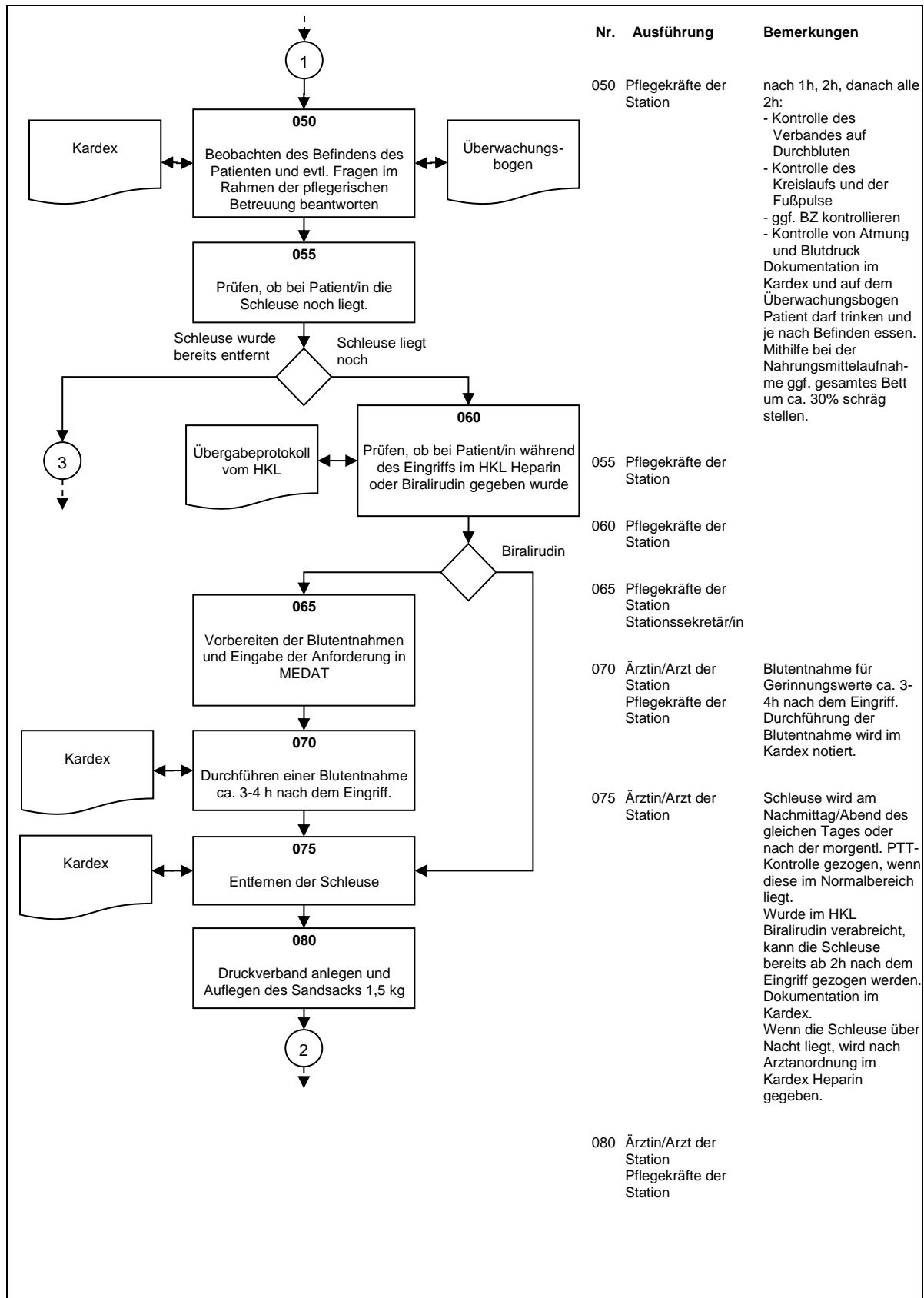


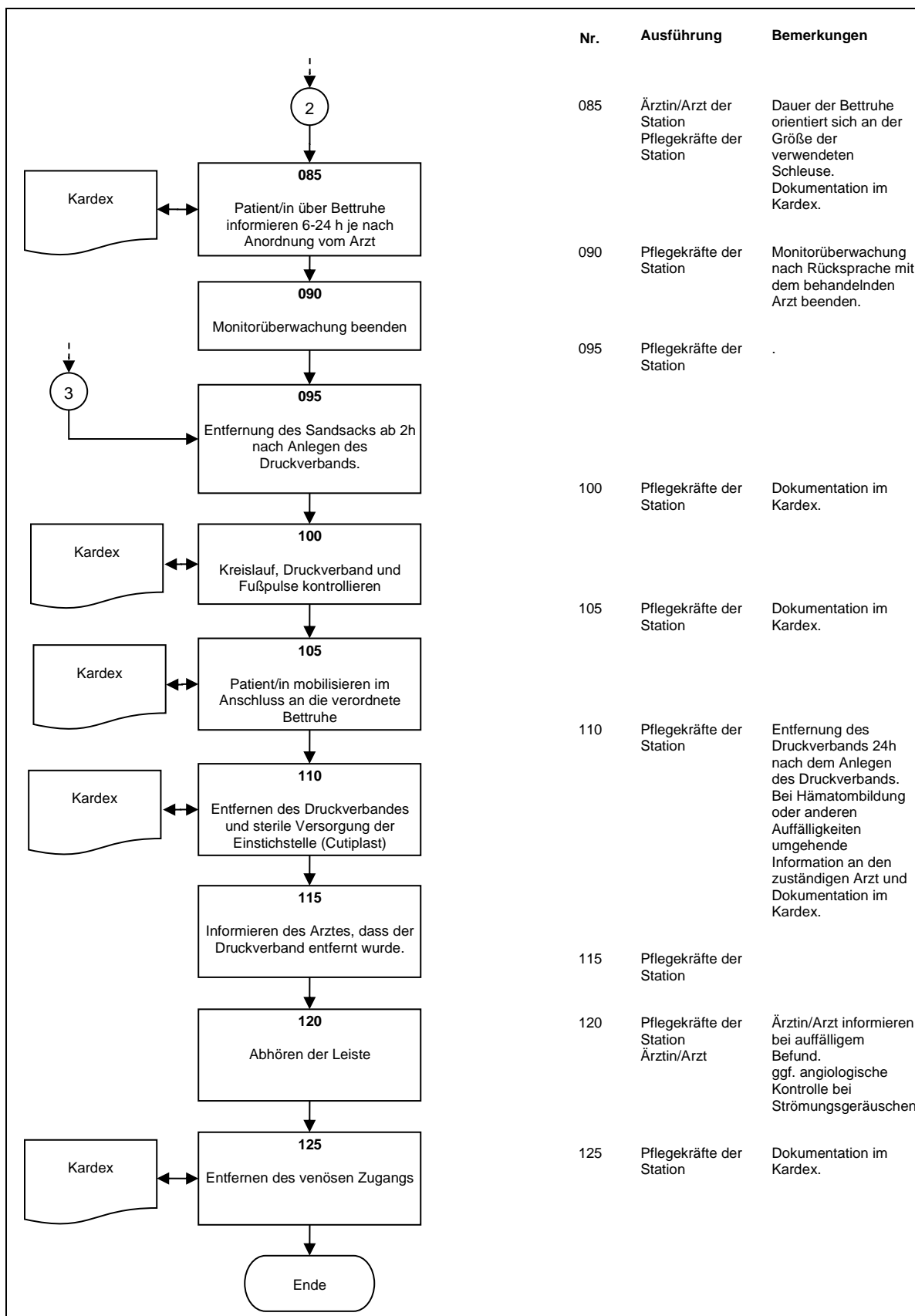
A12. Prozessablauf - Einrichtung 1 – Abruf der Patienten vom HKL



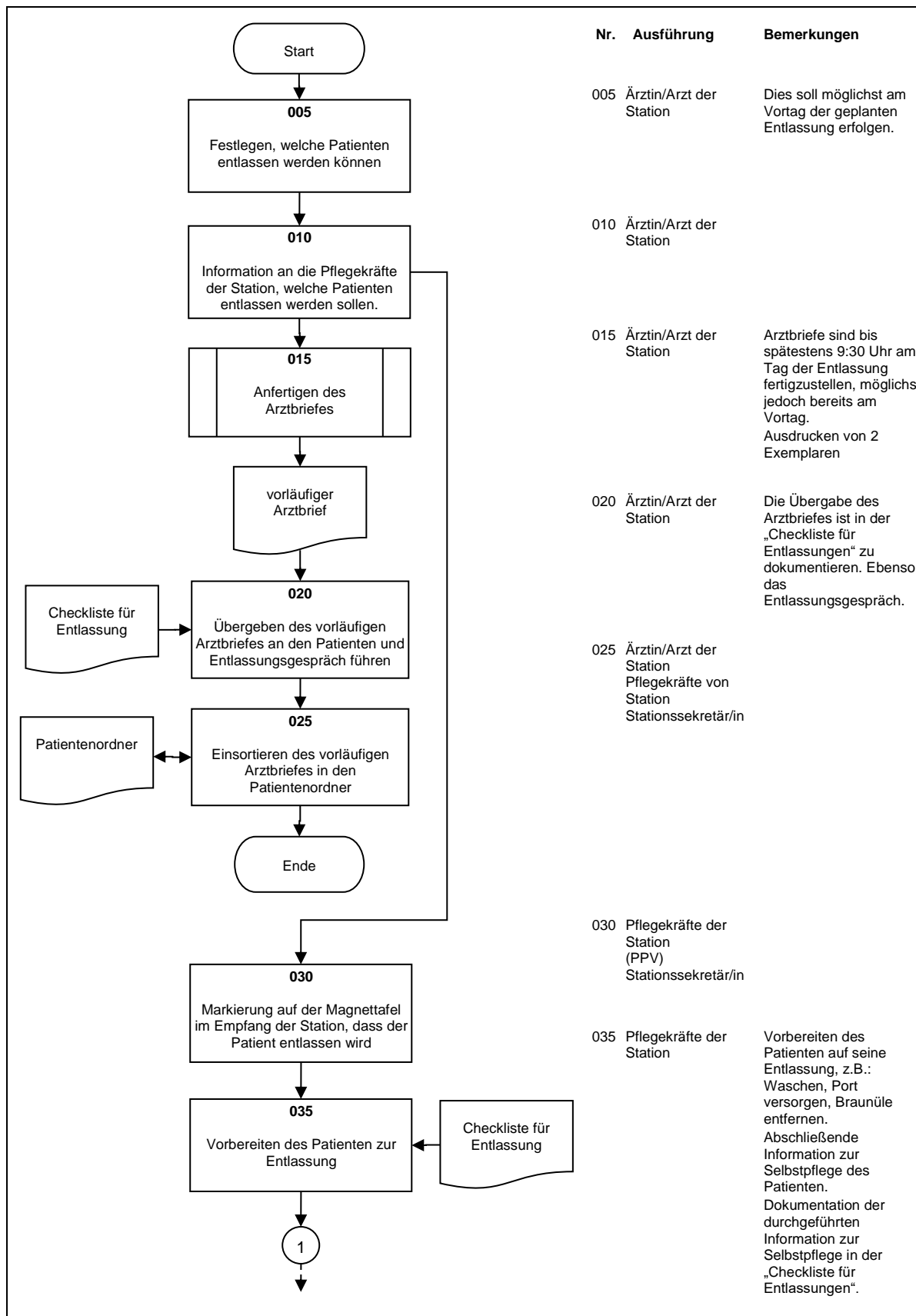
A13. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Nachbereitung der Patienten vom HKL

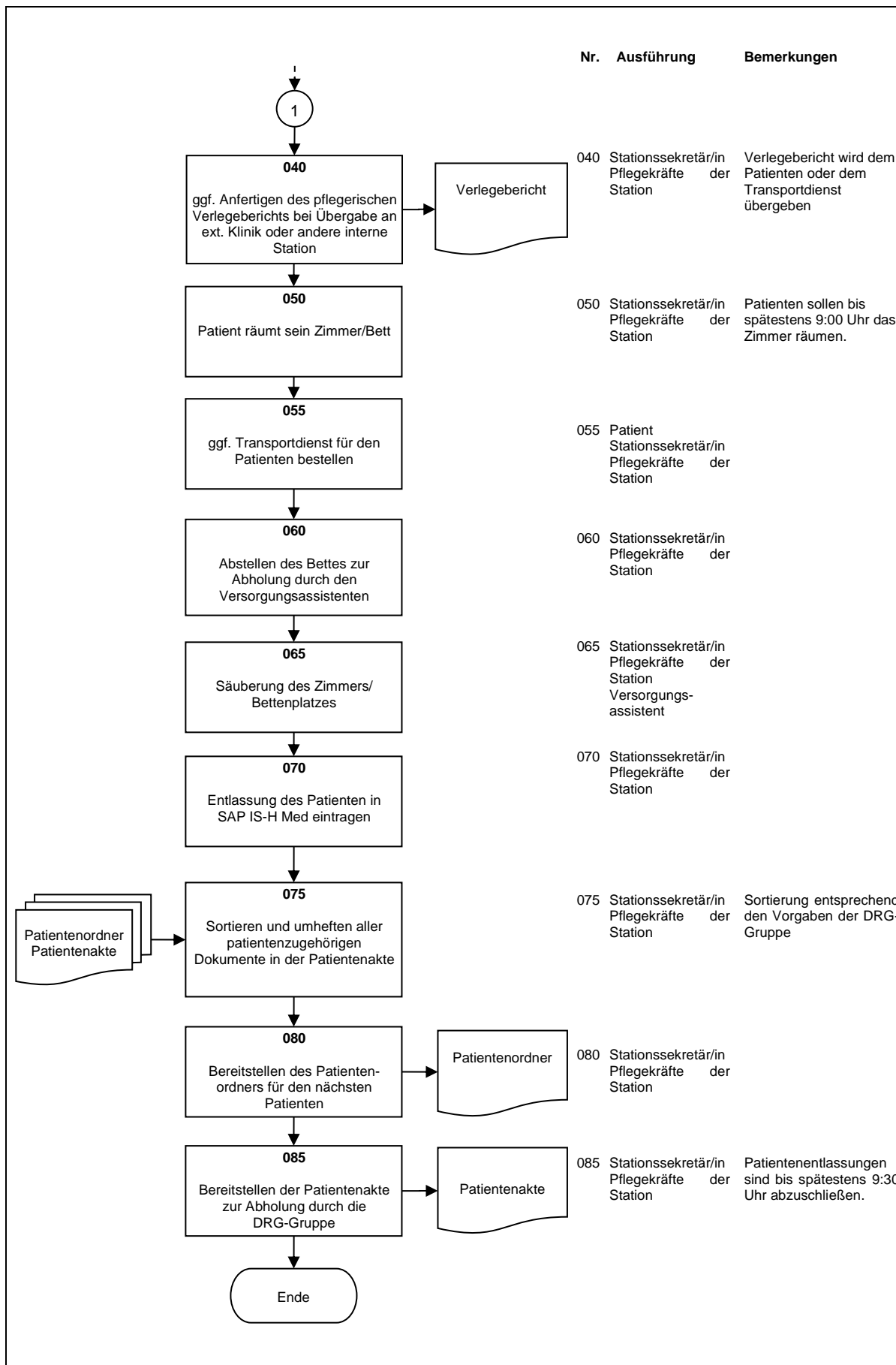




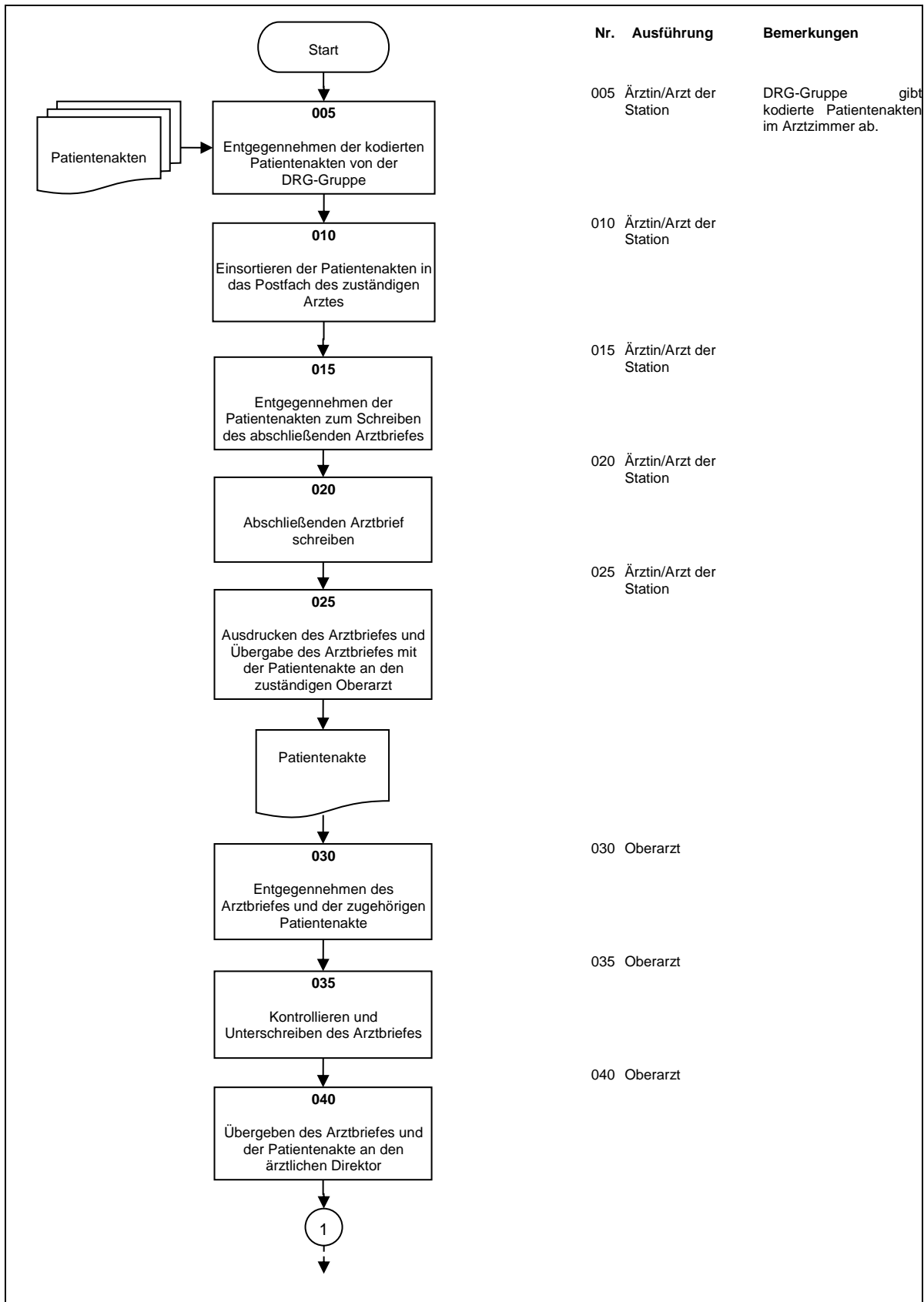


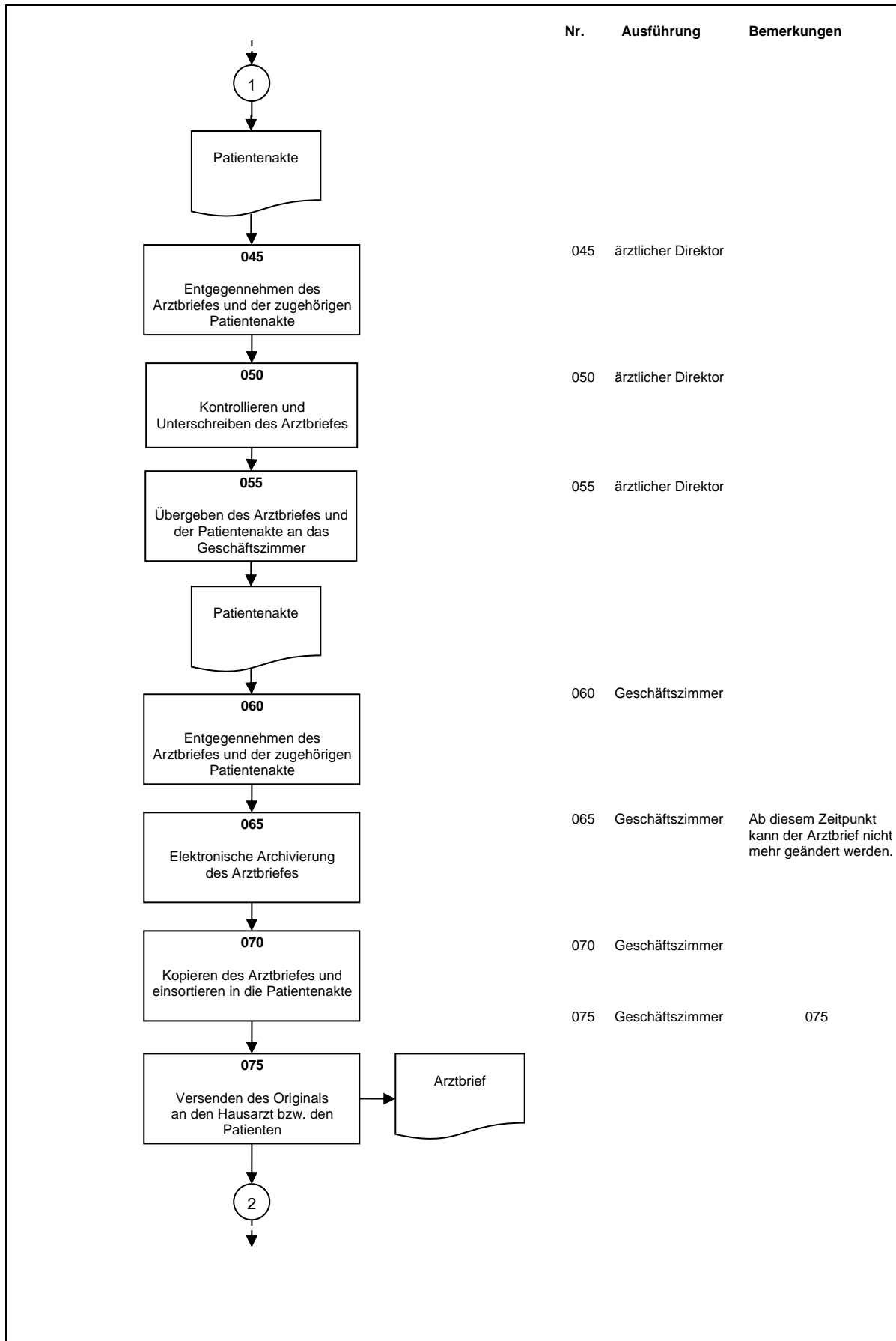
A14. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Entlassung von Station



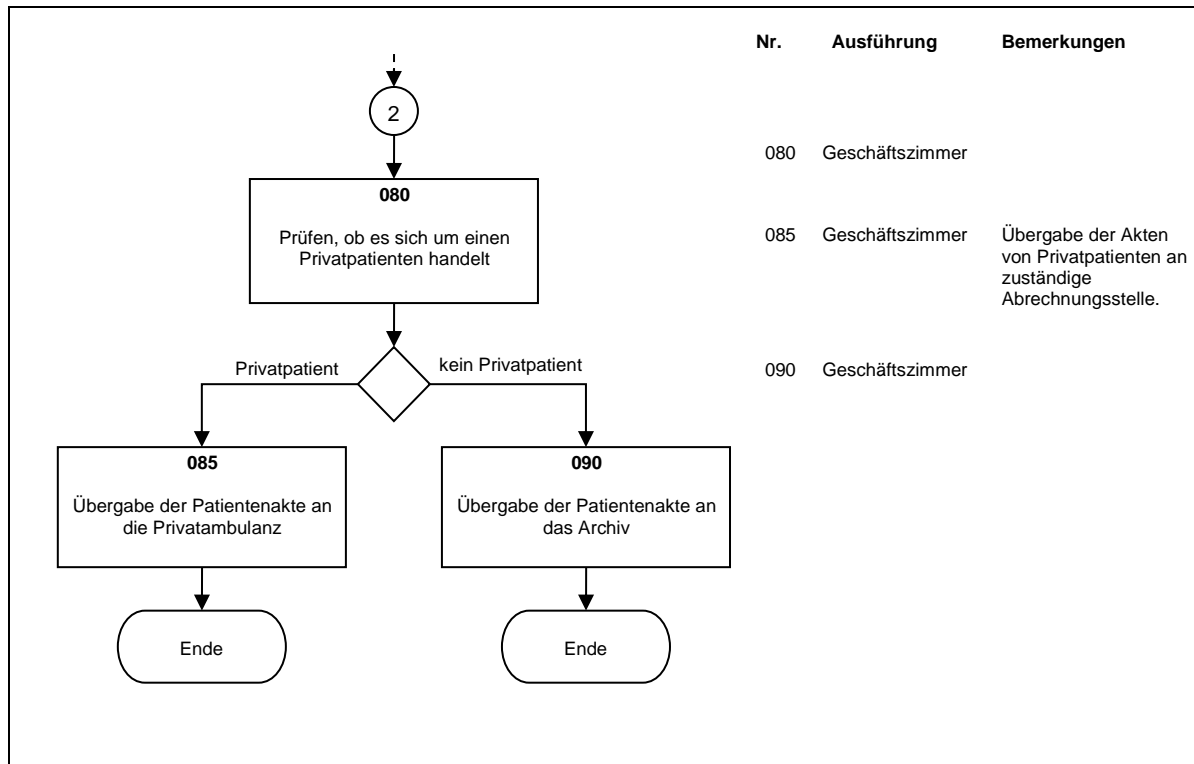


A15. Prozessablauf - Einrichtung 1 - Anfertigung des Arztbriefes

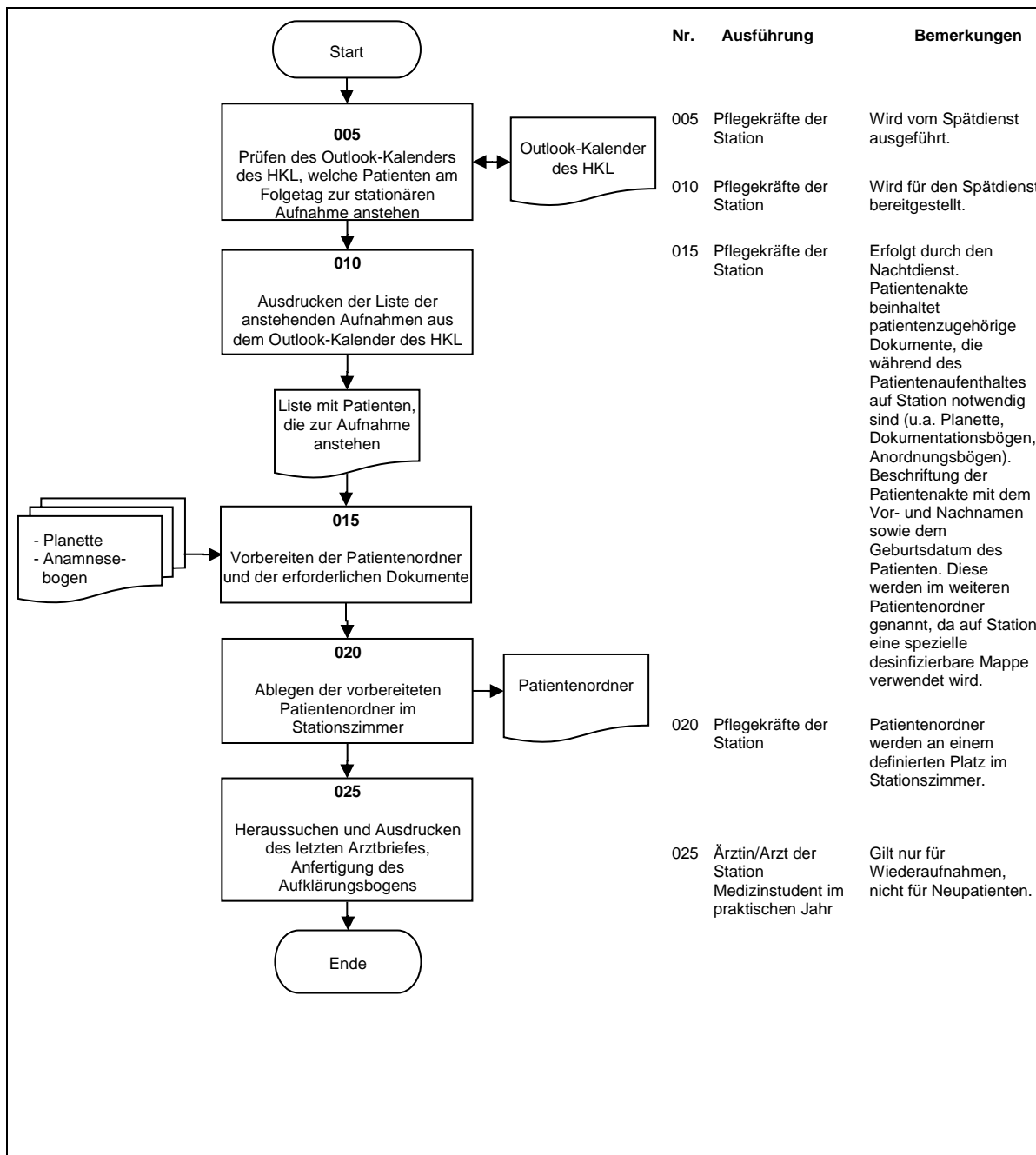




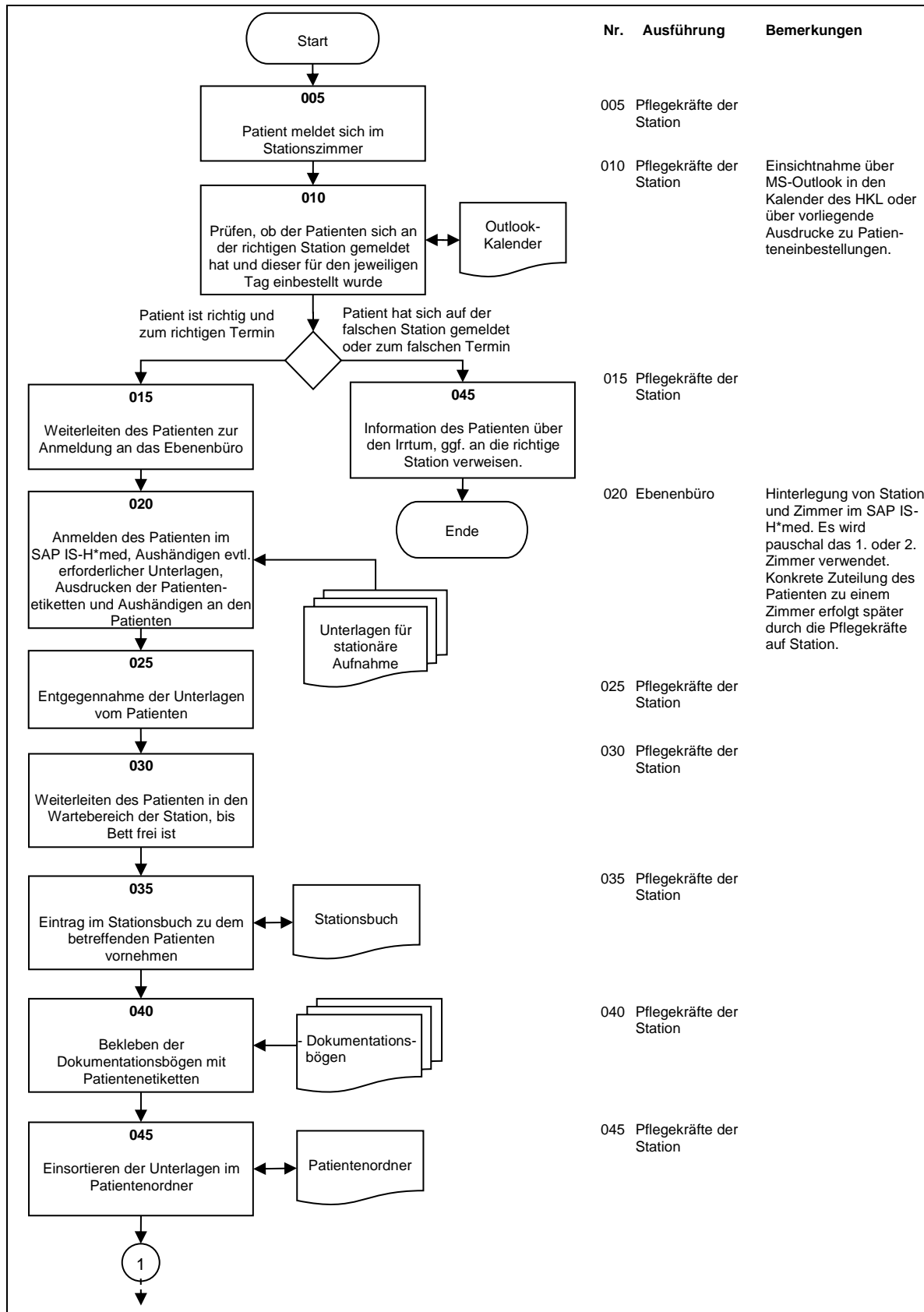
Anhang

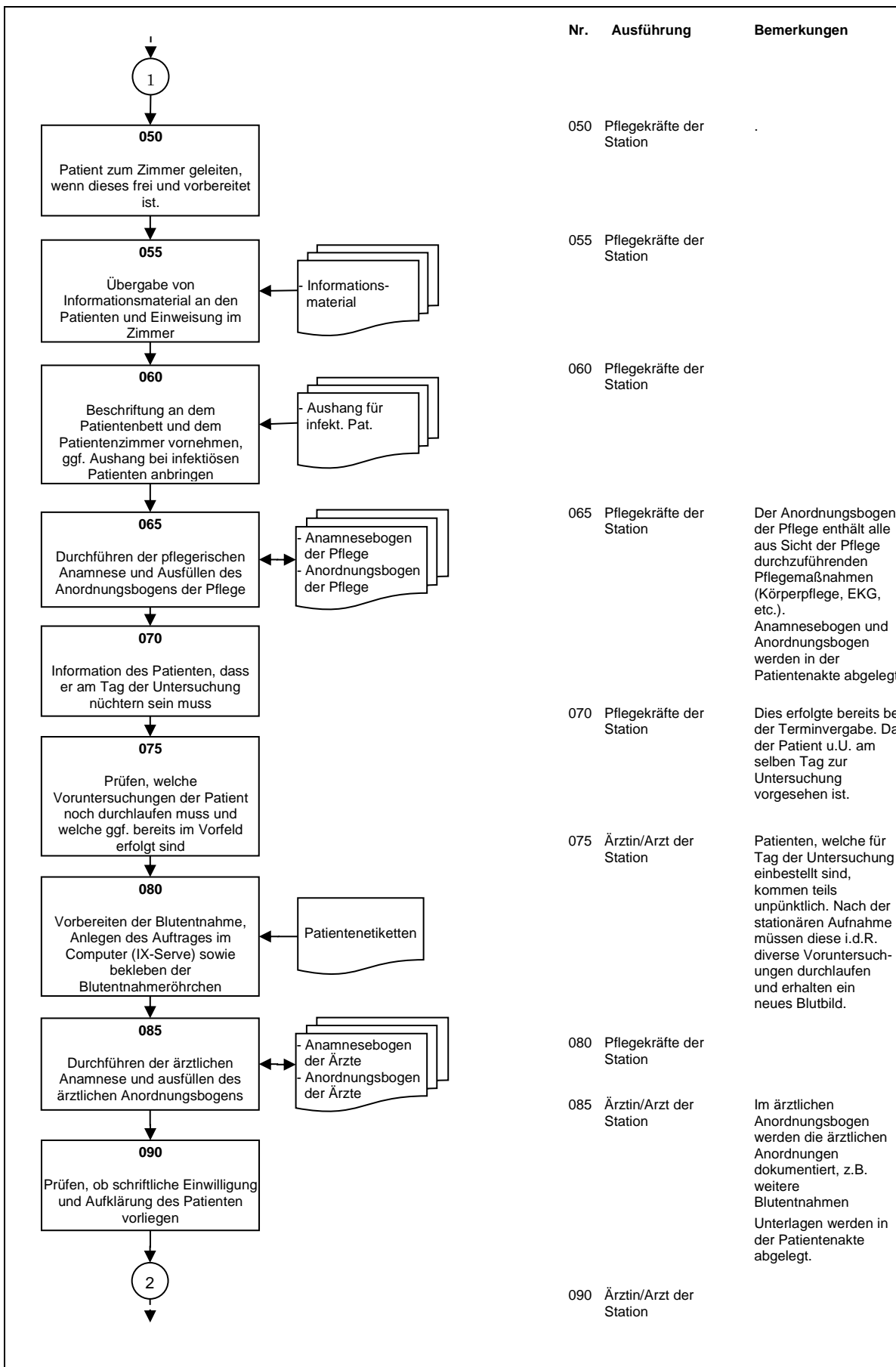


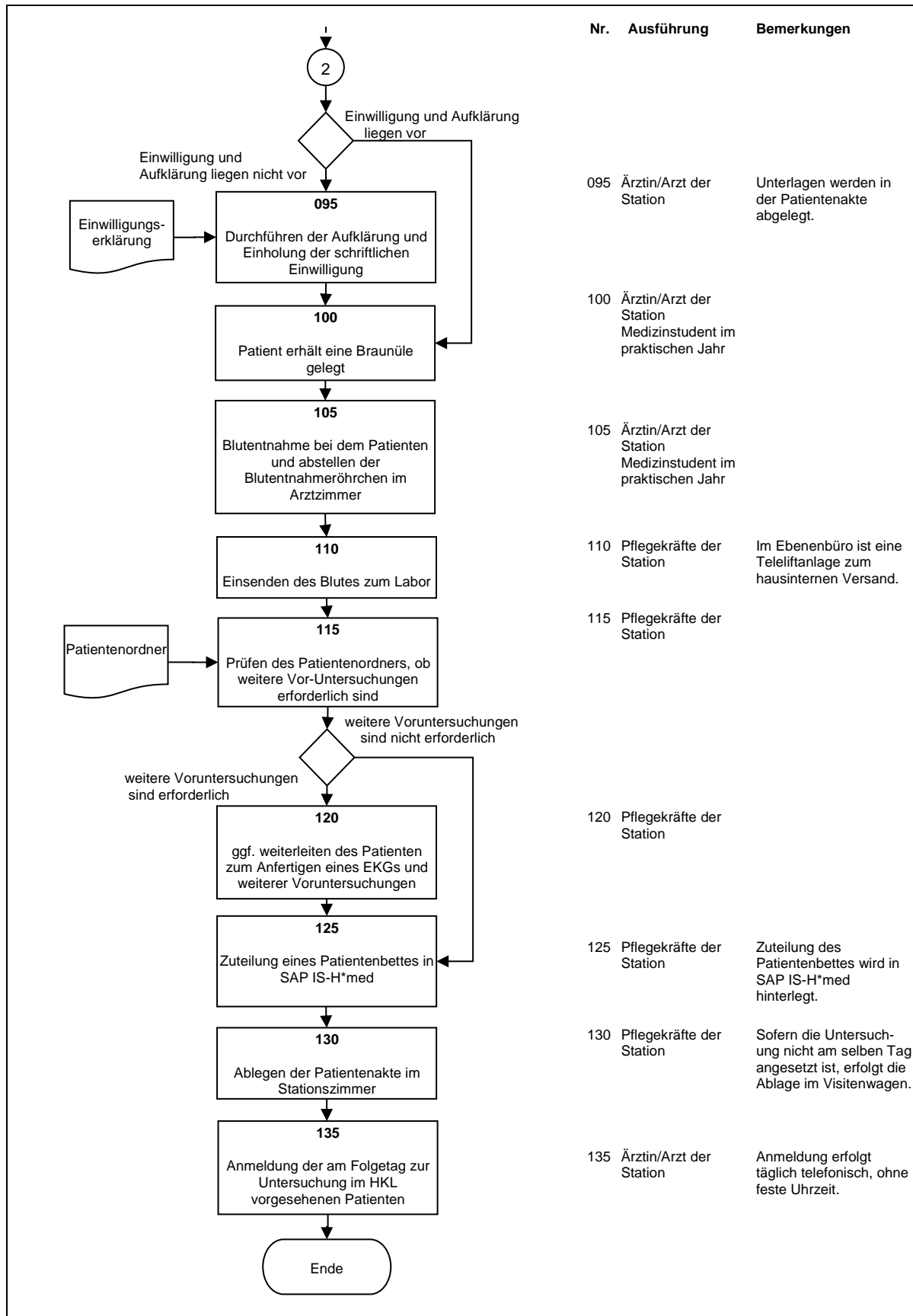
A16. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Vorbereitung der stationären Aufnahme



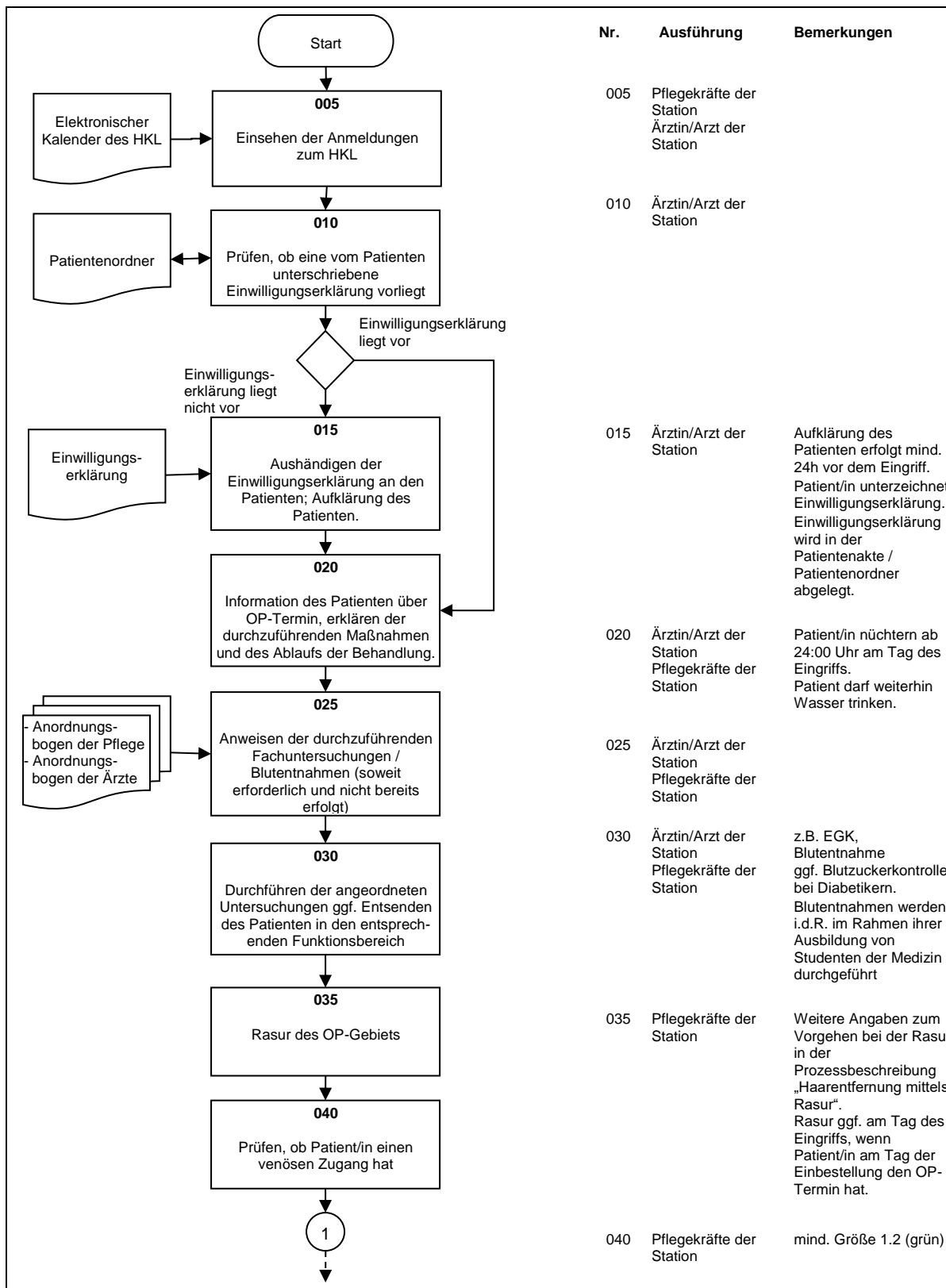
A17. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Stationäre Aufnahme



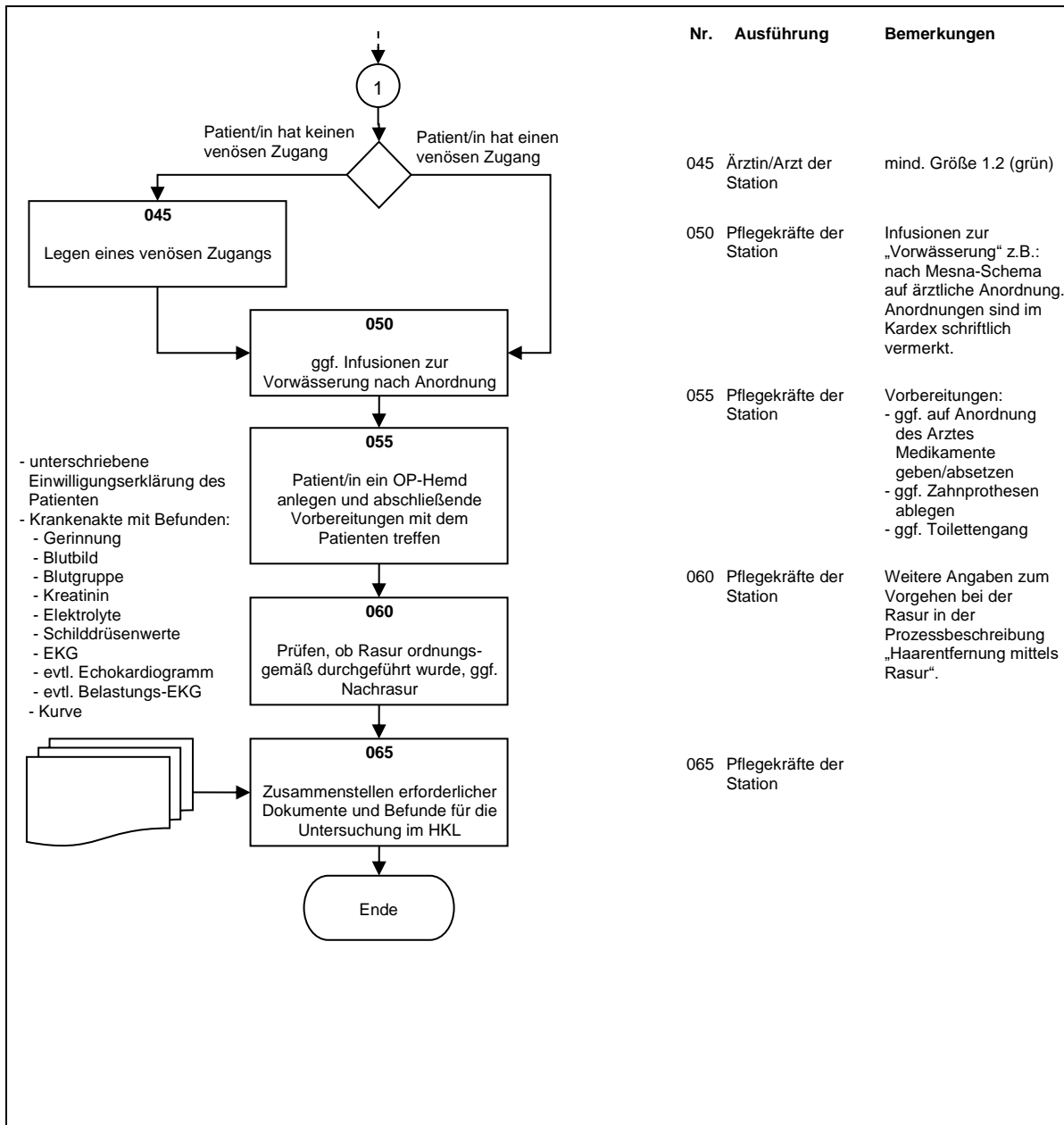




A18. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Vorbereitung der Patienten für HKL

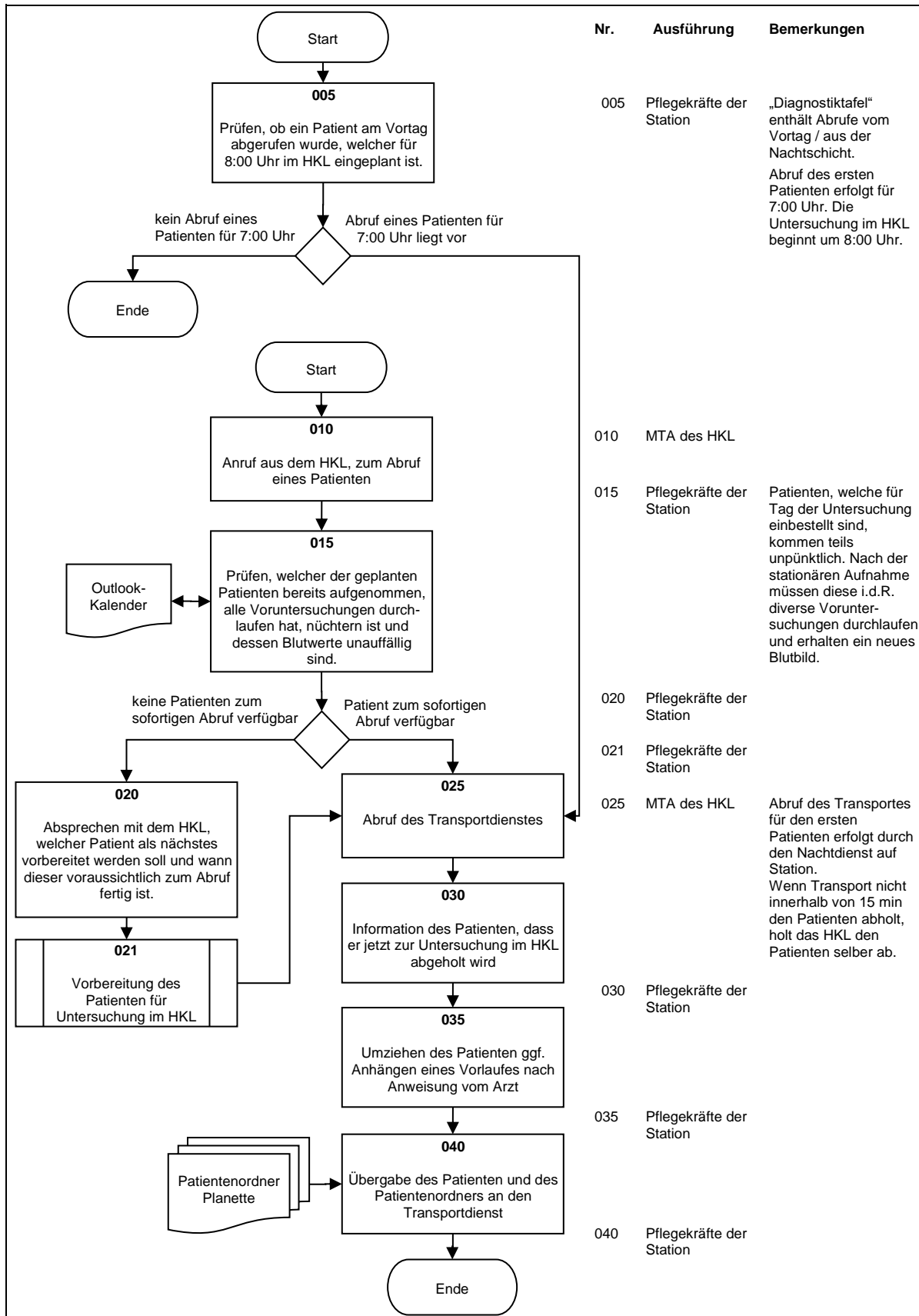


Anhang

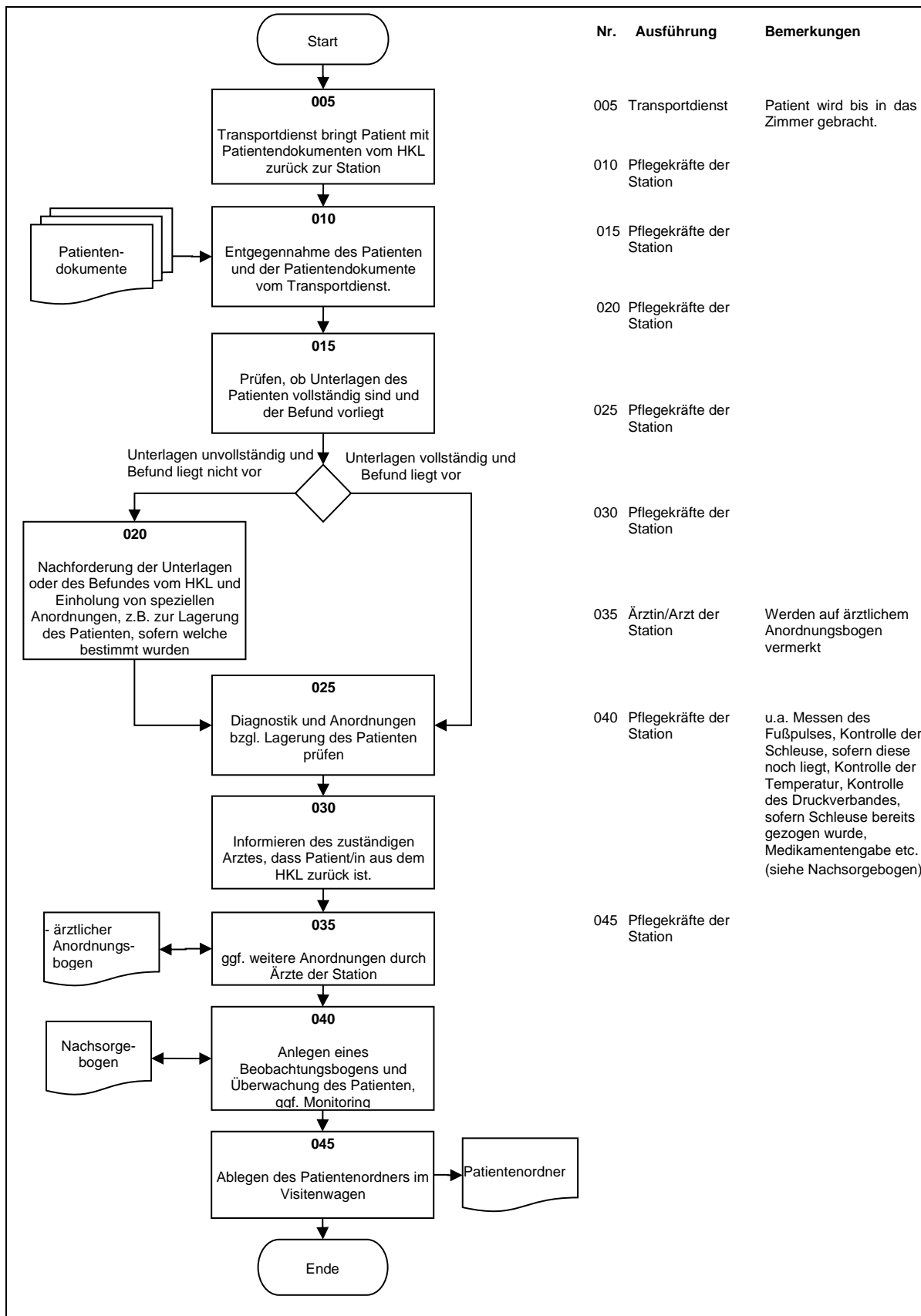


Nr.	Ausführung	Bemerkungen
045	Ärztin/Arzt der Station	mind. Größe 1.2 (grün)
050	Pflegekräfte der Station	Infusionen zur „Vorwässerung“ z.B.: nach Mesna-Schema auf ärztliche Anordnung. Anordnungen sind im Kardex schriftlich vermerkt.
055	Pflegekräfte der Station	Vorbereitungen: - ggf. auf Anordnung des Arztes Medikamente geben/absetzen - ggf. Zahnprothesen ablegen - ggf. Toilettengang
060	Pflegekräfte der Station	Weitere Angaben zum Vorgehen bei der Rasur in der Prozessbeschreibung „Haarentfernung mittels Rasur“.
065	Pflegekräfte der Station	

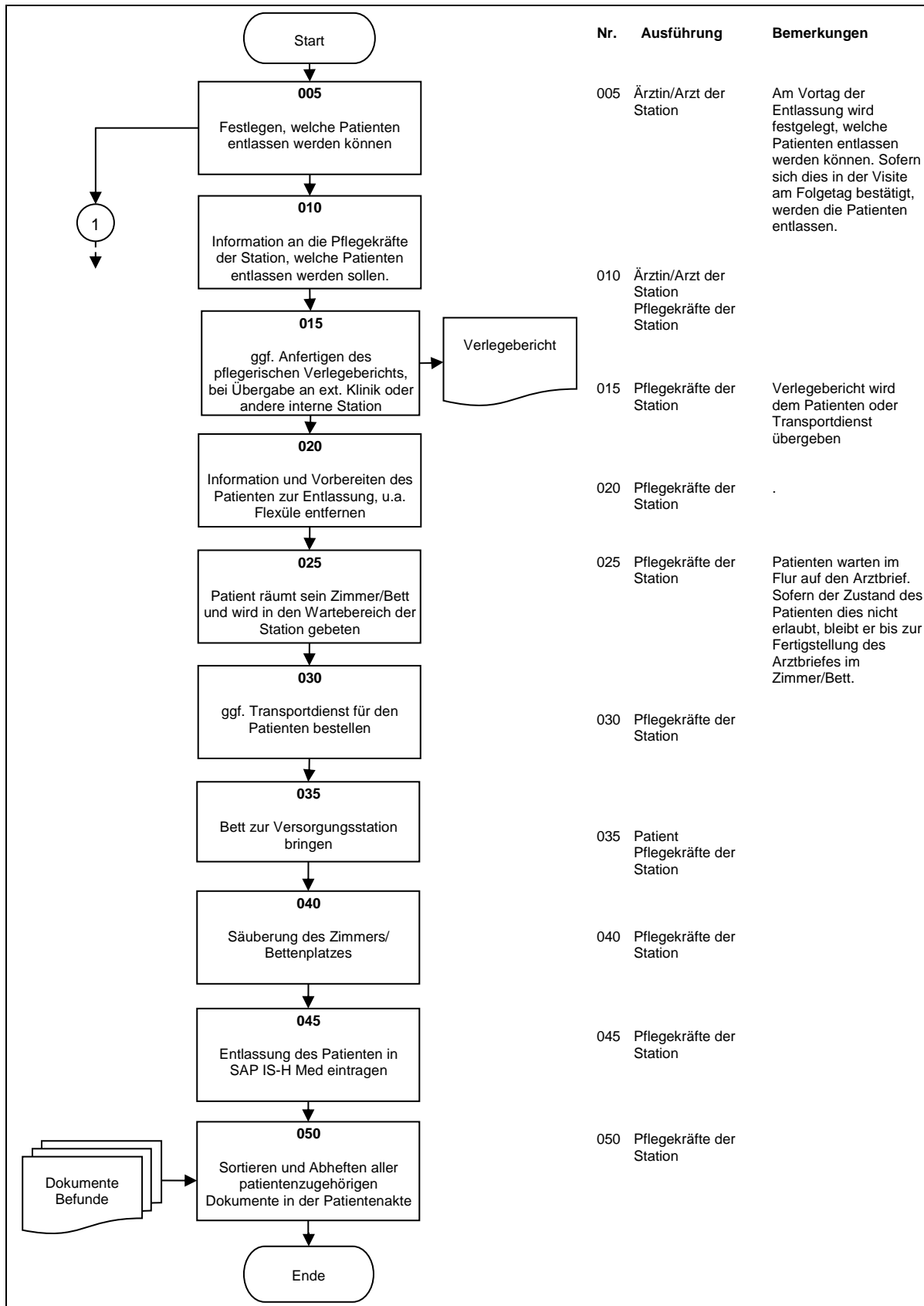
A19. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Abruf der Patienten vom HKL



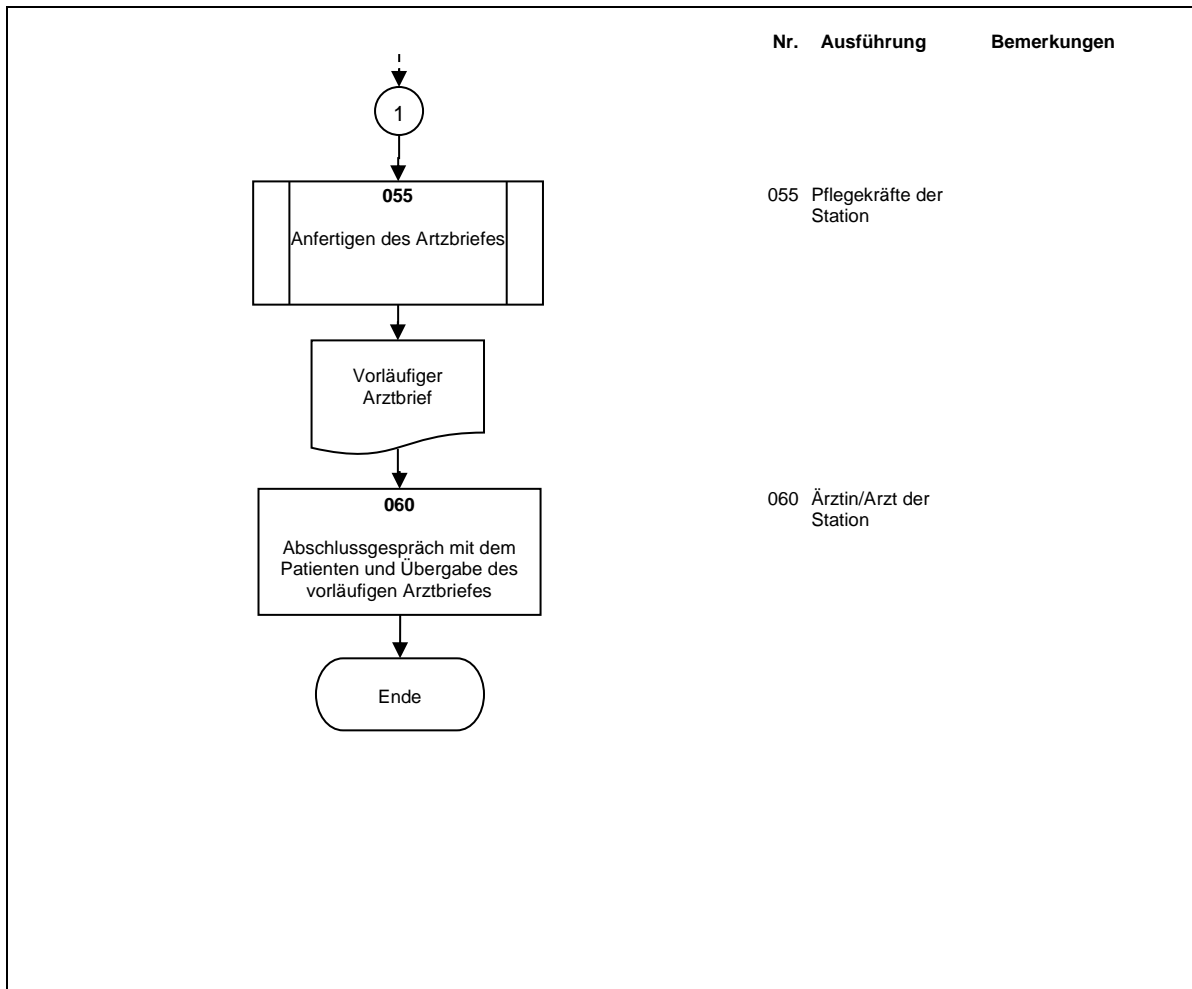
A20. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Nachbereitung der Patienten vom HKL



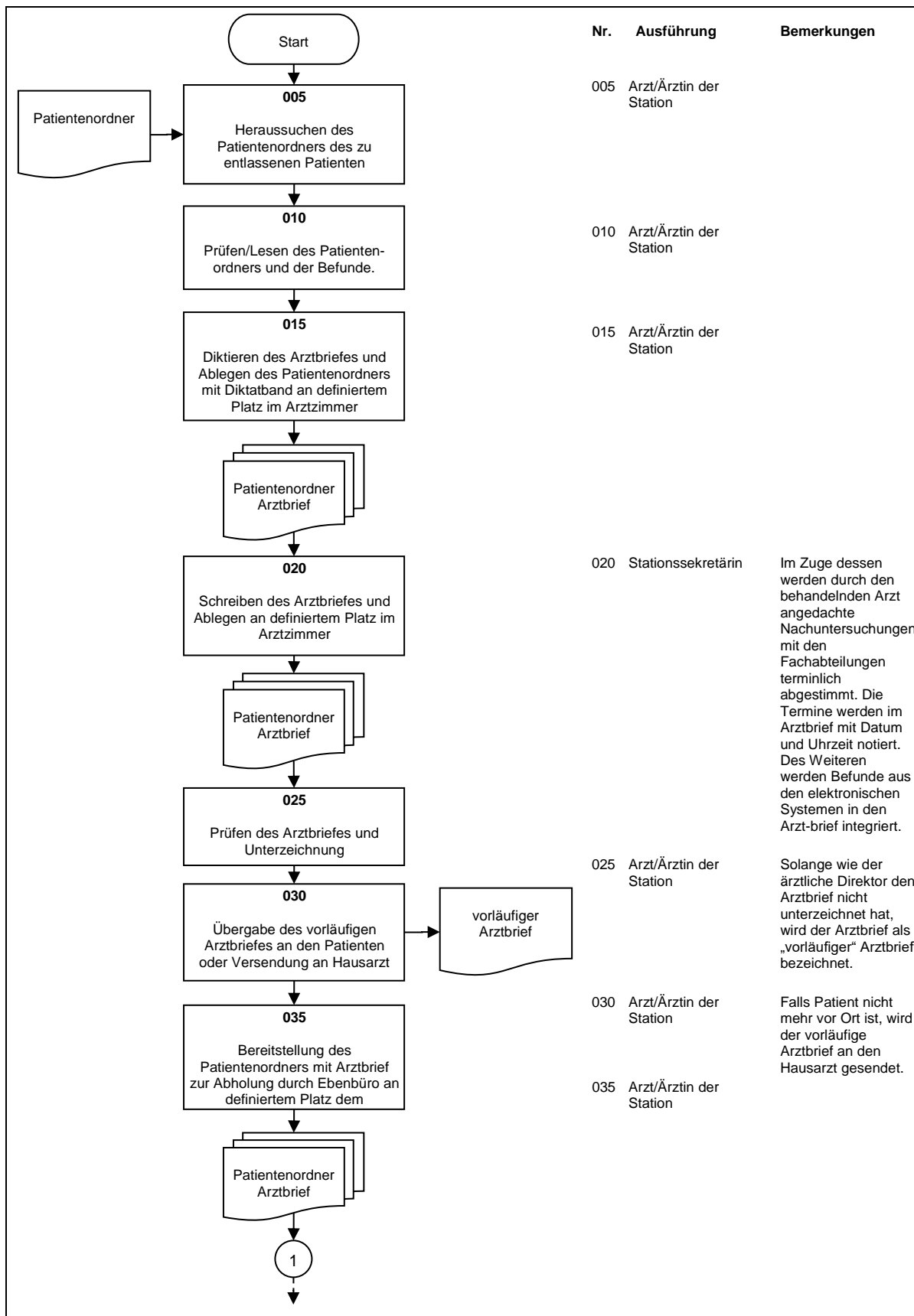
A21. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Entlassung von Station

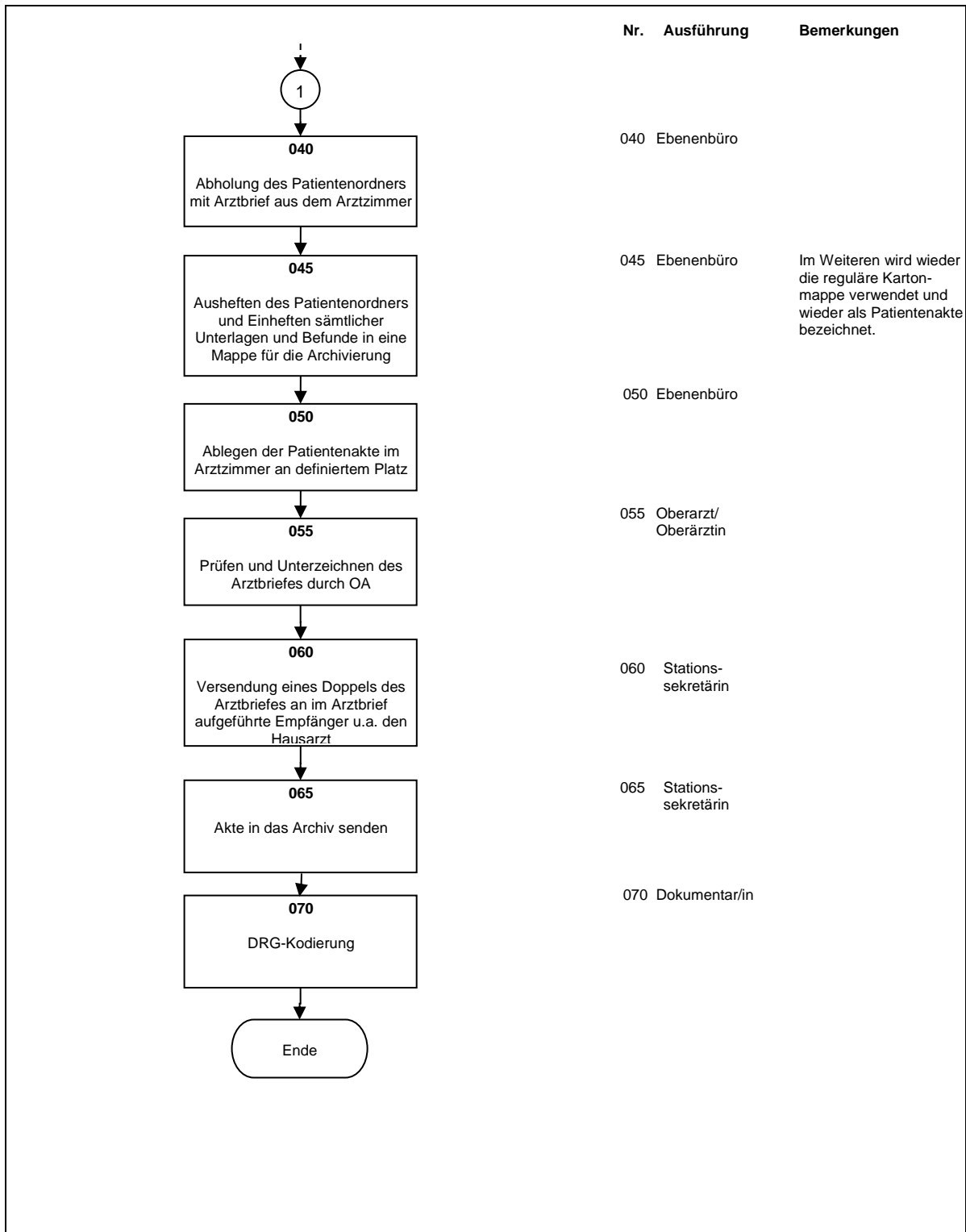


Anhang

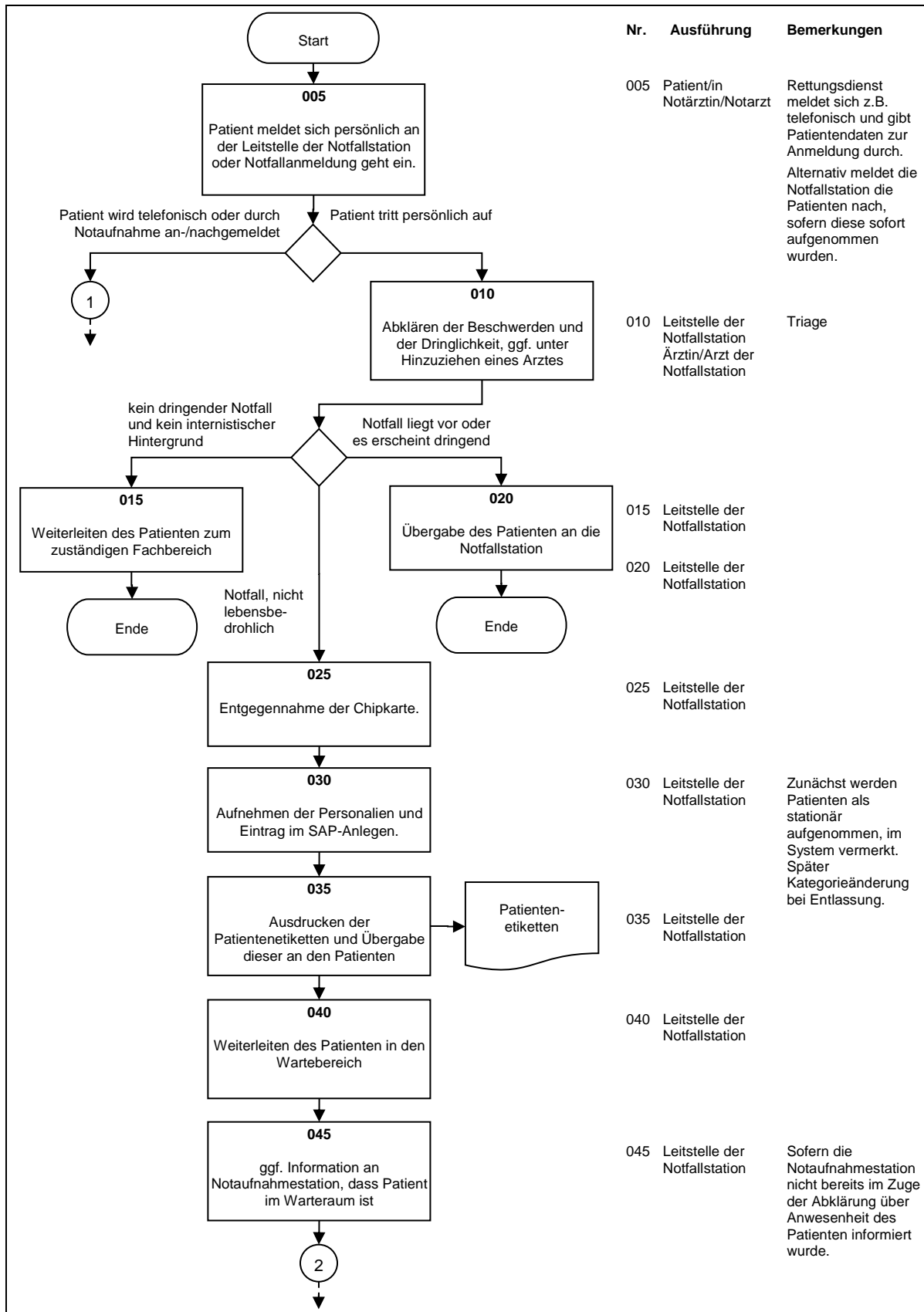


A22. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Anfertigung des Arztbriefes

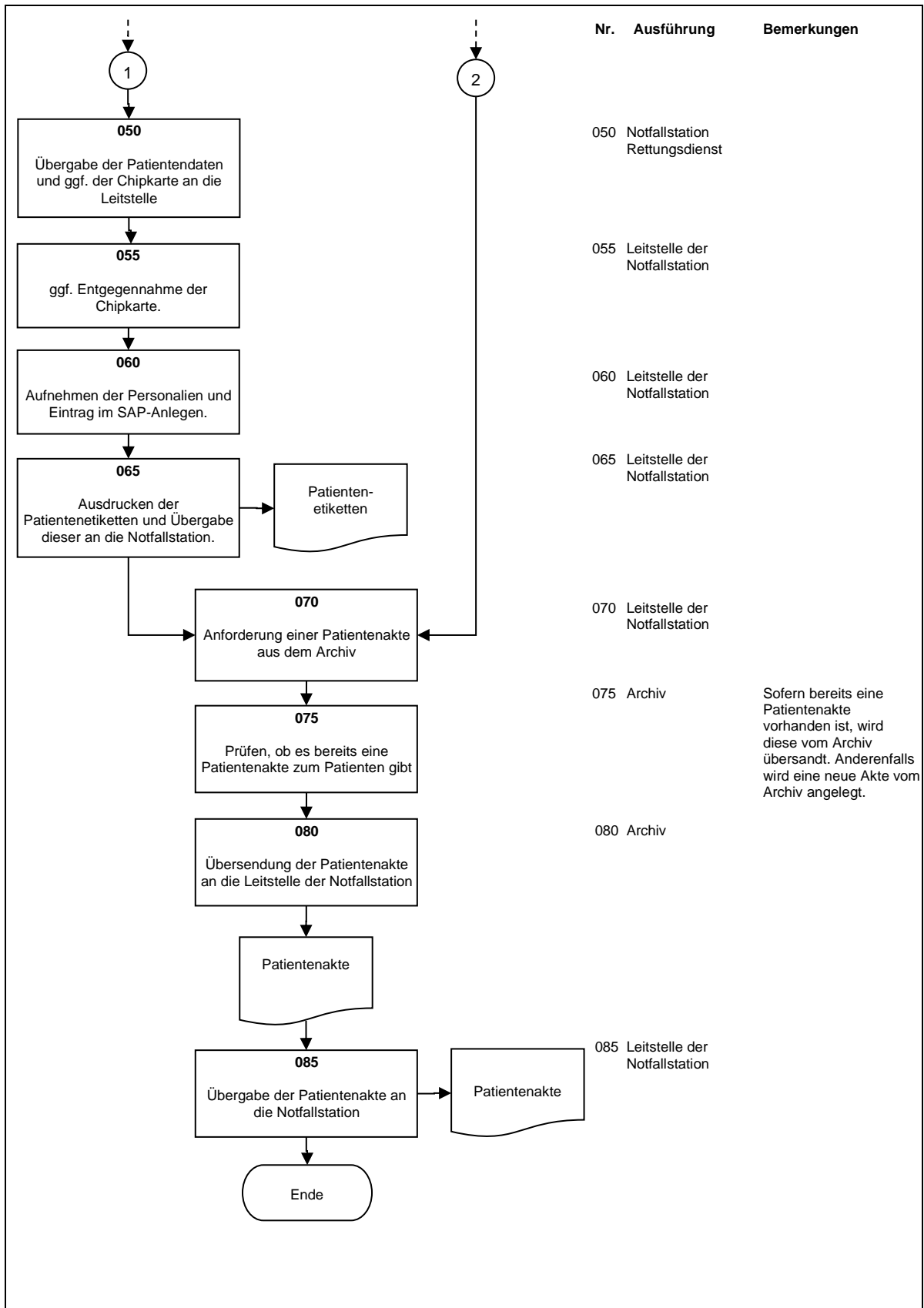




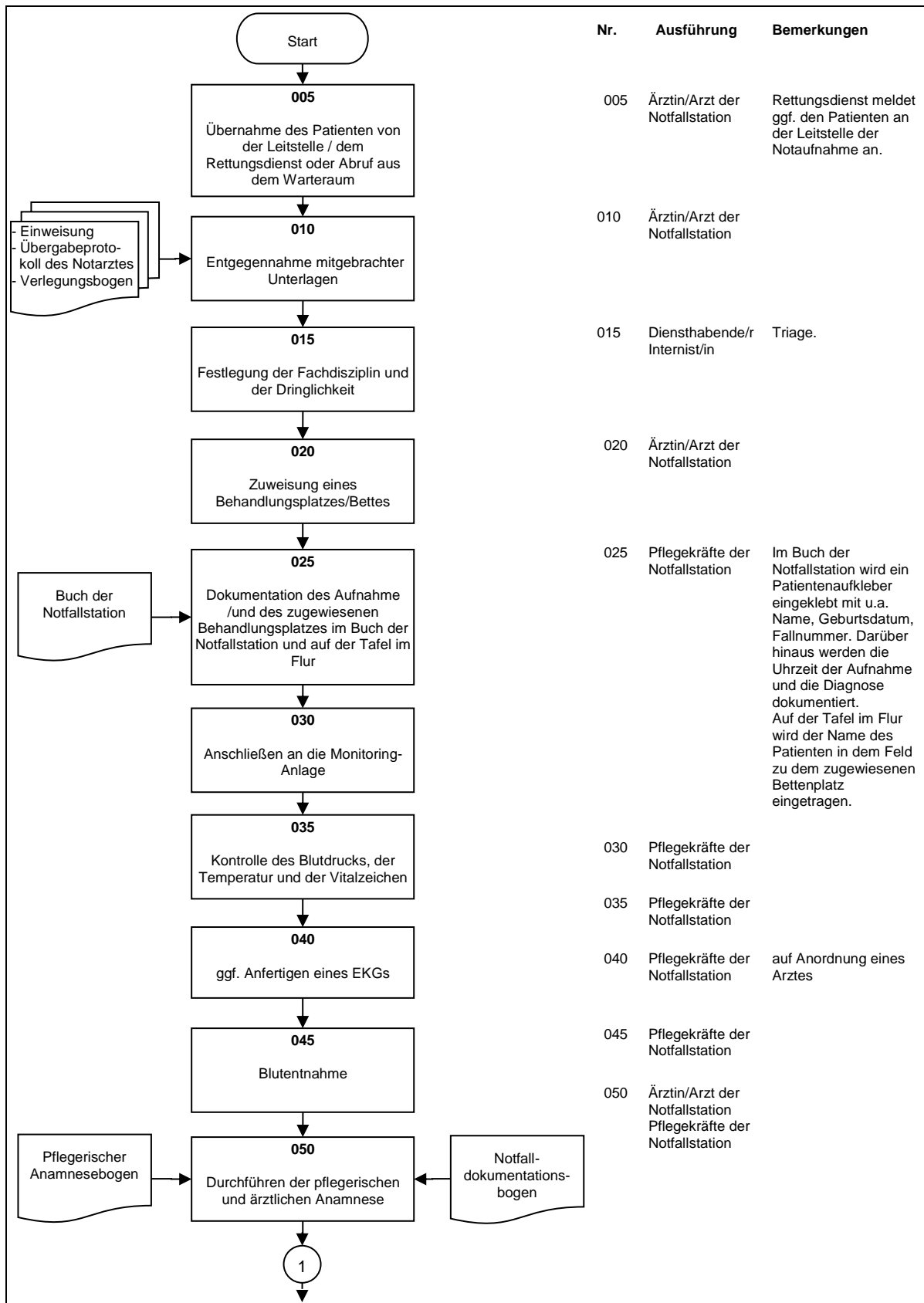
A23. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Patientenannahme für die Notfallstation



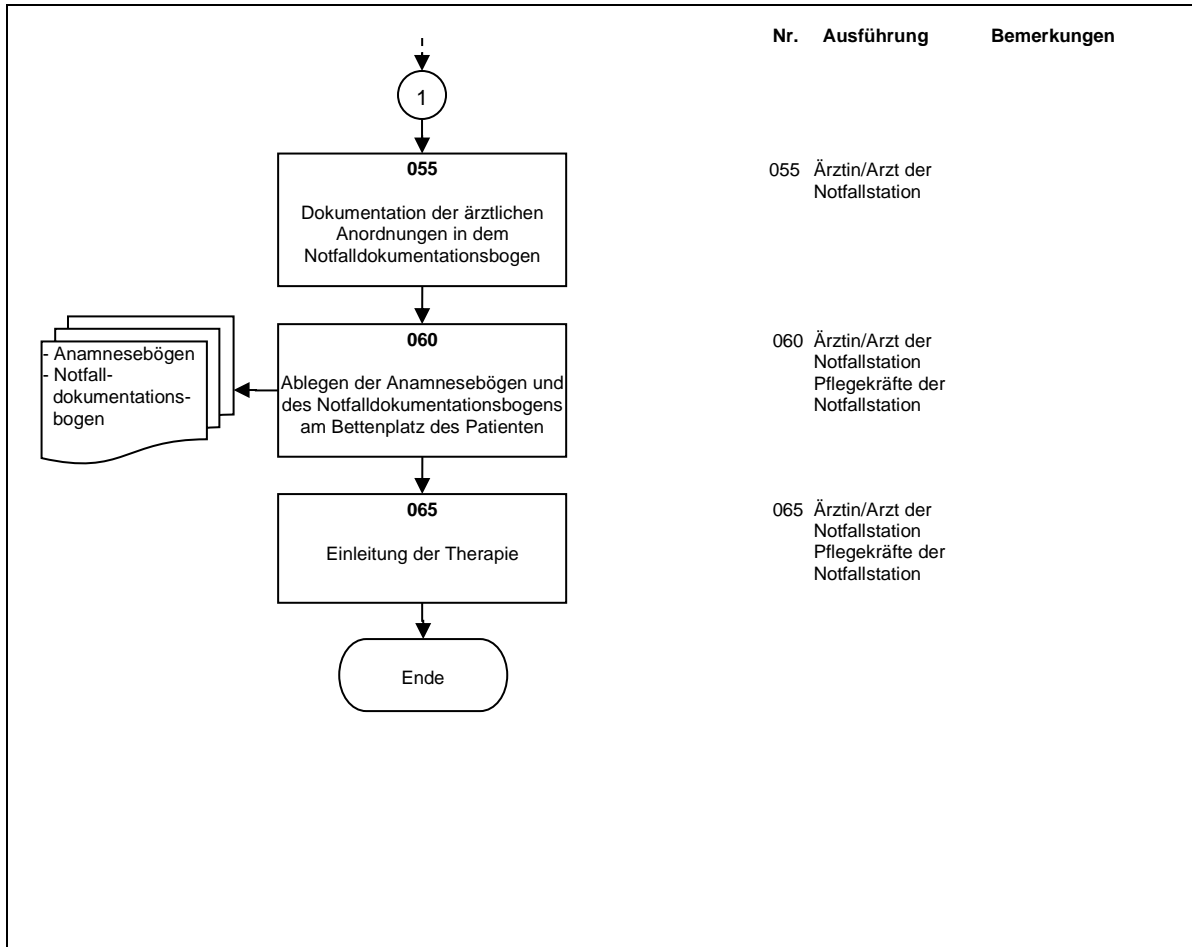
Anhang



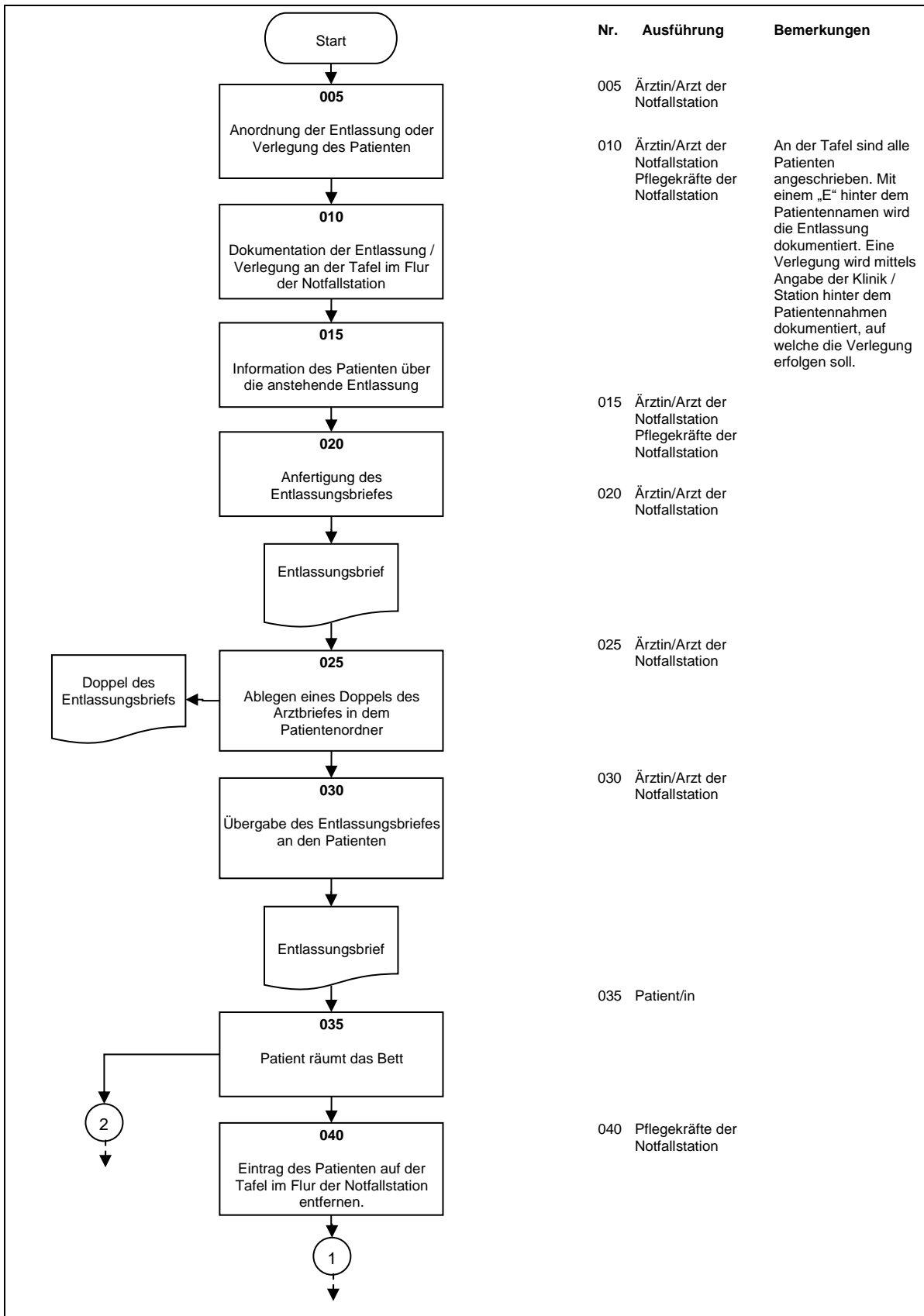
A24. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Patientenaufnahme auf der Notfallstation



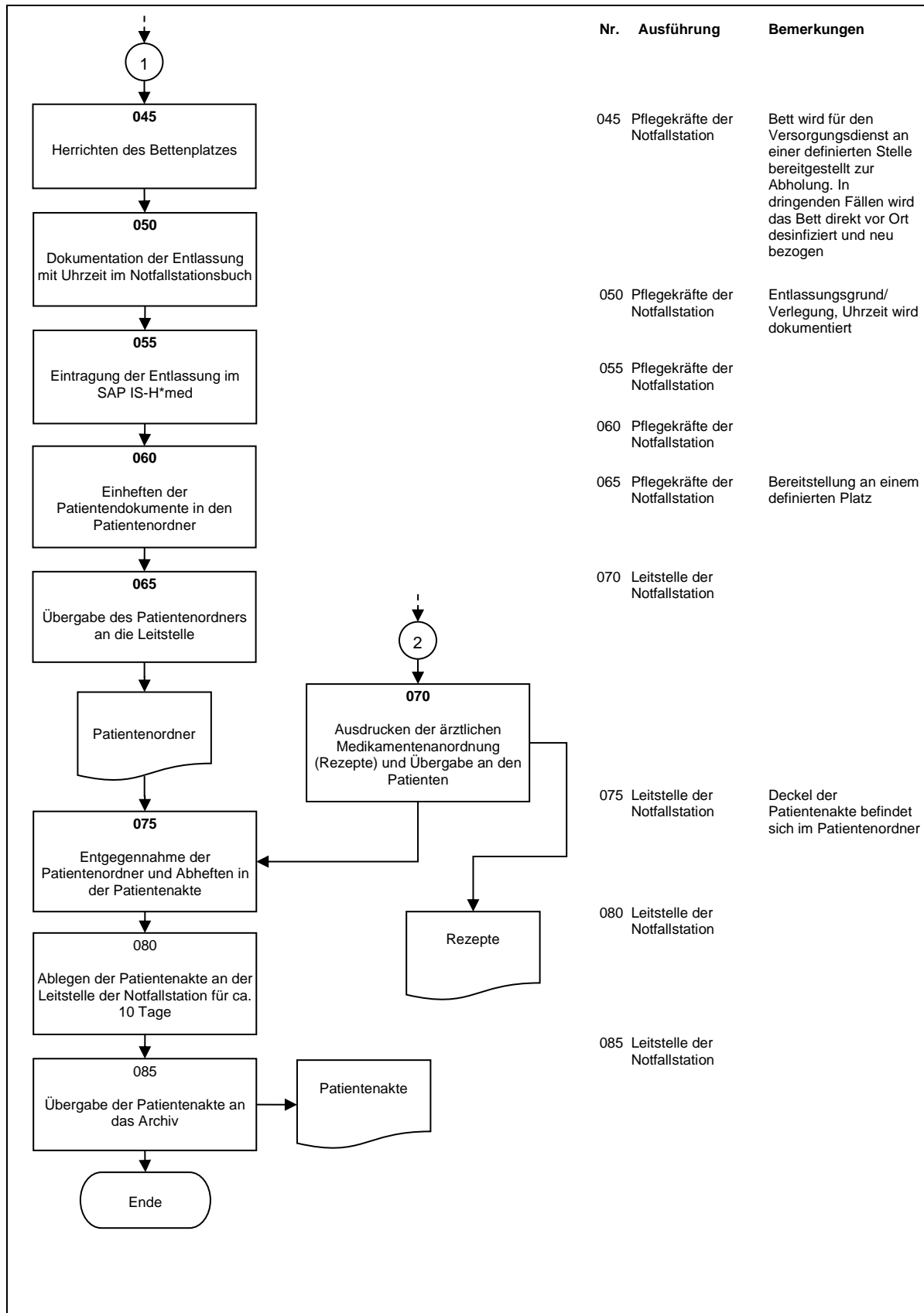
Anhang



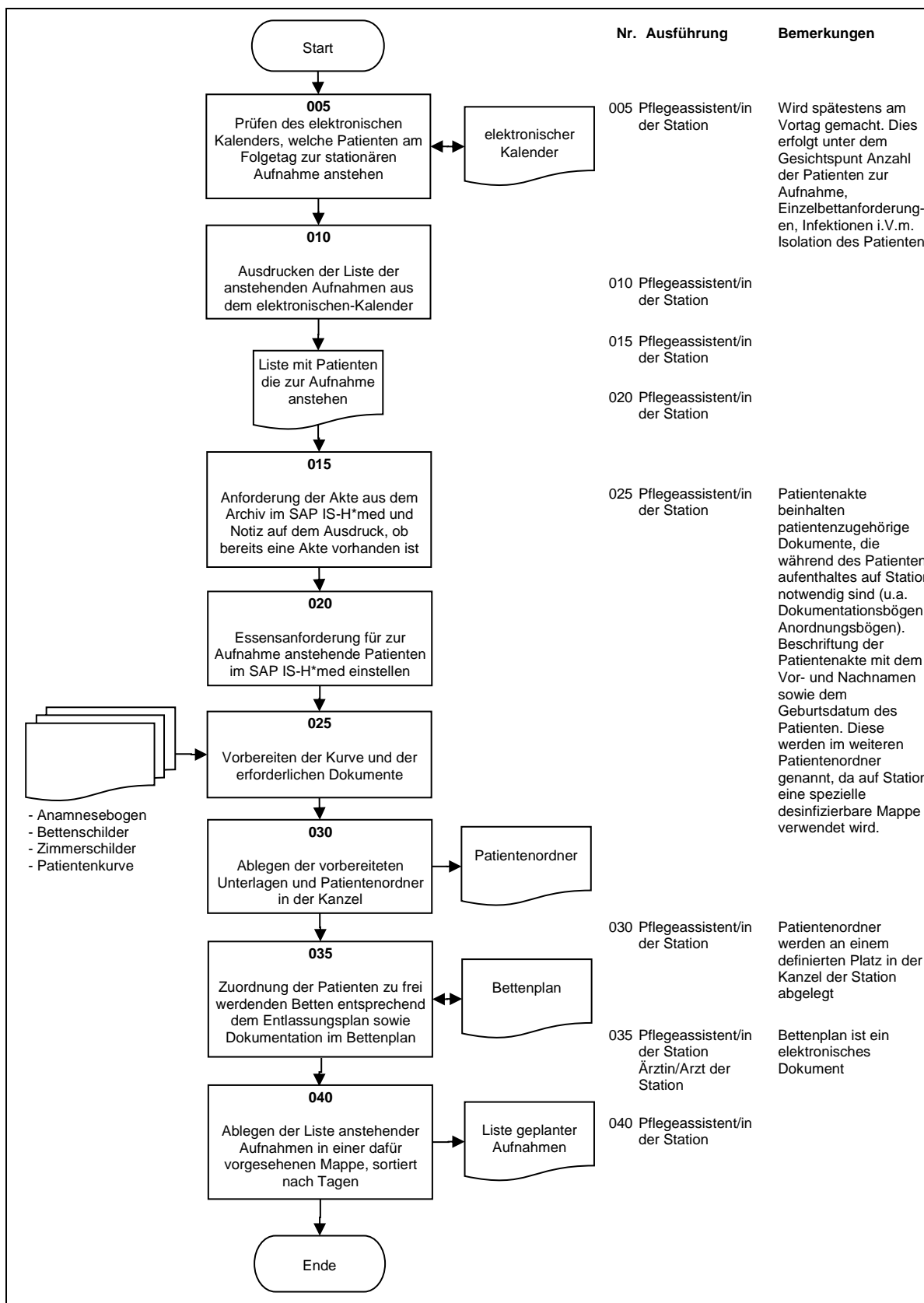
A25. Prozessablauf - Einrichtung 2 - Entlassung von der Notfallstation



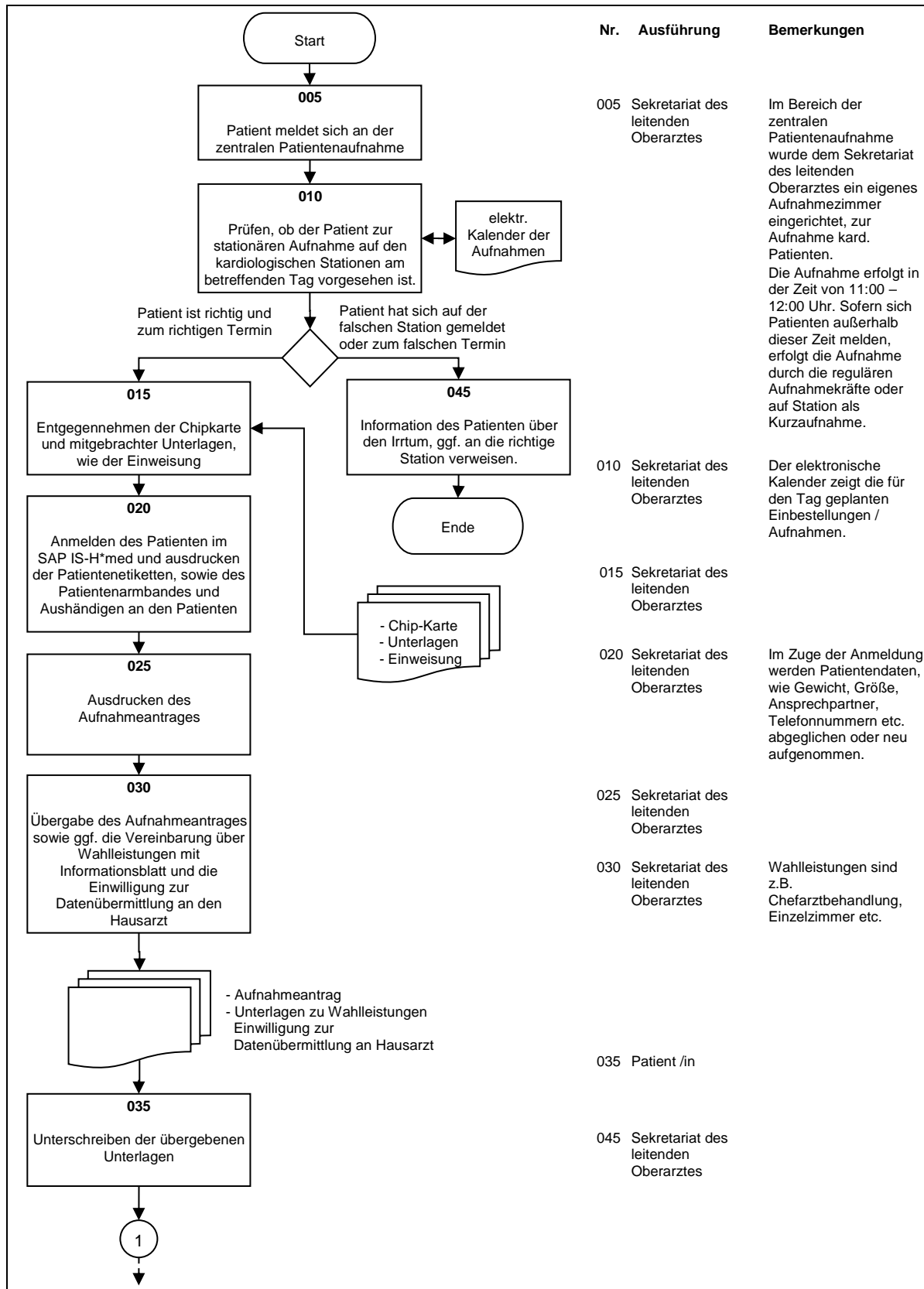
Anhang

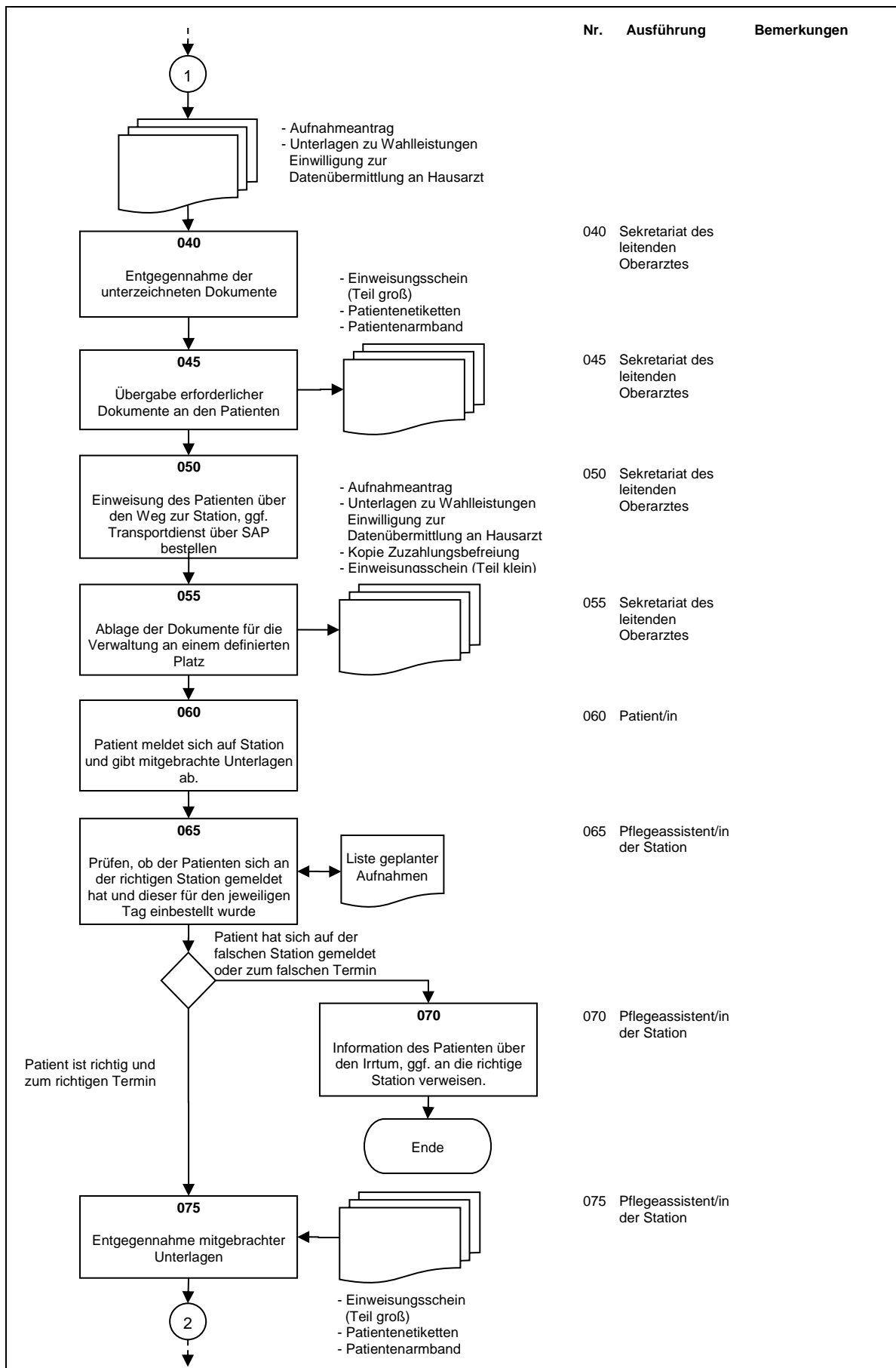


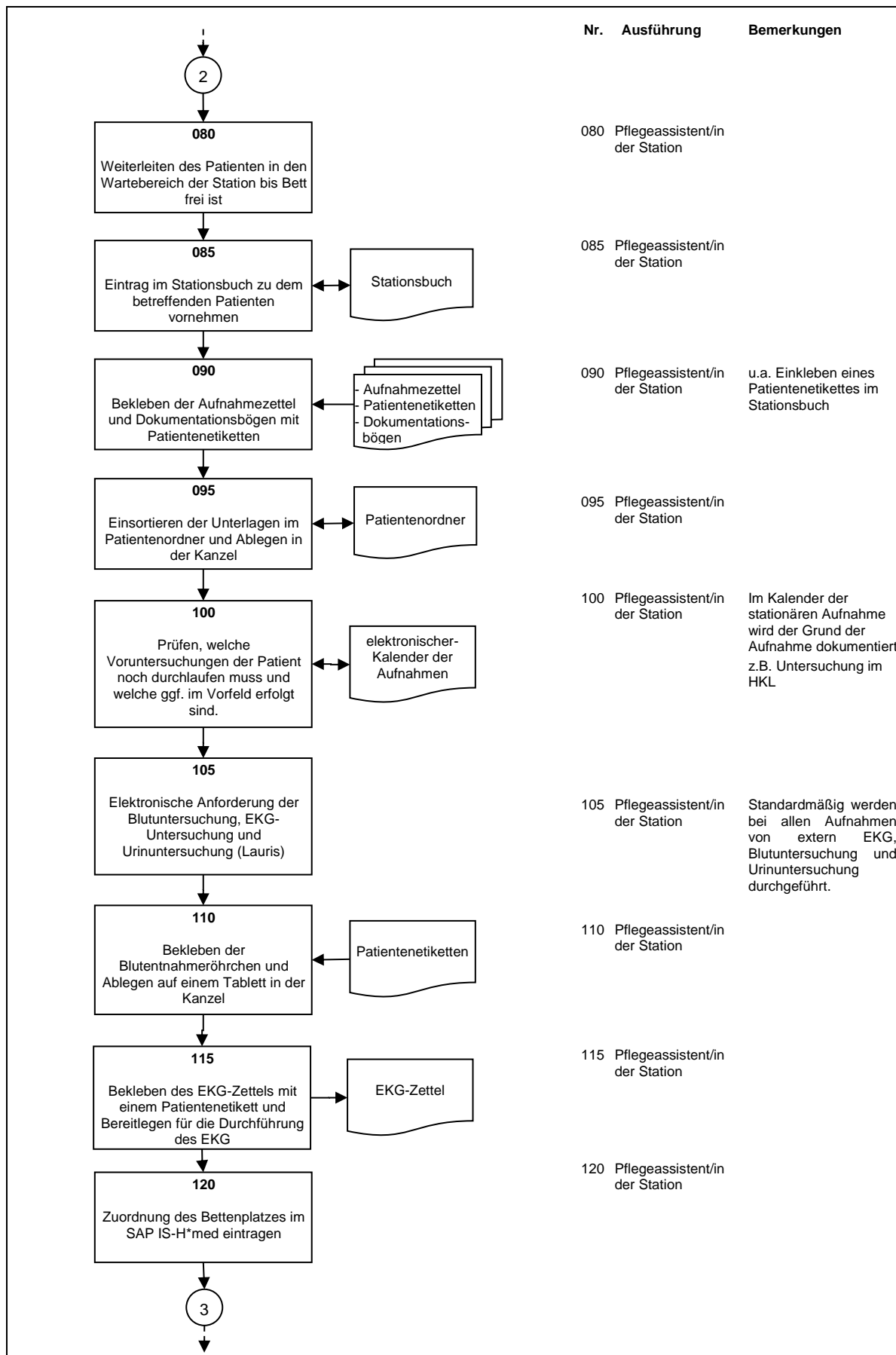
A26. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Vorbereitung der stationären Aufnahme

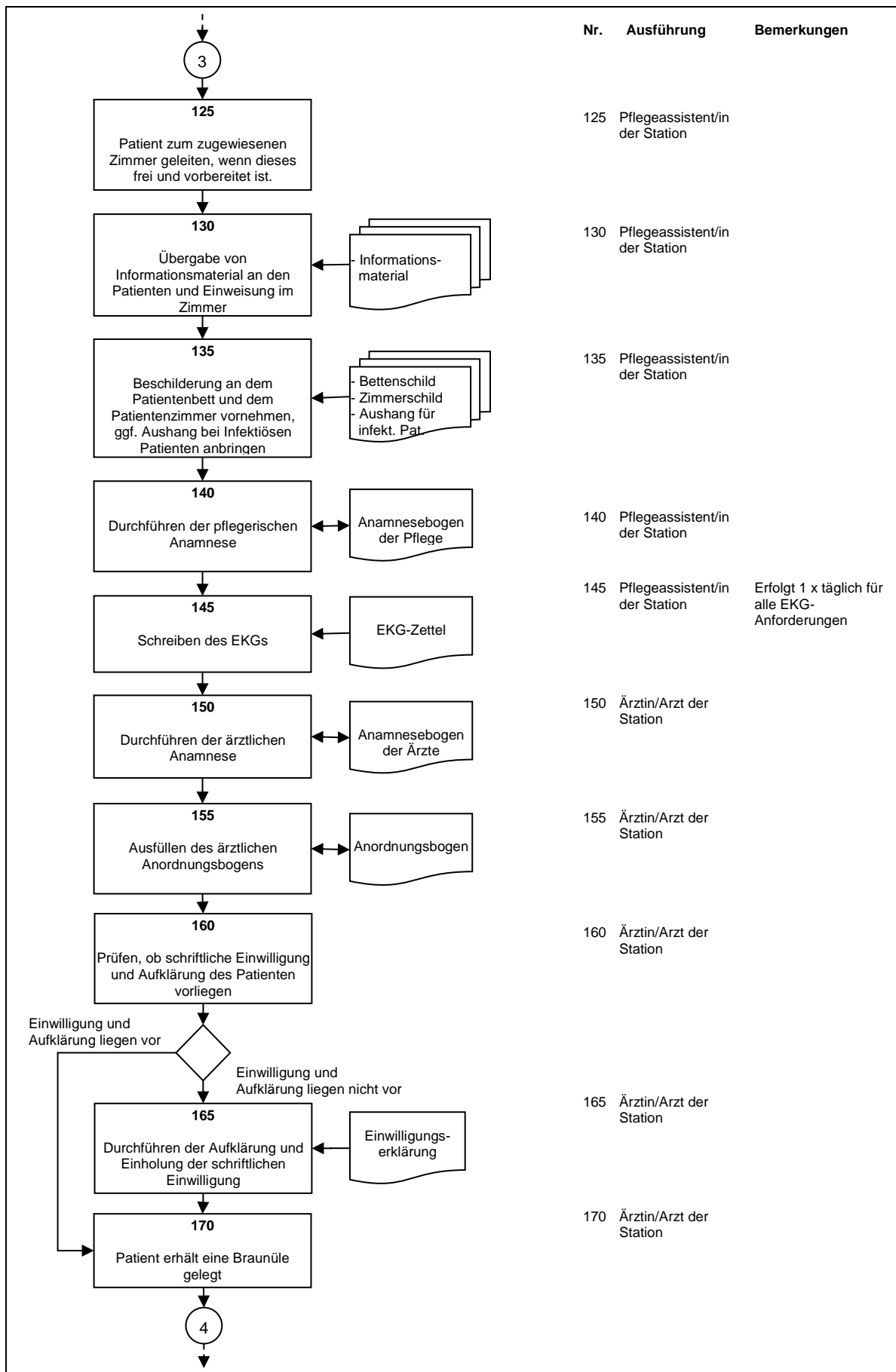


A27. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Stationäre Aufnahme

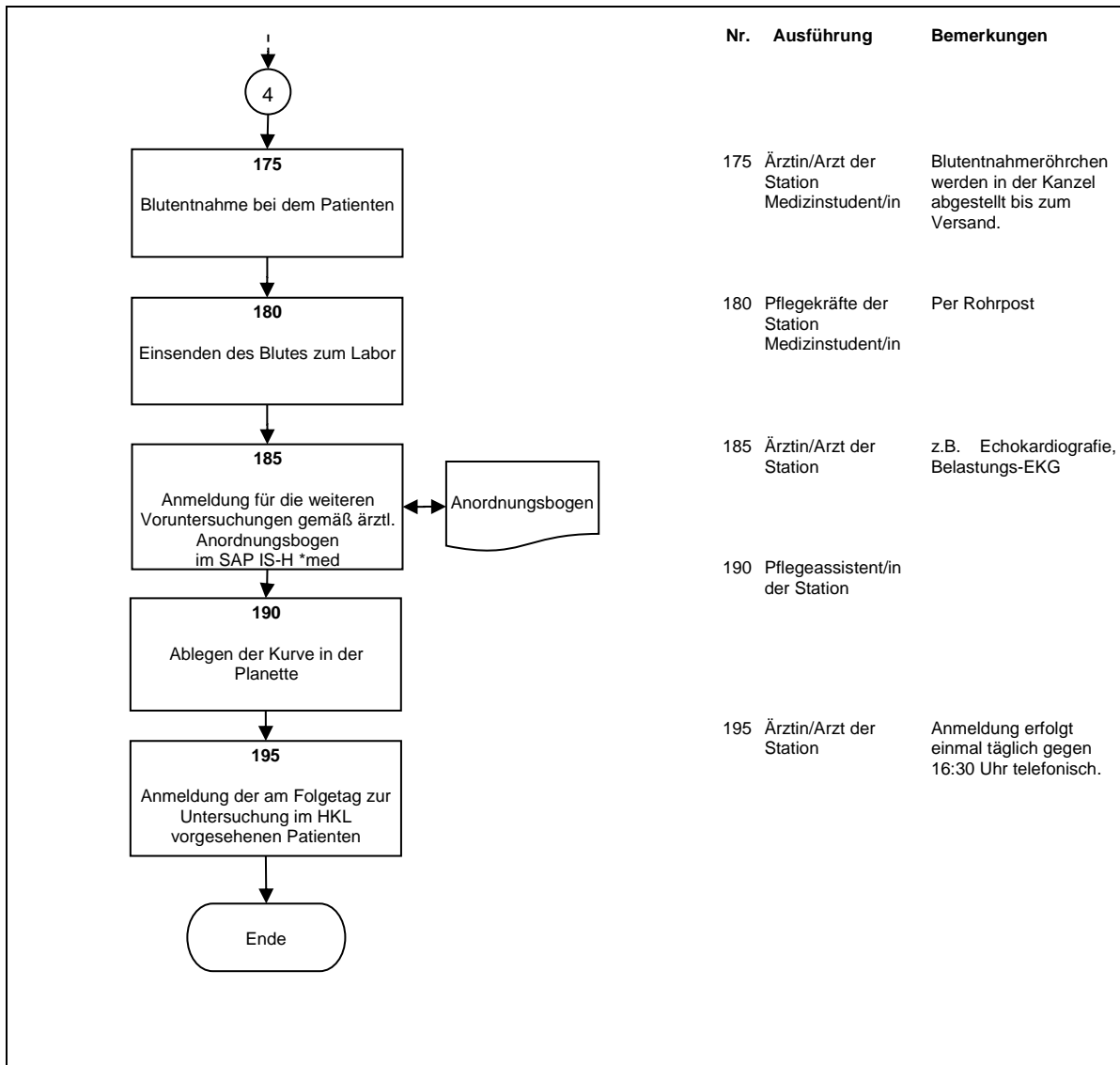




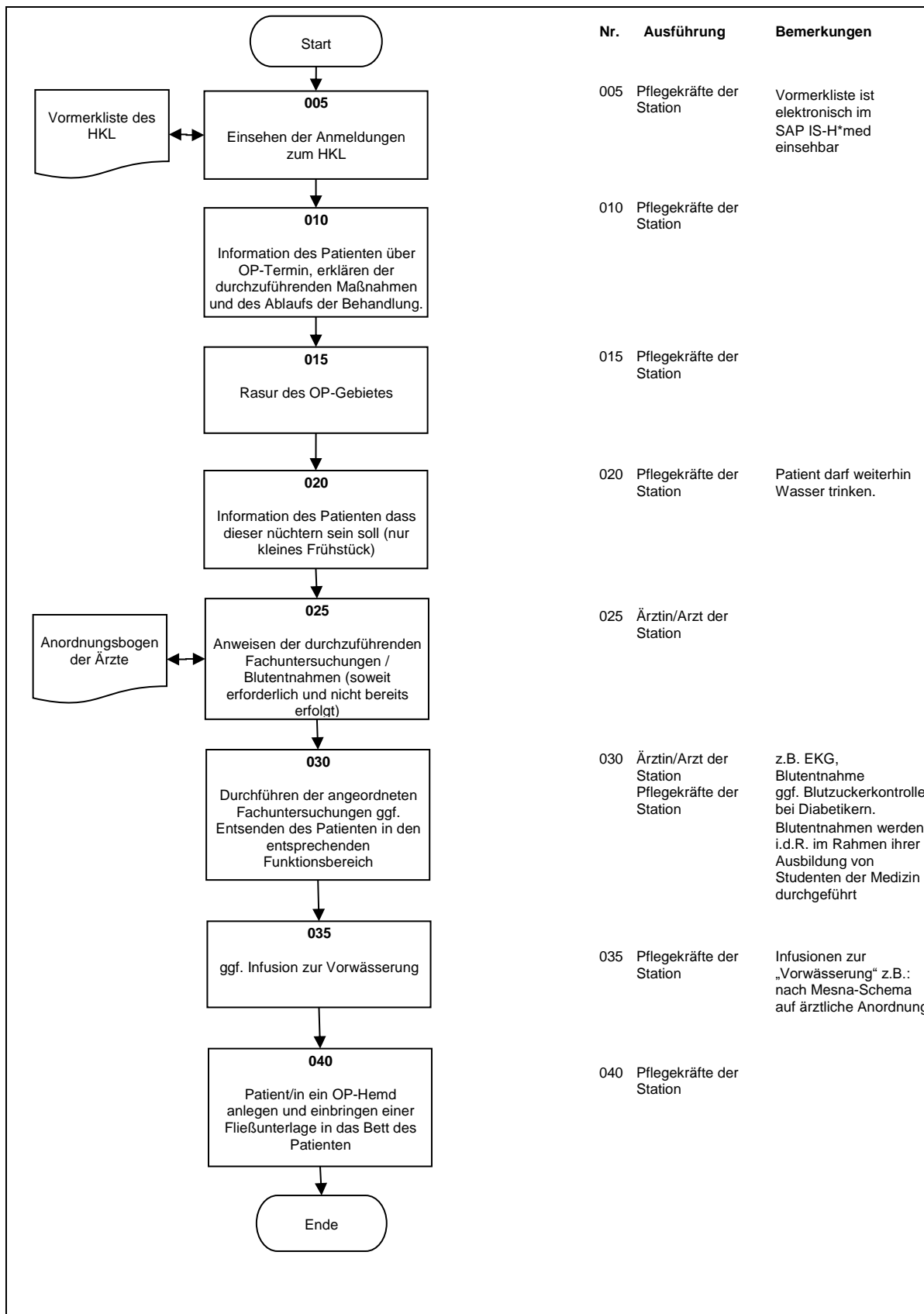




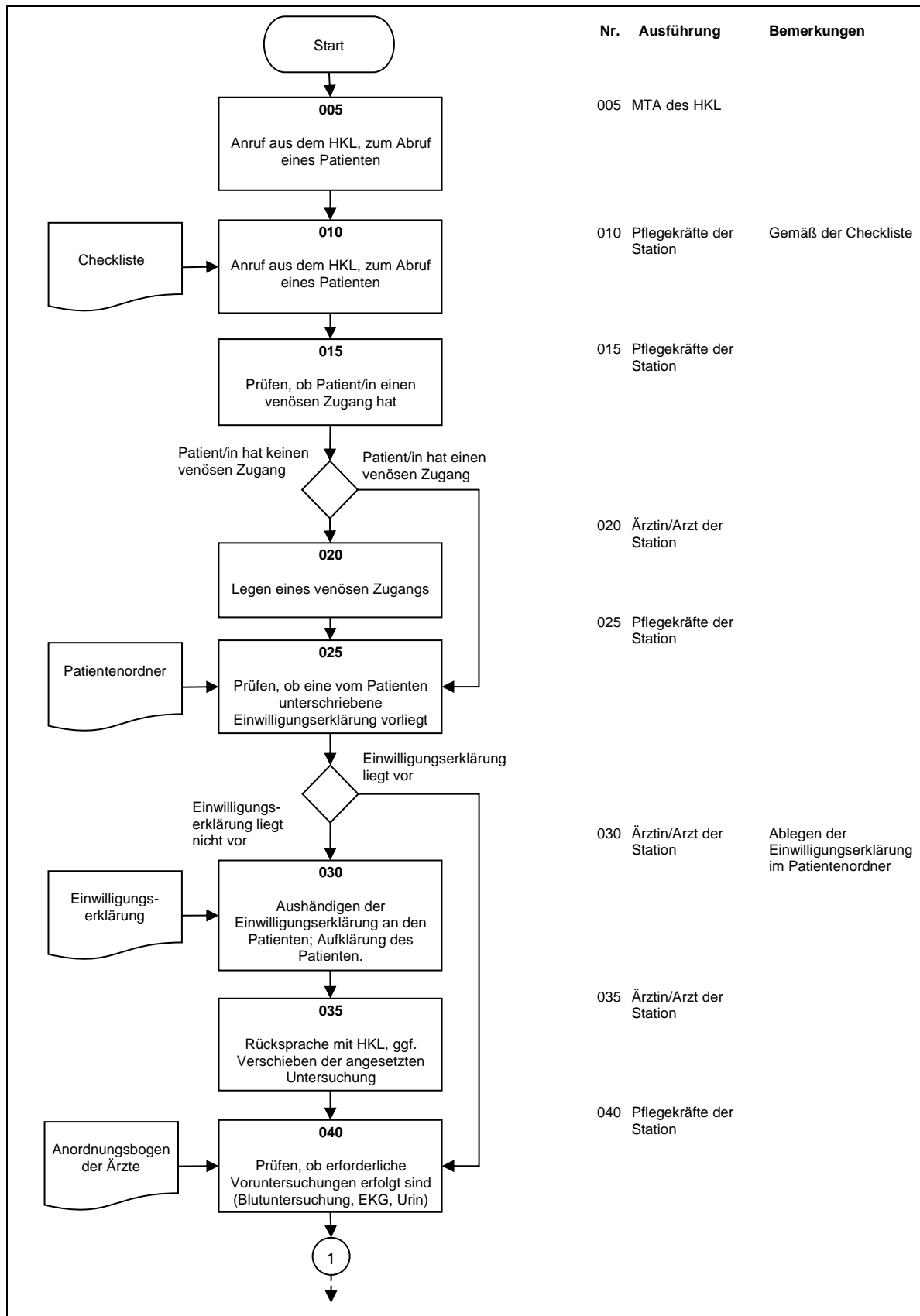
Anhang

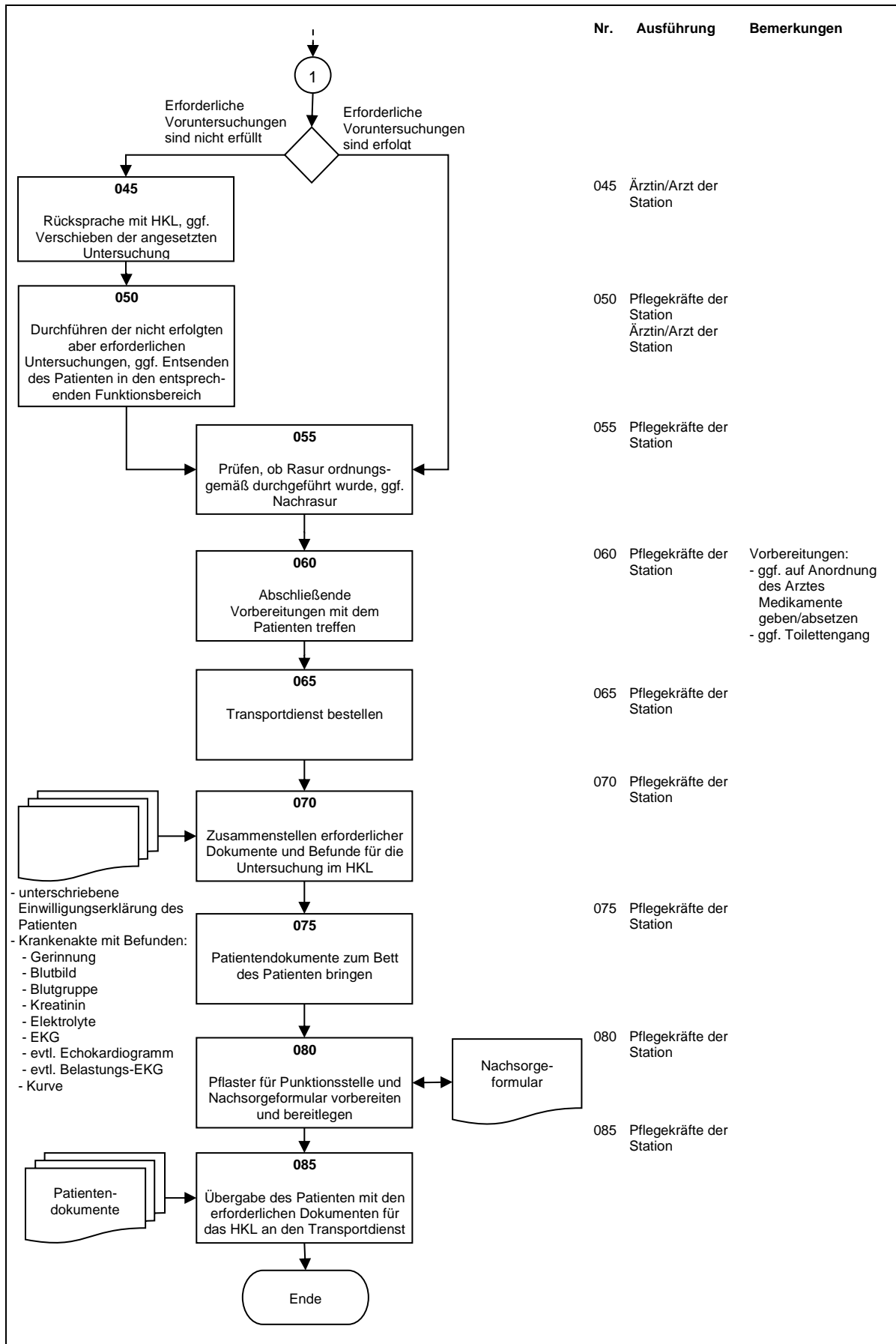


A28. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Vorbereitung der Patienten für HKL

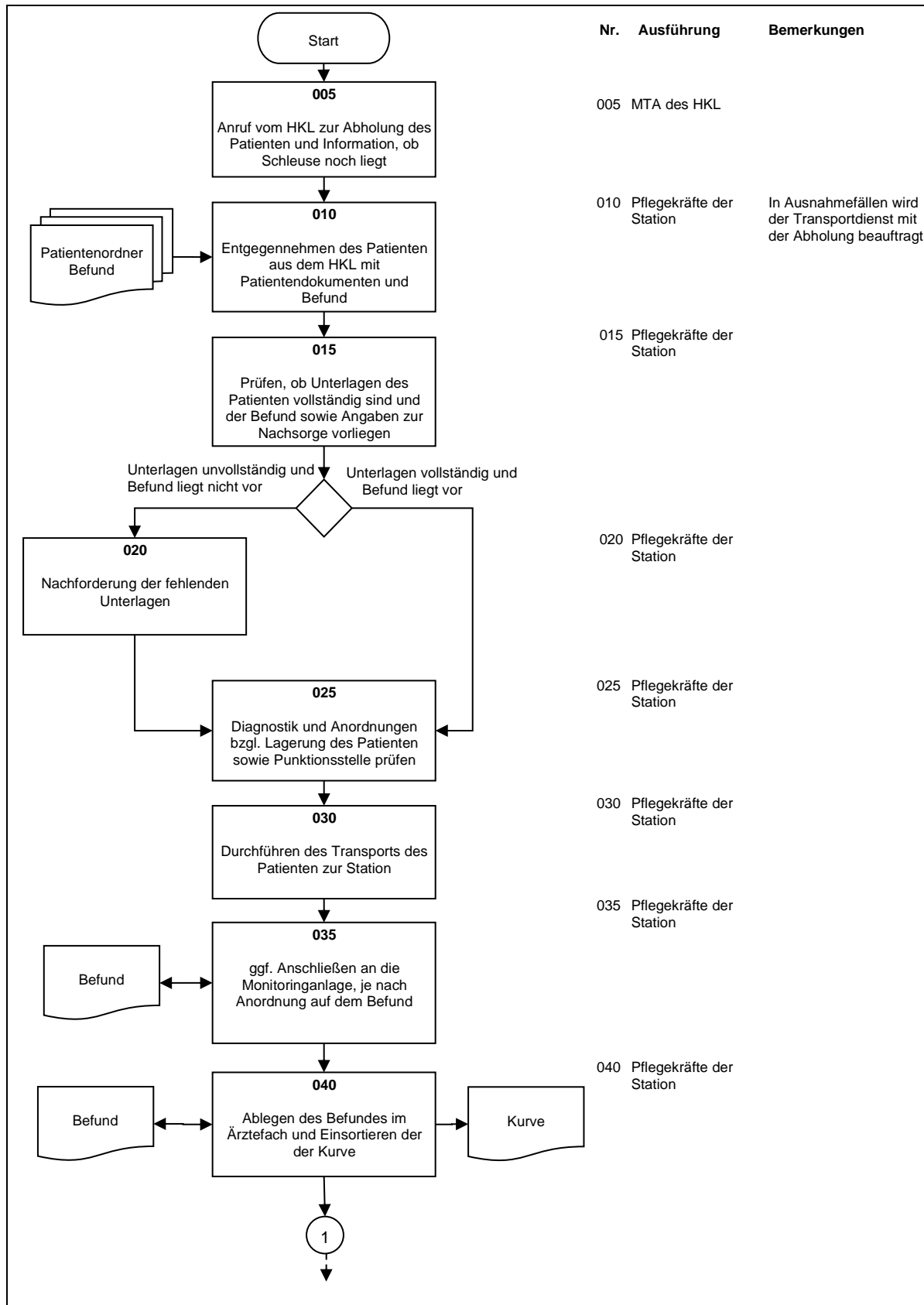


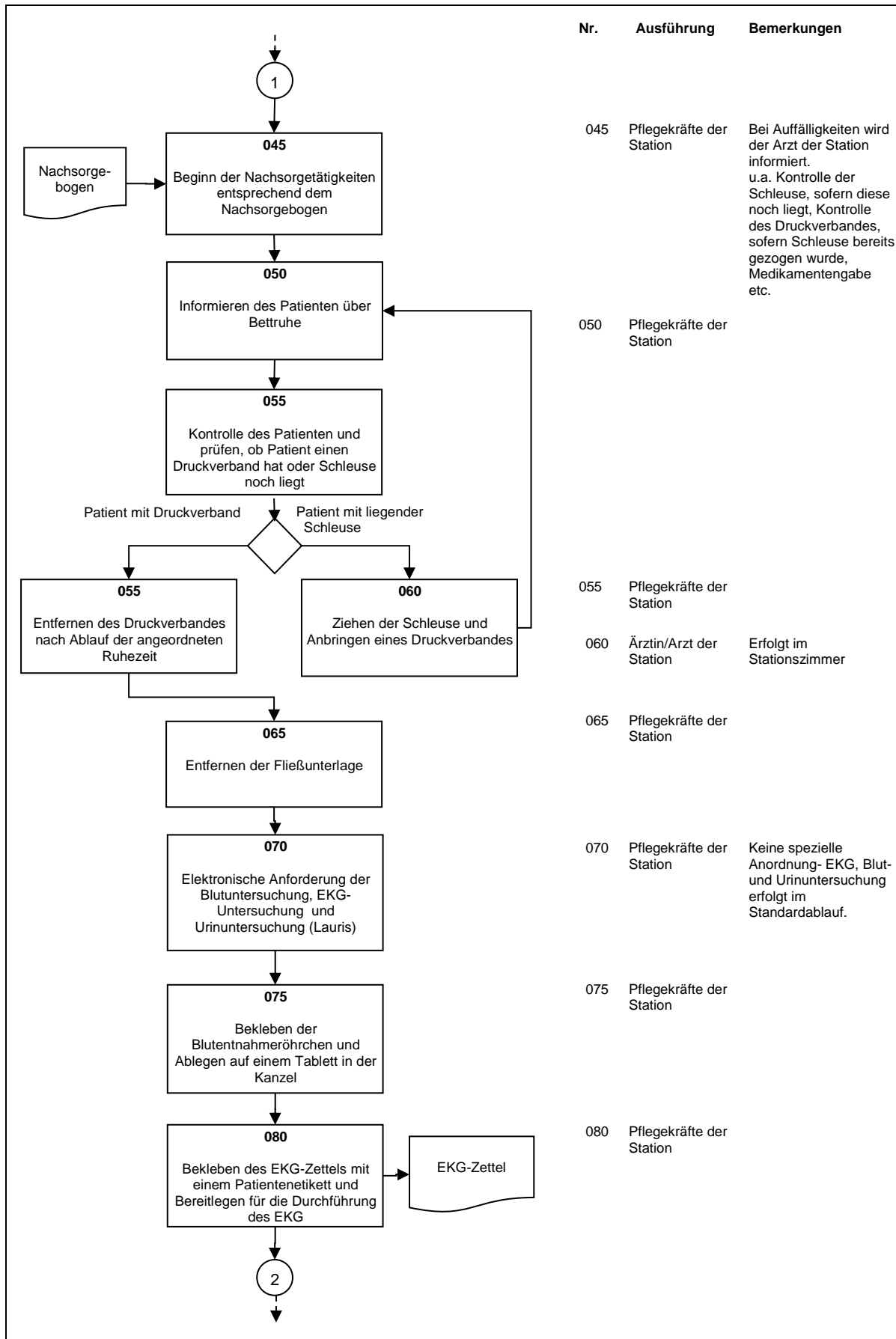
A29. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Abruf der Patienten vom HKL



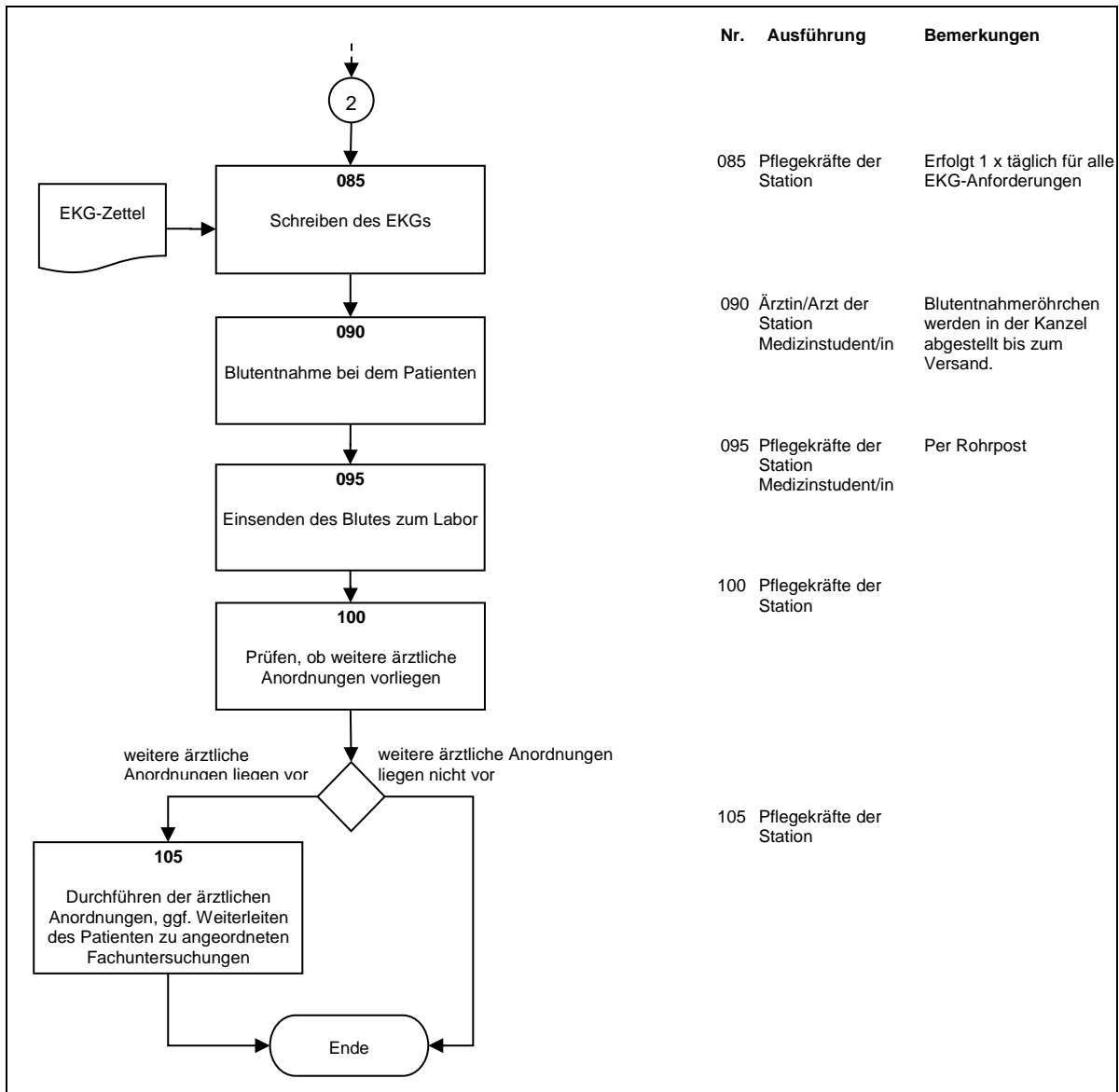


A30. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Nachbereitung der Patienten vom HKL

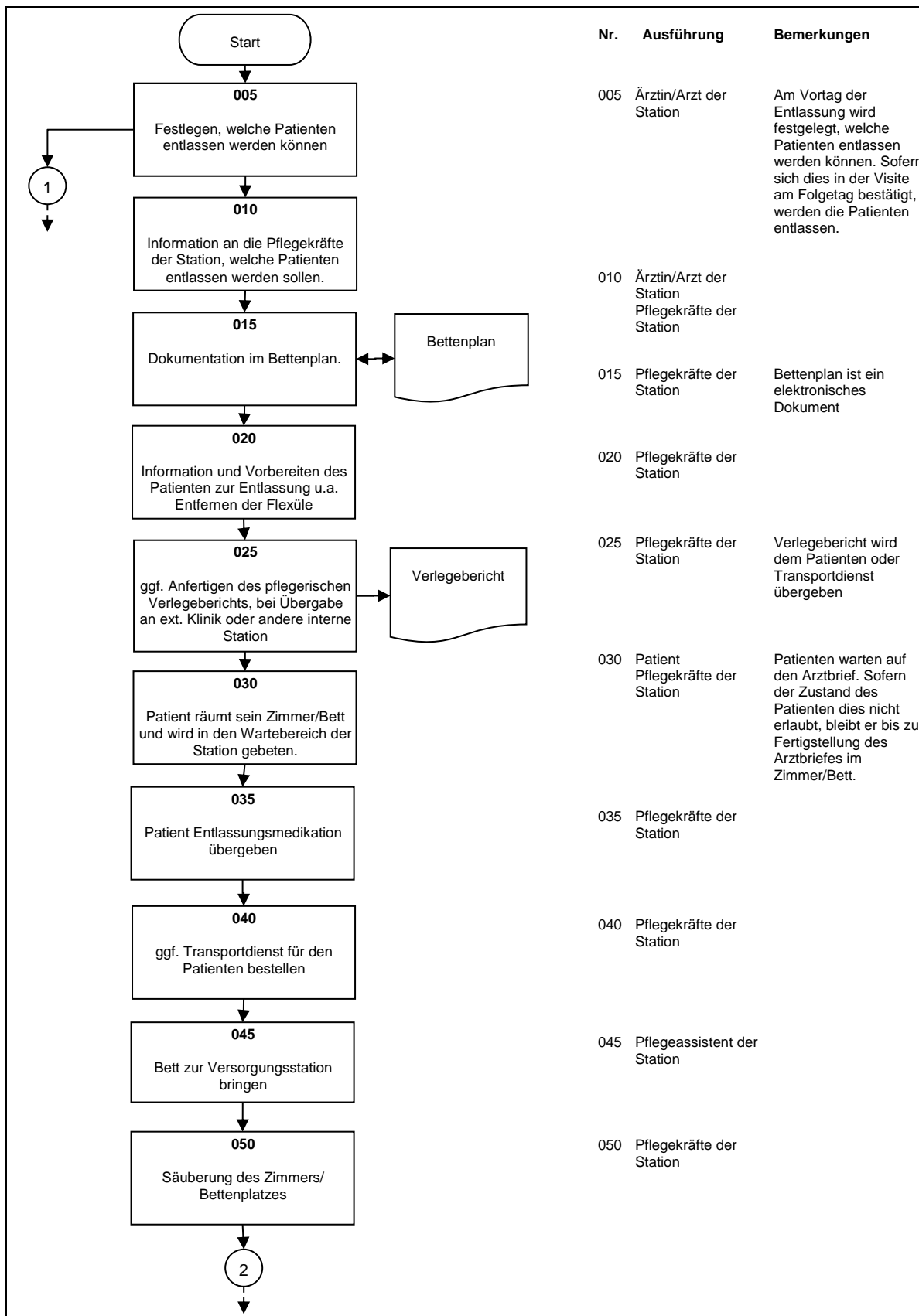




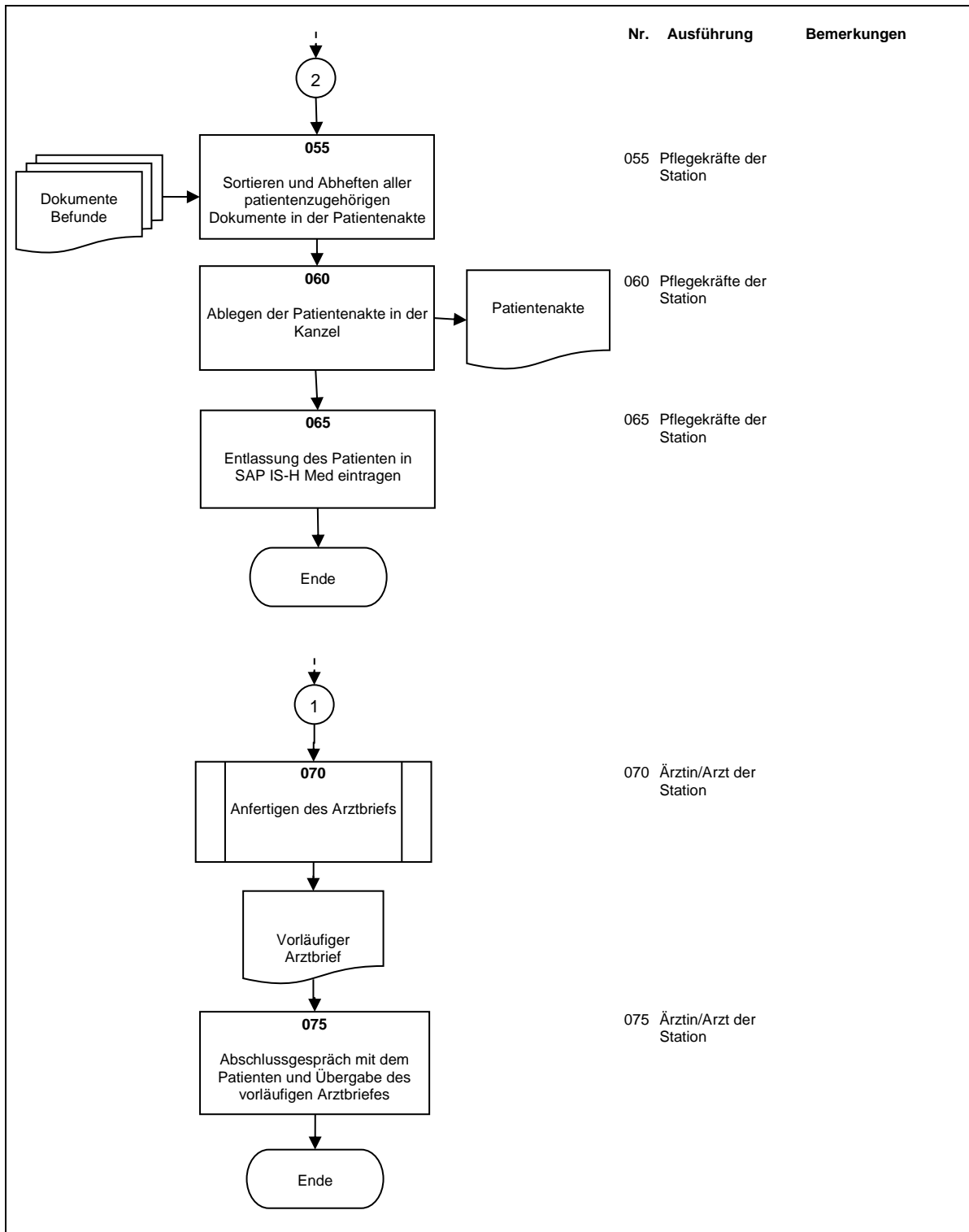
Anhang



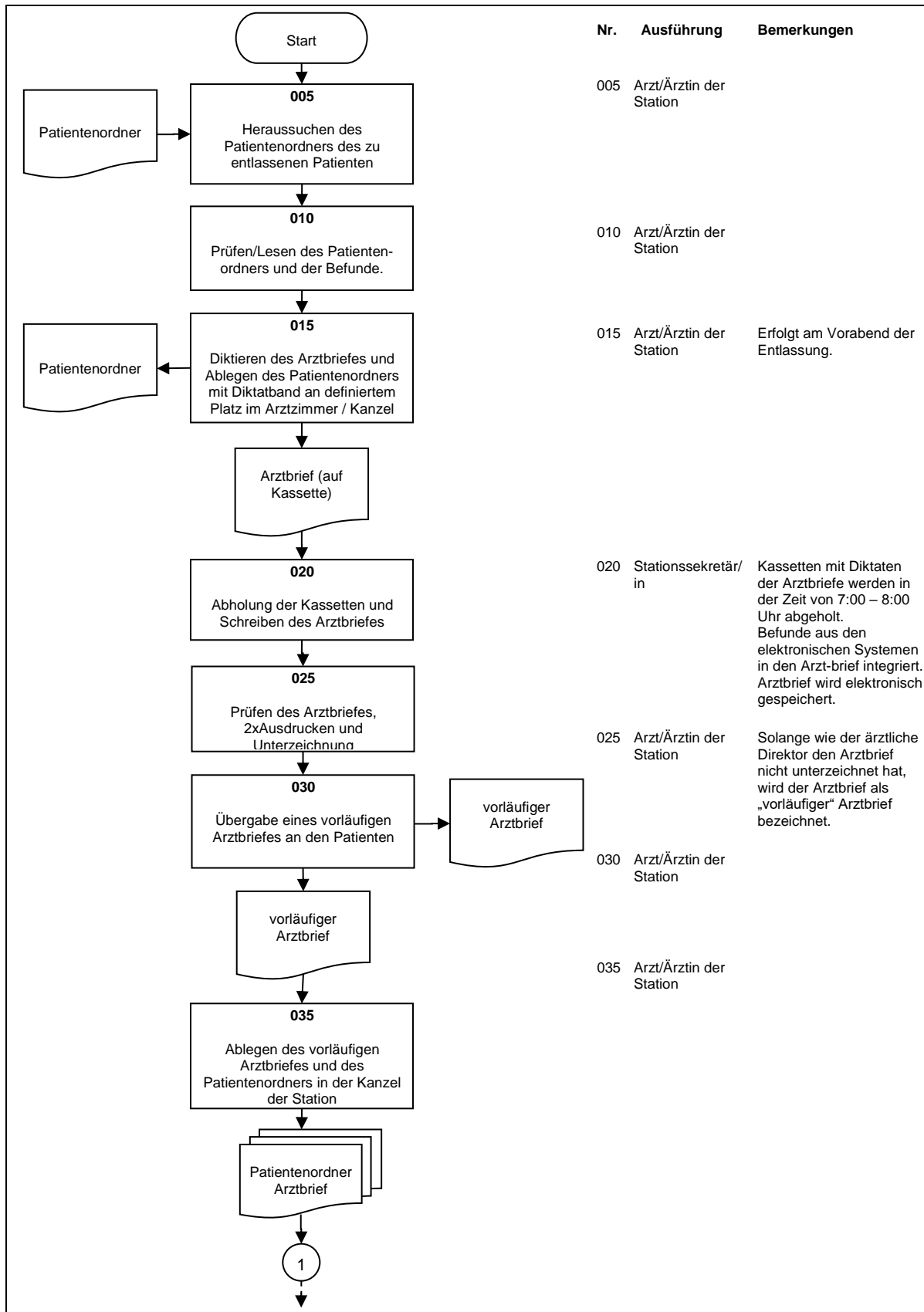
A31. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Entlassung von Station

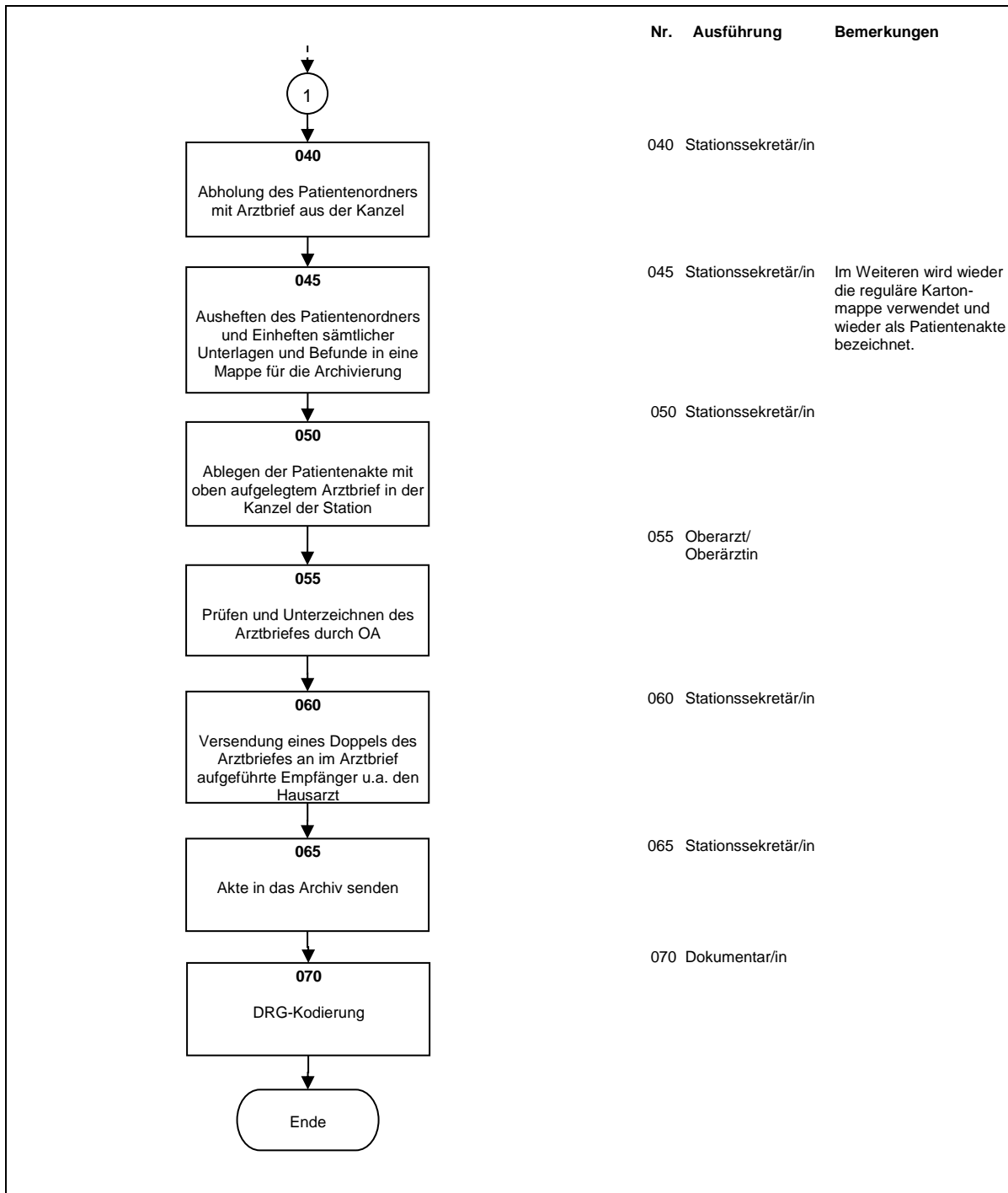


Anhang



A32. Prozessablauf - Einrichtung 3 - Anfertigung des Arztbriefes





A33. Aufbau Datensatz der Bewegungsdaten aus dem SAP-IS-H*med

Bezeichnung	Beispielwerte	Erläuterung
Fallnummer (FALNR)	5429836	Eindeutige Identifizierung eines Patienten
Laufende Nummer (LFDNR)	5	Fortlaufende Nummer für Bewegungen im System (z.B. Stationswechsel)
Bewegungstyp	2	Es gibt 4 Bewegungstypen: 1: stationäre Aufnahme 2: stationäre Entlassung 3: Stations-/Zimmer-/Fachrichtungswechsel 4: Ambulanter Kontakt
Bewegungsart	E	Je Bewegungstyp gibt es unterschiedliche Bewegungsarten. Für den Bewegungstyp 2 gibt es nachfolgende Bewegungsarten: - Entlassung - Entlassung in externes Krankenhaus - entlaufen - Entlassung Nachstation - Entlassung in Reha - auf eigenen Wunsch
Bewegungsanfangsdatum	20090703	Das Datum (Datumsstempel), zu dem eine Bewegung im System als beginnend vermerkt wurde. Im SAP Export ist dieses umgekehrt formatiert: yyyymmdd
Bewegungsanfangszeit	160817	Die Uhrzeit (Zeitstempel) zu dem eine Bewegung im System als beginnend vermerkt wurde. Im SAP Export ist dieses formatiert als: hhmmss
Bewegungsenddatum	20090703	Das Datum (Datumsstempel), zu dem eine Bewegung im System als endend vermerkt wurde. Im SAP Export ist dieses umgekehrt formatiert: yyyymmdd
Bewegungsendzeit	160817	Die Uhrzeit (Zeitstempel), zu dem eine Bewegung im System als endend vermerkt wurde. Im SAP Export ist dieses formatiert als: hhmmss
Organisationsbereich-Fachabteilung (ORFFA)	KARD	Kardiologie
Organisationsbereich-Pflege (ORGPF)	xxxx	Stationsbezeichnung, weitere Pflegebereiche sind: - xxxx-Poli = Hochschulambulanz - xxxx-OP = OP der Abteilung - xxxx-AMB = Spezialambulanzen - KARDHZK = Herzkatheterlabor
Zimmer (ZIMMR)	xxxx0211	Das Zimmer, zu welchem der Patient zugeordnet wurde. Dieses setzt sich systemseitig aus Station und Zimmer zusammen. Die ersten 4 Stellen sind die Station. Die darauf folgenden 4 Stellen die Zimmernummer.

A34. Datenerhebungsbogen Bettenfreigabe

Erhebung Zeitpunkt der Bettenfreigabe

(Entlassungen und Verlegungen)

Uhrzeit zu dem das Bett frei wird / der Patient das Zimmer räumt

KW ____

(bitte die aktuelle Kalenderwoche eintragen)

08:00	
08:10	
08:20	
08:30	
08:40	
08:50	
09:00	
09:10	
09:20	
09:30	
09:40	
09:50	
10:00	
10:10	
10:20	
10:30	
10:40	
10:50	
11:00	
11:10	
11:20	
11:30	
11:40	
11:50	
12:00	
12:10	
12:20	
12:30	
12:40	
12:50	
13:00	
13:10	
13:20	
13:30	
13:40	
13:50	
14:00	
14:10	
14:20	
14:30	
14:40	
14:50	
15:00	
15:10	
15:20	
15:30	
15:40	
15:50	
16:00	

Uhrzeit

16:10	
16:20	
16:30	
16:40	
16:50	
17:00	
17:10	
17:20	
17:30	
17:40	
17:50	
18:00	
18:10	
18:20	
18:30	
18:40	
18:50	
19:00	
19:10	
19:20	
19:30	
19:40	
19:50	
20:00	
20:10	
20:20	
20:30	
20:40	
20:50	
21:00	
21:10	
21:20	
21:30	
21:40	
21:50	
22:00	
22:10	
22:20	
22:30	
22:40	
22:50	
23:00	
23:10	
23:20	
23:30	
23:40	
23:50	
00:00	

Uhrzeit

00:10	
00:20	
00:30	
00:40	
00:50	
01:00	
01:10	
01:20	
01:30	
01:40	
01:50	
02:00	
02:10	
02:20	
02:30	
02:40	
02:50	
03:00	
03:10	
03:20	
03:30	
03:40	
03:50	
04:00	
04:10	
04:20	
04:30	
04:40	
04:50	
05:00	
05:10	
05:20	
05:30	
05:40	
05:50	
06:00	
06:10	
06:20	
06:30	
06:40	
06:50	
07:00	
07:10	
07:20	
07:30	
07:40	
07:50	

A35. Datenerhebungsbogen Elektrokardiografie – Einrichtung 2

Datenerhebung Hr. Kühn TU-Ilmenau im Bereich EKG

Fallnummer	Datum	Entsender bitte ankreuzen					Art der Untersuchung bitte ankreuzen				Vorbereitung bitte Uhrzeit eintragen			Untersuchung bitte Uhrzeit eintragen			Nachbereitung bitte Uhrzeit eintragen			Komplikationen bitte ankreuzen						
		kard. Station 1	kard. Station 2	kard. Station 3	kard. Ambulanz	sonstige Ambulanz	sonstige Fachbereiche	Ruhe	Mobil	Kipptisch	Fahrrad	Laufband	Uhrzeit	Beginn	Uhrzeit	Ende	Vorbereitung	Uhrzeit	Beginn	Uhrzeit	Ende	Nachbereitung	Uhrzeit	Beginn	Uhrzeit	Ende
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A36. Datenerhebungsbogen Elektrokardiografie – Einrichtung 3

Datenerhebung Hr. Kühn TU-Ilmenau im Bereich EKG

Name	Datum	Entsender/ Anforderer	Art der Untersuchung bitte ankreuzen					Termin	Termin			Untersuchung			
			Ruhe	Mobil	Kipptisch	Belastungs-EKG	Langzeit-EKG		Terminübergabe am Tag der Untersuchung (bitte ankreuzen)	Ankunft	Beginn	Ende	Komplikationen (bitte ankreuzen sofern zutreffend)		

A38. Datenerhebungsbogen HKL

Fall-Nr.		Patienten-Initialen N V	
Allgemeine Angaben			
Herzkatheter-Nr.: _ _ _ _ / _ _ _ oder Keine Nr. angelegt <input type="checkbox"/>			
Notfall-Patient		Pat. nachgemeldet	
ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
Dienstzeit <input type="checkbox"/>		Bereitschaftsdienst <input type="checkbox"/>	
HKL 1 <input type="checkbox"/> HKL 2 <input type="checkbox"/> HKL 3 (E'phys) <input type="checkbox"/> HKL 4 <input type="checkbox"/>			
Entsender/von Station: _____			
Art des Eingriffs			
Coro <input type="checkbox"/> Re-/Li-Katheter <input type="checkbox"/>			
PTCA, einfach <input type="checkbox"/>		PTCA, komplex <input type="checkbox"/>	
PTA (z.B. Nierenart.) <input type="checkbox"/>			
Myokardbiopsie <input type="checkbox"/>		Perikardpunktion/-drainage <input type="checkbox"/>	
TF TAVI <input type="checkbox"/>		MitraClip <input type="checkbox"/>	
PFO-Okkluder <input type="checkbox"/>		LAA-Okkluder <input type="checkbox"/>	
EPU, Stimulation <input type="checkbox"/>		Kardioversion <input type="checkbox"/>	
ICD-Einstellung mit Schock <input type="checkbox"/>			
Ablation, einfach <input type="checkbox"/>		Ablation, komplex <input type="checkbox"/>	
1-K-SM/ICD <input type="checkbox"/>		2-K-SM-ICD <input type="checkbox"/>	
CRT/CRT-D <input type="checkbox"/>		CCM <input type="checkbox"/>	
Event-Rek. <input type="checkbox"/>			
Sonstige <input type="checkbox"/> : _____			
Vorbereitung			
Abruf Patient (von Station)	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Beginn Tisch-/Raumvorbereitung	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
oder Tisch bereits fertig	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		
Ende Tisch-/Raumvorbereitung	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Ankunft Patient	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Patienteneinschleusung (Beginn)	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Patientenfreigabe/"blau"	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Abruf Arzt	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Durchführung	war bereits vor Ort ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		
Eintreffen Arzt	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Stich/Schnitt	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Naht/Arzt verlässt Tisch	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
OA hinzugezogen	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		
Abruf OA	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
OA war vor Ort	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		
Eintreffen OA	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
OA verlässt Tisch	T _ _	M _ _	J _ _ h _ _ min _ _
Verschlussystem	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		

Fall-Nr. |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_| Patienten-Initialen N|_| V|_|

Nachbereitung	
Patientenausschleusung (Beginn)	T _ _ _ M _ _ _ J _ _ _ h _ _ _ min _ _
Zwischenreinigung	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Grundreinigung	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Raumfreigabe	T _ _ _ M _ _ _ J _ _ _ h _ _ _ min _ _
Abruf Transport	T _ _ _ M _ _ _ J _ _ _ h _ _ _ min _ _
Übergabe Transport	T _ _ _ M _ _ _ J _ _ _ h _ _ _ min _ _
Arztbegleitung	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Gründe für Verzögerung	
<input type="checkbox"/> Patientenvorbereitung	
<input type="radio"/> Einwilligung fehlend/mangelhaft	
<input type="radio"/> Labor fehlend/mangelhaft	
<input type="radio"/> Braunüle fehlend/läuft nicht	
<input type="radio"/> OP-Bericht fehlend	
<input type="radio"/> Patient nicht nüchtern	
<input type="radio"/> EKG fehlt	
<input type="radio"/> Sonstige: _____	
<input type="checkbox"/> Transportdienst	
<input type="checkbox"/> Untersucher nicht verfügbar/verspätet	
<input type="checkbox"/> Oberarzt nicht verfügbar/verspätet	
Anzahl Telefonate bis Untersucher _ _ bis Oberarzt _ _	
<input type="checkbox"/> Komplikation	
<input type="radio"/> Während Durchführung/Eingriff	
<input type="radio"/> Während Vorbereitung/Nachsorge	
<input type="checkbox"/> Begleitarzt nicht verfügbar	
<input type="checkbox"/> Sonstige: _____	
Prozess abgebrochen	
bei der Vorbereitung <input type="checkbox"/> bei der Durchführung <input type="checkbox"/>	

A39. Erläuterungen zum Datenerhebungsbogen HKL

a) Allgemeine Angaben

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
Fall-Nr.	Zahl	55512648	Jeder Patient erhält pro Aufenthalt im Krankenhaus eine Fallnummer. Diese wird nie doppelt vergeben. Hierüber ist eine eindeutige Identifizierung des Patienten während des gesamten Aufenthalts möglich.
Herzkatheter-Nr.	Zahl	1500	Die Katheternummer ist eine fortlaufende Nummer, welche im HKL vergeben wird, beginnend mit 1 im jeweiligen Jahr, z.B. 1500/09 für den Katheter 1500 in 2009. Jeder Patient erhält je Untersuchung eine Katheternummer.
Keine Nr. angelegt	CheckBox	x	Patienten, welche noch keine Katheternummer haben, weil z.B. kein Herzkatheter verwendet oder die Untersuchung abgebrochen wurde, bekommen stattdessen ein Kreuz in diesem Feld.
Notfall-Patient	CheckBox ja/nein	x	Um eine spätere Untersuchung und evtl. Einplanung der Notfälle zu ermöglichen, wird festgehalten, ob es sich bei der Untersuchung um einen Notfall handelt oder nicht.
Patient nachgemeldet	CheckBox ja/nein	x	Um die Güte und Verlässlichkeit der Planung zu untersuchen, wird erfasst, ob der Patient in der bisherigen Planung berücksichtigt wurde oder nicht.
Dienstzeit / Bereitschaftsdienst	CheckBox	x	Für eine evtl. spätere Auswertung der Ressourcenauslastung wird differenziert, ob die Untersuchung zu den regulären Arbeitszeiten oder nach der regulären Dienstzeit durch den Bereitschaftsdienst ausgeführt wurde.
HKL 1-4	CheckBox	x	Hier wird festgehalten, in welchem HKL der Patient untersucht wurde. Je nach Anzahl der HKL-Labore der Einrichtung wurde dies angepasst und ggf. die Labore zur besseren Identifizierung näher bezeichnet.

Tab. 111: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – allgemeine Angaben

b) Art des Eingriffs

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
Art des Eingriffs	CheckBox	x	Mit diesem Fragenkomplex wird die Art des Eingriffs abgefragt. Hierzu sind die häufigsten Untersuchungsarten aufgeführt, welche mittels einer CheckBox ausgewählt werden können. Dies ist für eine spätere Planung oder Patientengruppierung von Relevanz. Sofern einzelne Untersuchungen signifikante Unterschiede in der Behandlungsdauer und dem Behandlungsablauf aufweisen, müssen diese ggf. separat betrachtet und geplant werden.
Sonstige	Textfeld	Gradientenmessung	Dieses Feld dient zur handschriftlichen Ergänzung, falls eine nicht im Auswahlbereich des Fragebogens aufgeführte Behandlung/Untersuchung durchgeführt wird.

Tab. 112: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Art des Eingriffs

c) Vorbereitung

Da eine Untersuchung auch über zwei Tage gehen kann z.B. Beginn nachts 23:45 Uhr und Ende morgens 02:50 Uhr, wird bei jedem Schritt das Datum und die Uhrzeit abgefragt. Sofern die Untersuchung an einem Tag durchgeführt wird, braucht das Datum auch nur einmalig eingetragen zu werden. Hierfür sind die Felder T _ _ M _ _ J _ _ vorgesehen (Tag, Monat, Jahr). Die Uhrzeiten werden in gleicher Form erfasst: h _ _ m _ _, mit jeweils einem Feld für Stunde und Minute.

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
Abruf Patient	Uhrzeit	10:25	Abruf des Patienten von der Station (z.B. kardiologische Station oder Notaufnahme).
Ankunft Patient	Uhrzeit	10:45	Zeitpunkt, zu dem der Patient im HKL eintrifft / vom Transportdienst an das HKL übergeben wird.
Beginn Tisch-/Raumvorbereitung	Uhrzeit	10:35	Teilweise ist der Tisch-/Raum noch vorzubereiten, in diesen Fällen wird hier die Uhrzeit zum Beginn der Vorbereitungsarbeiten festgehalten.
Tisch bereits fertig	CheckBox ja/nein	x	Sofern der Tisch/Raum bereits fertig vorbereitet ist, wird hier ein Vermerk gemacht. Beginn und Ende der Tisch-/Raumvorbereitung bleibt in dem Fall leer.
Ende Tisch-/Raumvorbereitung	Uhrzeit	10:50	Zeitpunkt, zu dem die Vorbereitungen abgeschlossen sind. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Raum desinfiziert, alle Arbeitsmaterialien bereitgestellt und der Raum ist fertig um einen Patienten aufzulegen.
Patienteneinschleusung (Beginn Patientenvorbereitung)	Uhrzeit	10:47	Sobald der Patient eingetroffen ist, kann die Patienteneinschleusung beginnen. Da dies nicht immer auf denselben Zeitpunkt wie das Eintreffen des Patienten fällt, wurde dies separat erfasst. Während der Patientenvorbereitung wird u.a. der Patient auf den OP-Tisch aufgelegt, an die erforderlichen Geräte angeschlossen, die Patienten-dokumentation vorbereitet und der Patient steril abgedeckt.
Patientenfreigabe/ "blau" (Ende Patientenvorbereitung)	Uhrzeit	11:10	Hiermit wird der Zeitpunkt der sterilen Abdeckung bezeichnet (Das sterile Abdecktuch ist blau.). Ab diesem Zeitpunkt sind der Patient und der Raum fertig vorbereitet zur Durchführung der Untersuchung.
Abruf Arzt	Uhrzeit	11:05	Unter Umständen ist der Arzt im Haus unterwegs und muss informiert werden, dass der Patient bereit ist. Dieser Zeitpunkt wird als Abruf des Arztes notiert.

Tab. 113: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Vorbereitungen

d) Durchführung

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
Eintreffen Arzt	Uhrzeit	11:10	Eintreffen des Arztes im HKL. Sofern der Arzt bereits vor Ort war, wurde dies handschriftlich vermerkt.
Stich/Schnitt Beginn Untersuchung	Uhrzeit	11:17	Wenn der Arzt im HKL eintrifft, muss er sich u.a. noch umziehen, steril einkleiden, desinfizieren und entsprechend vorbereiten. Sobald er am Tisch steht und die Untersuchung beginnt, wird die Zeit genommen als „Stich“.
Verschlussystem	CheckBox ja/nein	x	Sofern ein Verschlussystem eingesetzt wird, muss vorher die Schleuse gezogen werden. Dies bedeutet zusätzlichen Zeitbedarf während der Untersuchung, kann aber eine wesentlich kürzere Nachbehandlung und Liegezeit des Patienten auf der Station bedeuten.
Schleuse manuell gezogen	CheckBox Arzt/ Pflegerkraft	x	Die Schleuse dient als flexible Führungsschiene, durch deren Inneres der Katheter in das Blutgefäß gleiten kann, wobei gleichzeitig die Einstichstelle abgedichtet wird. Sofern diese am Ende der Untersuchung gezogen wurde, wird hier vermerkt, ob dies durch einen Arzt oder eine Pflegekraft erfolgte.
Naht/Schleuse ex (Ende Untersuchung)	Uhrzeit	12:30	Hier wird der Zeitpunkt vermerkt, zu dem die Untersuchung abgeschlossen ist, die Schleuse aber noch nicht gezogen wurde. Unter Umständen verbleibt die Schleuse am Patienten, wenn sehr kurzfristig eine weitere Untersuchung erforderlich ist. In diesen Fällen bleiben die vorherigen 3 Punkte leer.
Arzt verlässt Tisch	Uhrzeit	12:35	Je nachdem, ob der Arzt die Schleuse zieht oder nicht, kann der Zeitpunkt zu dem der Arzt den Tisch verlässt variieren und vor oder nach dem Endzeitpunkt der Untersuchung sein.

Tab. 114: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Durchführung

Anhang

e) Nachbereitung

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
Patientenaus- schleusung (Beginn)	Uhrzeit	12:40	Entsprechend der Einschleusung wird hier der Zeitpunkt des Beginns der Ausschleusung festgehalten. Der Patient wird u.a. von den angeschlossenen Geräten entfernt, vom Tisch genommen und erste Nachbereitungen werden vorgenommen. Dies endet mit der Übergabe an den Transportdienst/Pflegekräfte der Station zur Abholung.
Zwischenreinigung	CheckBox ja/nein	x	Je nachdem, wie verschmutzt der Raum nach der Untersuchung ist oder nach Auflagen z.B. MRSA-Patienten (Patienten mit multiresistentem Erregerstamm), wird eine Zwischenreinigung oder eine Grundreinigung vorgenommen. Zwischenreinigungen sind die häufigere, weniger aufwendige Form. Reinigungsarbeiten werden durch einen Reinigungsdienst durchgeführt.
Grundreinigung	CheckBox ja/nein	x	Je nachdem, wie verschmutzt der Raum nach der Untersuchung ist oder nach Auflagen z.B. MRSA-Patienten (Patienten mit multiresistentem Erregerstamm), wird eine Zwischenreinigung oder eine Grundreinigung vorgenommen. Grundreinigungen sind die weniger häufigere, zeitaufwendigere Form. Reinigungsarbeiten werden durch einen Reinigungsdienst durchgeführt.
Raumfreigabe	Uhrzeit	13:05	Hier wird der Zeitpunkt vermerkt, zu dem der Untersuchungsraum geräumt und gereinigt ist.
Abruf Transport	Uhrzeit	13:05	Zu diesem Zeitpunkt wird der Transport abgerufen, um den Patienten vom HKL z.B. zur Station zu bringen.
Übergabe Transport	Uhrzeit	13:10	Zeitpunkt, zu dem der Patient an den Transportdienst/Pflegekräfte der Station zum Rücktransport übergeben wird.
Arztbegleitung	CheckBox ja/nein	x	Unter Umständen ist der Patient nach der Untersuchung so instabil, dass eine Begleitung durch einen Arzt erforderlich ist. Dies wird hier entsprechend vermerkt.

Tab. 115: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Nachbereitung

f) Gründe für Verzögerungen

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
diverse Gründe für Verzögerungen	CheckBox	x	Verzögerungen können unterschiedlichste Ursachen haben. Die in den persönlichen Gesprächen mit den Mitarbeitern am häufigsten genannten Ursachen wurden hier einzeln aufgeführt. Sofern diese eintreten, z.B. der Patient nicht nüchtern ist, wird hier ein entsprechender Vermerk vorgenommen.

Tab. 116: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Verzögerungen

g) Prozess abgebrochen

Feldbezeichnung	Art der Werte	Beispielwert	Beschreibung
bei Vorbereitung	CheckBox	x	Wird die Untersuchung bereits bei der Vorbereitung abgebrochen, wird dies hier vermerkt. Das ist sehr wichtig, da dies sehr wahrscheinlich zu Leerständen in der Belegung des HKL führen kann. Es handelt sich hierbei häufig um vermeidbare Ursachen.
bei Durchführung	CheckBox	x	Wird die Untersuchung bei der Durchführung abgebrochen, wird dies hier vermerkt. Dies kann zu signifikant kürzeren Behandlungszeiten führen, welche mit Hilfe dieses Vermerkes identifiziert werden können.

Tab. 117: Erläuterung Datenfelder im Erhebungsbogen HKL – Prozessabbruch

A40. Ausgewählte Kennzahlen aus der Erhebung im HKL

betrachtete Größe	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=710
Mehrarbeit je Tag im Mittel (nach regulärer Laborzeit) in Prozent (kein Bereitschaftsdienst, ohne Aufräumarbeiten)	HKL1: 2,08 % HKL2: 7,31 % HKL3: 9,21 % HKL4: -	HKL1: 0,92 % HKL2: 1,17 % HKL3: 0,24 % HKL4: -	HKL1: 3,36 % HKL2: 12,37 % HKL3: 3,48 % HKL4: n.v.
Leerstand je Tag im Mittel in Prozent (letzte Maßnahme bis Ende der regulären Laborzeit)	HKL1: 19,09 % HKL2: 32,04 % HKL3: 19,83 % HKL4: -	HKL1: 26,92 % HKL2: 17,65 % HKL3: 54,36 % HKL4: -	HKL1: 7,20 % HKL2: 6,62 % HKL3: 8,97 % HKL4: n.v.
Leerstand je Tag im Mittel in Prozent (innerhalb der Laborzeit)	HKL1: 43,17 % HKL2: 53,92 % HKL3: 54,75 % HKL4: -	HKL1: 48,30 % HKL2: 38,10 % HKL3: 49,13 % HKL4: -	HKL1: 26,35 % HKL2: 30,62 % HKL3: 31,43 % HKL4: n.v.
Verteilung der Patienten auf die HKL (in Prozent)	HKL1: 52,23 % HKL2: 24,84 % HKL3: 22,93 % HKL4: -	HKL1: 32,21 % HKL2: 44,38 % HKL3: 23,41 % HKL4: -	HKL1: 39,01 % HKL2: 31,91 % HKL3: 22,27 % HKL4: 06,81 %

Datenquelle: Erhebungsbögen, schriftliche Dokumentationen, SAP IS-H*med,
Tab. 118: Ausgewählte Kennzahlen im HKL (1/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich

Anzahl Patienten je Behandlungstag ¹²³ in allen HKL	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=710
Minimum	7	6	3
Maximum	15	22	22
Mittelwert	11,2143	14,0526	14,5276
Median	11	14	15

Anzahl Notfälle je regulärem Behandlungstag ¹²⁴	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=710
Minimum	0	0	0
Maximum	4	8	5
Mittelwert	0,828	1,6521	1,775
Median	0	1	2

Schnitt-Naht-Zeit je Fall (in Minuten)	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=710
Minimum	2	1	1
Maximum	325	347	797
Mittelwert	61	54	58
Median	46	42	46

Belegungszeit des HKL je Fall (in Minuten) (Beginn Ein- bis Ende Ausschleusung)	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=710
Minimum	23	32	18
Maximum	380	510	860
Mittelwert	112	115	99
Median	95	97	84

Datenquelle: SAP IS-H*med, Erhebungsbögen, schriftliche Dokumentationen
Tab. 119: Ausgewählte Messpunkte im HKL (2/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich

¹²³ Zur regulären Laborbereitschaftszeit, ohne Wochenende und Feiertage.

¹²⁴ Zur regulären Laborbereitschaftszeit, ohne Wochenende und Feiertage.

Anhang

Anzahl verschobener Untersuchungen je Tag	Einrichtung 1 (2006) n=557	Einrichtung 2 (2009) n=589	Einrichtung 3 (2010) n=1357
Minimum	0	0	0
Maximum	1	2	5
Mittelwert	0,0319	0,1171	0,2697
Median	0	0	0

Datenquelle: Erhebungsbögen, schriftliche Dokumentationen, SAP IS-H*med,
Tab. 120: Ausgewählte Messpunkte im HKL (3/3) – Einrichtung 1-3 im Vergleich

A41. Datenerhebungsbogen kardiologische Ambulanz

Fallnummer		Datum		Vorbereitung		Untersuchung		Nachbereitung		Sonstiges		
				Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Uhrzeit Patienten betritt den Untersuchungsbereich	Uhrzeit Patienten verlässt den Untersuchungsbereich	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	es traten Komplikationen auf	Stationäre Aufnahme angeordnet	
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
											<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

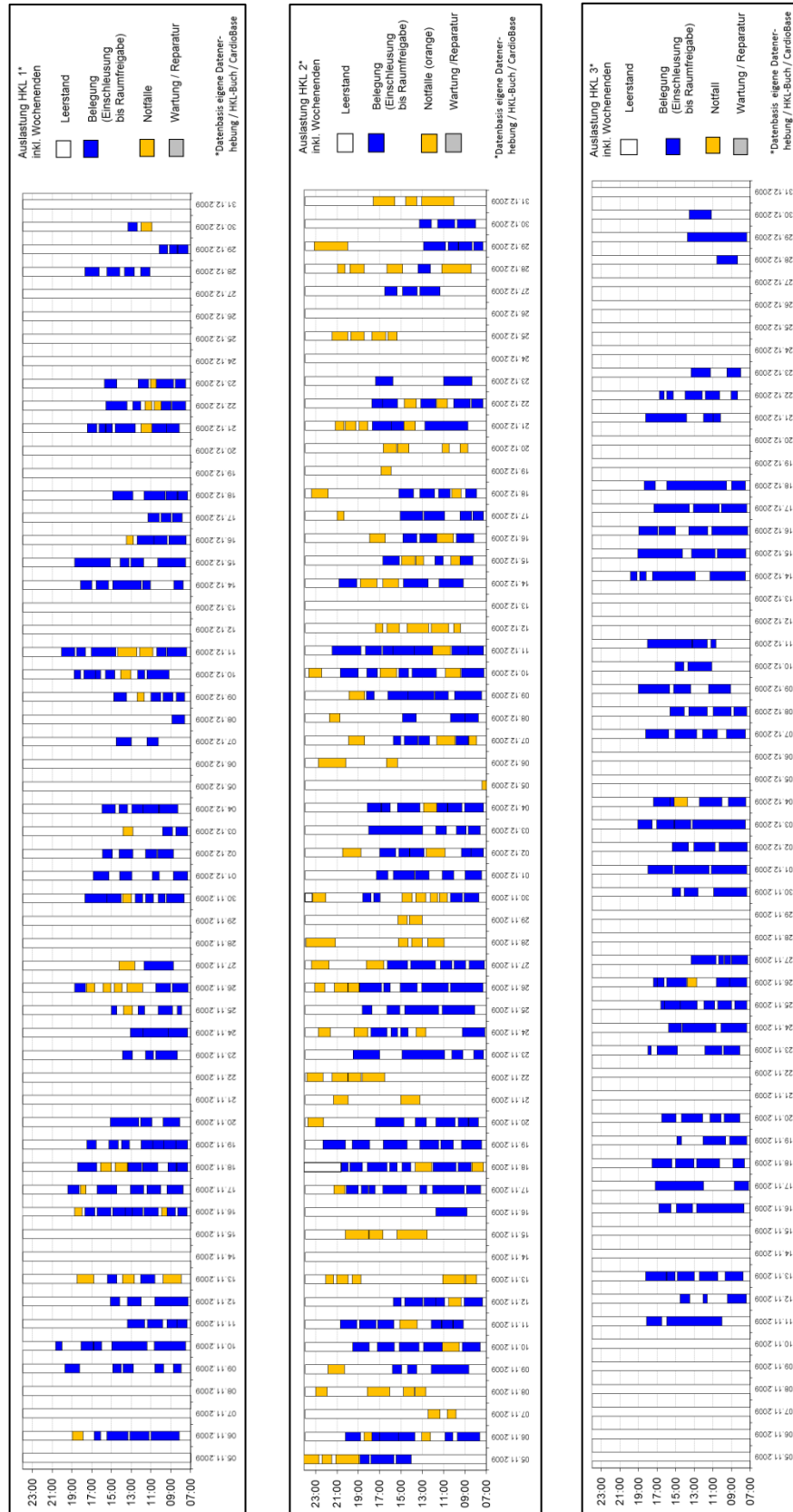
A42. Laufzettel kardiologische Ambulanz

Lfd.Nr. _____

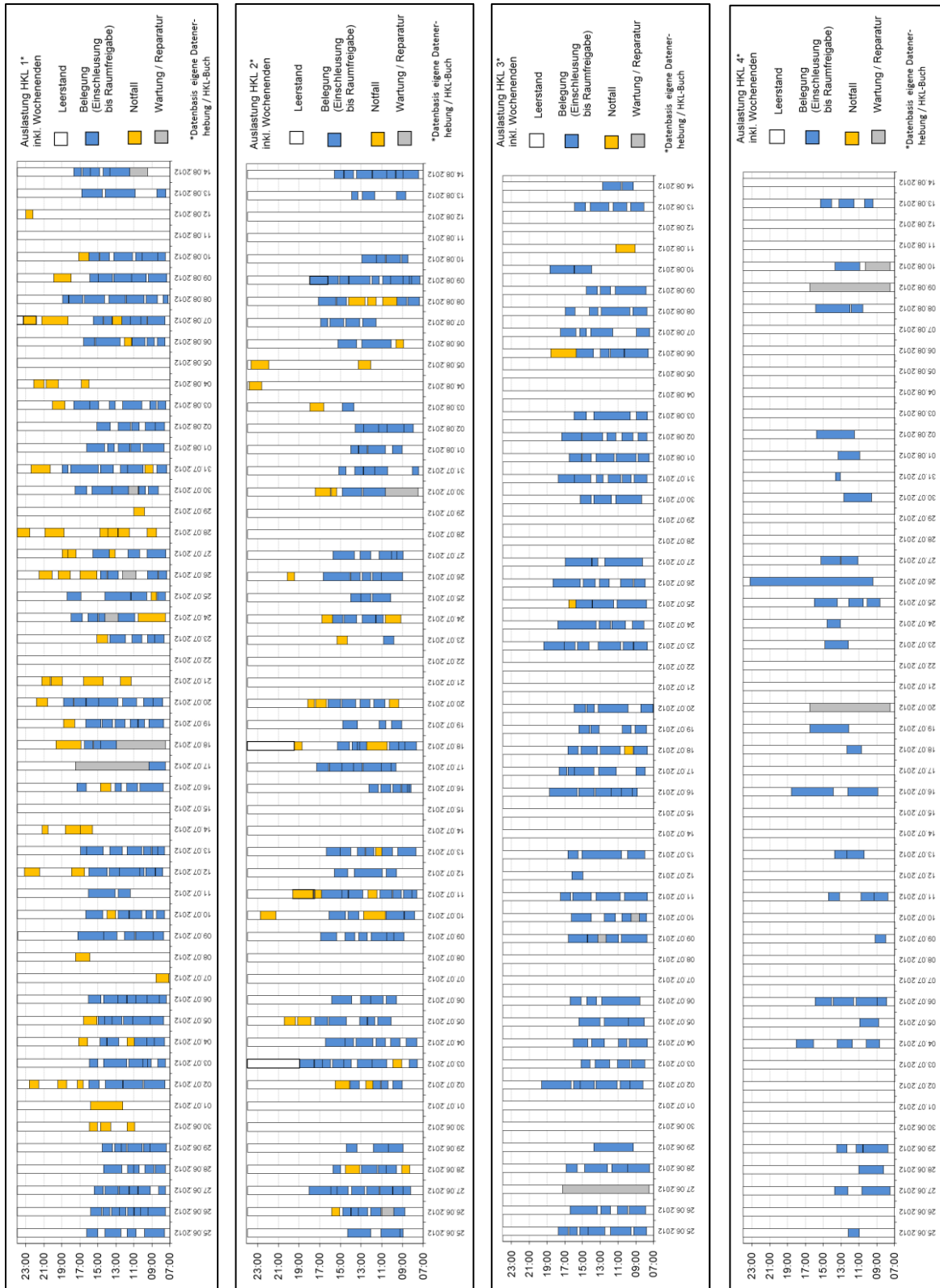
Anmeldung und Allgemeine Angaben:	
Bitte tragen Sie das heutige Datum ein:	_ _ . _ _ . _ _
Sind Sie heute das ersten Mal in <u>dieser</u> kard. Ambulanz?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Wann ist Ihr Termin in der kard. Ambulanz (Uhrzeit)?	_ _ : _ _ <input type="checkbox"/> ohne Termin
Wann sind Sie heute in der Ambulanz eingetroffen (Uhrzeit)?	_ _ : _ _
Wann haben Sie sich heute angemeldet (Uhrzeit):	_ _ : _ _
Welche kard. Spezialambulanz besuchen Sie heute?	<input type="checkbox"/> Allgemeine <input type="checkbox"/> Rhythmus <input type="checkbox"/> Insuffizienz <input type="checkbox"/> Klappen
Erstkontakt (+ Ruhe-EKG):	
Zeitpunkt zu dem Sie aufgerufen wurden:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie das Sprechzimmer verlassen haben:	_ _ : _ _
Mit wem hatten Sie hierbei Kontakt?	<input type="checkbox"/> Schwester <input type="checkbox"/> Arzt
Zeitpunkt Beginn Anfertigung des Ruhe EKG (Uhrzeit)	_ _ : _ _
Zeitpunkt Ende Anfertigung des Ruhe EKG (Uhrzeit)	_ _ : _ _
Was sind Ihre Anlaufpunkte für den heutigen Tag?	
<input type="checkbox"/> Echo <input type="checkbox"/> EKG <input type="checkbox"/> Blutdruck <input type="checkbox"/> Lungenfunktion <input type="checkbox"/> Dopplerunt. <input type="checkbox"/> weiß nicht	
Was ist Ihr <u>nächster</u> Anlaufpunkt am heutigen Tage?
Echo:	
Zeitpunkt zu dem Sie im Echo eingetroffen sind:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie zum Echo aufgerufen wurden:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie den Untersuchungsraum verlassen haben:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie den Untersuchungsbefund (gelb) erhielten:	_ _ : _ _
Welche Untersuchung wurde durchgeführt?	<input type="checkbox"/> normales-Echo <input type="checkbox"/> Schluck-Echo
Was ist Ihr <u>nächster</u> Anlaufpunkt am heutigen Tage?
Belastung/Spiroergometrie:	
Zeitpunkt zu dem Sie bei der Belastung/Spiro eingetroffen sind:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie zum Belastung/Spiro aufgerufen wurden:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie den Untersuchungsraum verlassen haben:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie den Untersuchungsbefund erhielten:	_ _ : _ _
Welche Untersuchung wurde durchgeführt?	<input type="checkbox"/> Langzeit-Blutdruck <input type="checkbox"/> Spiro-Erg. <input type="checkbox"/> Langzeit-EKG <input type="checkbox"/> Belastung-EKG
Was ist Ihr nächster Anlaufpunkt am heutigen Tage?
Abschlussgespräch und Abgabe Laufzettel:	
Hatten Sie ein Abschlussgespräch mit dem <u>Arzt</u> ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Zeitpunkt zu dem Sie für das Abschlussgespräch eingetroffen sind:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem Sie aufgerufen wurden:	_ _ : _ _
Zeitpunkt zu dem das Arztzimmer verlassen haben:	_ _ : _ _
Zeitpunkt Abgabe Laufzettel / Ende des Ambulanztermins:	_ _ : _ _

Version 1 vom 11.10.2012

A43. Grafische Darstellung der Auslastungen in den HKL der Einrichtung 2



A44. Grafische Darstellung der Auslastungen in den HKL der Einrichtung 3



A45. Verteilung in der Art der HKL-Maßnahmen und Maßnahmendauern

Untersuchungsart (Anzahl ausgewerteter Fälle=587)	HKL1	HKL2	HKL3	Summe	Häufigkeit
PCA (Coro) inkl. evtl. Intervention	130	152	6	288	52,27 %
Re-/Li-Katheter ohne Coro	5	18	1	24	4,36 %
PTCA	10	26	0	36	6,53 %
PTA (z.B. Nierenarterie)	0	0	0	0	0,00 %
Myokardbiopsie	5	0	0	5	0,91 %
Perikardpunktion/-drainage	0	1	0	1	0,18 %
TFTAVI	0	9	0	9	1,63 %
MiltraClip	0	8	0	8	1,45 %
PFO-Okkluder	0	2	0	2	0,36 %
LAA-Okkluder	0	0	0	0	0,00 %
EPU-Stimulation	0	0	27	27	4,90 %
Kardioversion	0	0	20	20	3,63 %
ICD-Einstellung mit Schock	0	0	1	1	0,18 %
ICD / SM / CRT	0	0	3	3	0,54 %
Ablation	0	0	24	24	4,36 %
1-K-SM/ICD	2	0	13	15	2,72 %
2-K-SM-ICD	2	0	21	23	4,17 %
CRT/CDT-D	1	0	10	11	2,00 %
CCM	0	0	0	0	0,00 %
Event-Rekanalisation.	0	0	0	0	0,00 %
Aggregatwechsel	3	0	7	10	1,81 %
Sonstige	12	15	17	44	7,99 %
Gesamt	170	231	150	551	100,00 %

Datenquelle: Erhebungsbogen HKL

Tab. 121: Häufigkeitsverteilung der Untersuchungsarten in den HKL1-3 – Einrichtung 2

Anhang

Untersuchungsart	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Messungen
PCA (Coro) inkl. evtl. anschließender Intervention	00:19	02:55	01:02	00:55	250
Re-/Li-Katheter ohne Coro	00:27	03:08	01:11	01:07	52
PTCA	00:30	03:08	01:25	01:20	83
PTA (z.B. Nierenarterie)	00:00	00:00	00:00	00:00	3
Myokardbiopsie	00:54	00:59	00:55	00:54	1
Perikardpunktion/-drainage	00:56	00:56	00:56	00:56	7
TFTAVI	00:53	02:50	01:42	01:40	0
MiltraClip	02:03	04:50	03:07	02:58	8
PFO-Okkluder	00:36	00:54	00:45	00:45	2
LAA-Okkluder	00:00	00:00	00:00	00:00	0
EPU-Stimulation	00:21	05:45	01:49	01:35	23
Kardioversion	00:10	01:09	00:35	00:29	15
ICD-Einstellung mit Schock	01:29	01:29	01:29	01:29	1
ICD / SM / CRT	02:58	03:20	03:09	03:09	2
Ablation	00:49	06:10	03:09	03:09	25
1-K-SM/ICD	00:37	02:20	01:35	01:31	11
2-K-SM-ICD	00:43	02:54	01:48	01:44	18
CRT/CDT-D	01:02	04:53	02:45	02:37	0
CCM	00:00	00:00	00:00	00:00	0
Event-Rekanalisation	00:00	00:00	00:00	00:00	0
Aggregatwechsel	01:06	02:54	01:45	01:43	10
Sonstige	00:00	06:11	01:33	01:24	41
				Summe	552

Datenquelle: Erhebungsbogen HKL

Tab. 122: Dauer der Untersuchungsarten in den HKL1-3 – Einrichtung 2

A46. Verlauf eines Notfalls am Beispiel eines Herzinfarktes

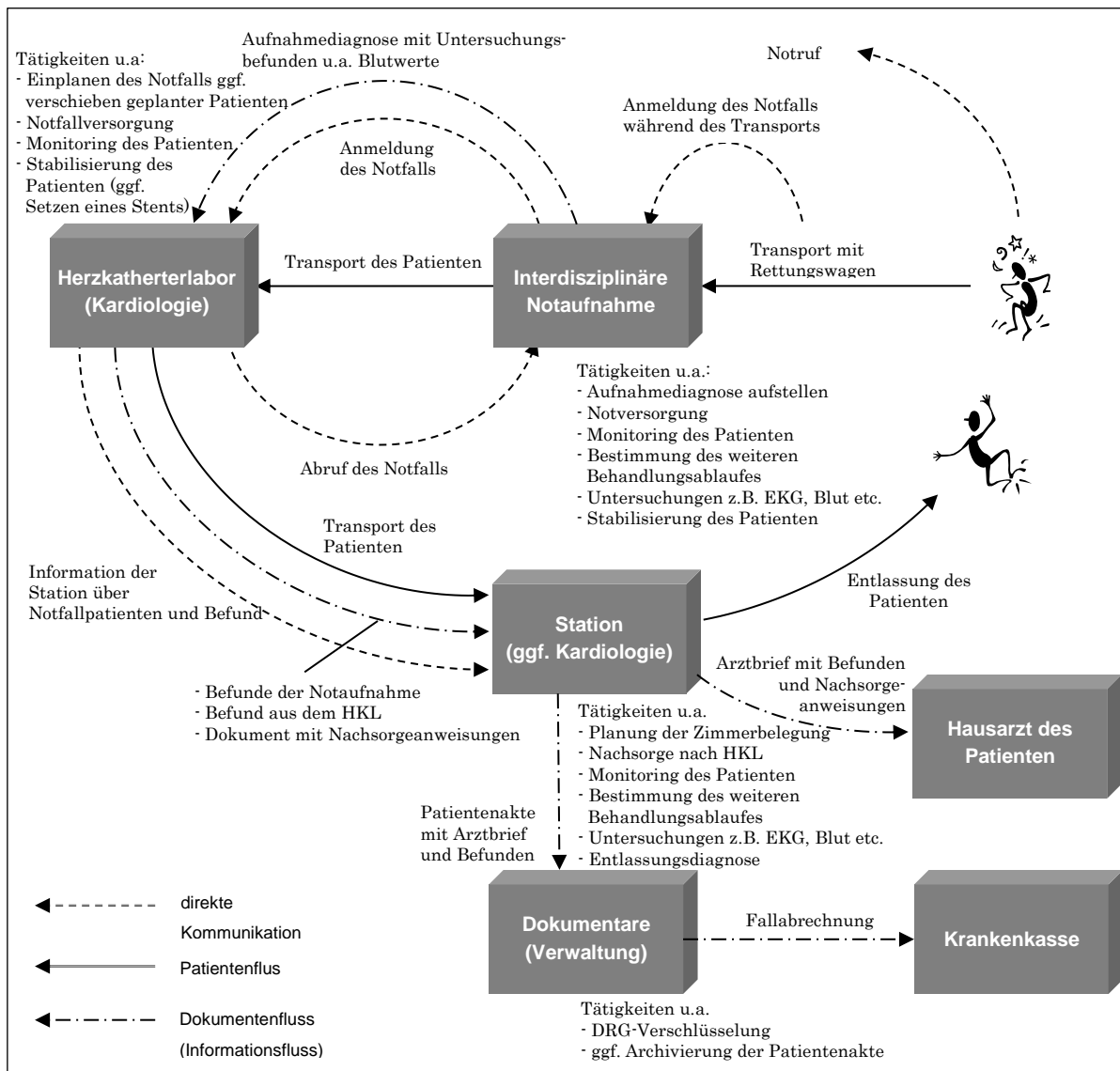


Abb. 161: Patienten-, Informations- und Dokumentenfluss am Beispiel einer STEMI-Notfallbehandlung

Hinter einer solchen Diagnose steht die anfängliche Arbeitsdiagnose „Koronarsyndrom“, bei einer noch unklaren, akuten und länger als 20 Minuten anhaltenden Herz-Symptomatik. In Deutschland ist dies jährlich bei rund 2 Millionen Notfällen gegeben. Bei fast einem Drittel dieser bestätigt sich der Anfangsverdacht. Bei 15 Prozent wird eine instabile Angina pectoris diagnostiziert, bei weiteren 15 Prozent ein Myokardinfarkt (NSTEMI oder STEMI) [Post & Münzel 2010]. Hierbei wird grundsätzlich von einer lebensbedrohlichen Situation des betroffenen Patienten ausgegangen. Eine zeitnahe Behandlung und ggf. Intervention ist erforderlich, um bleibenden Schäden oder gar dem Versterben des Patienten entgegenzuwirken. Ursache des akuten Ereignisses ist eine kritische Verringerung des Blutflusses durch die Ausbildung eines lokalen Blutgerinnsels (Thrombus). Während der Thrombus

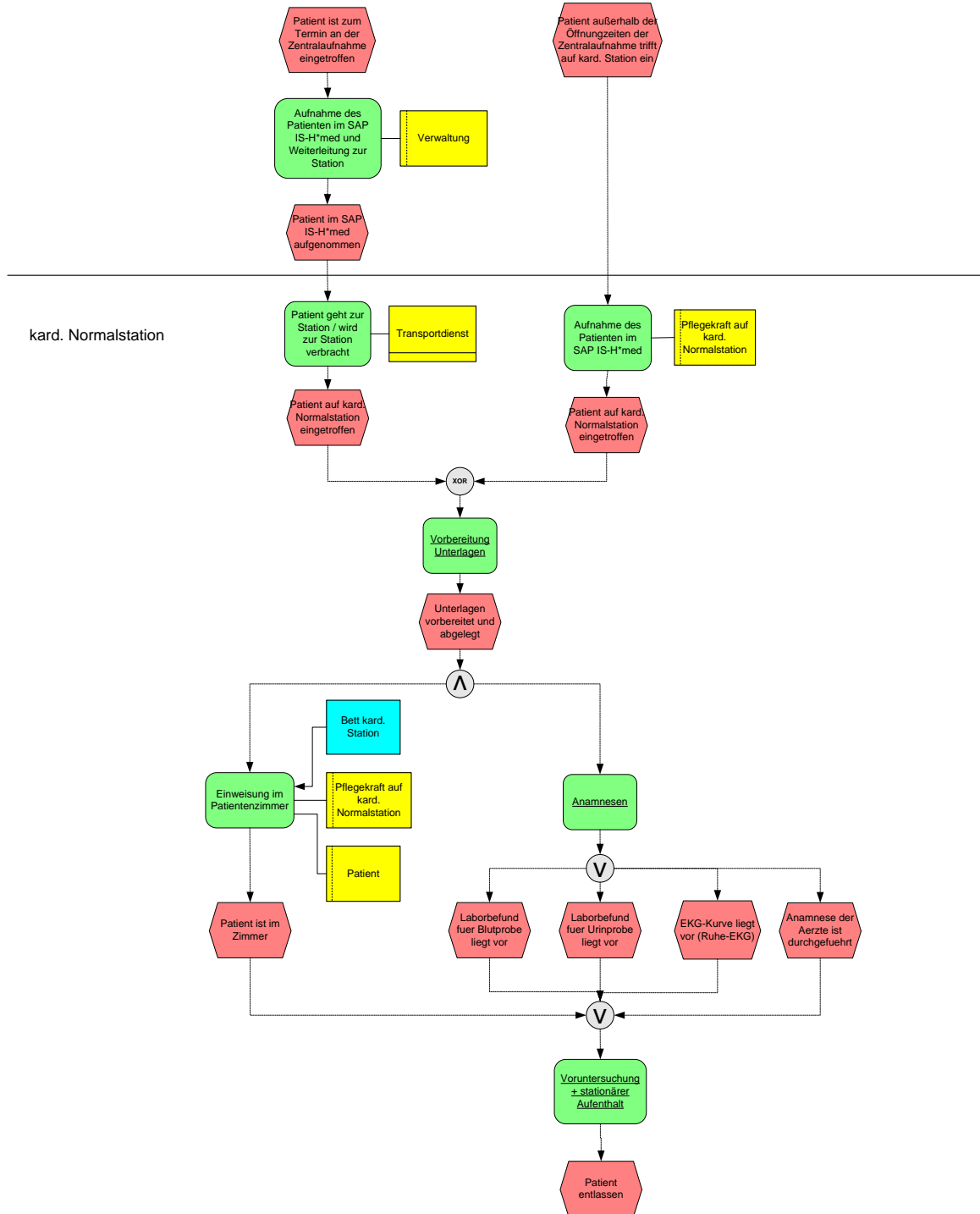
Anhang

beim STEMI das Gefäß in der Regel vollständig verschließt und zum Absterben von Gewebe am Herzmuskel führt, bleibt bei der instabilen Angina pectoris und beim NSTEMI der Blutfluss noch im reduzierten Umfang erhalten.

A47. Für Import und Modelltransformation verwendete eEPKs

Verwaltung

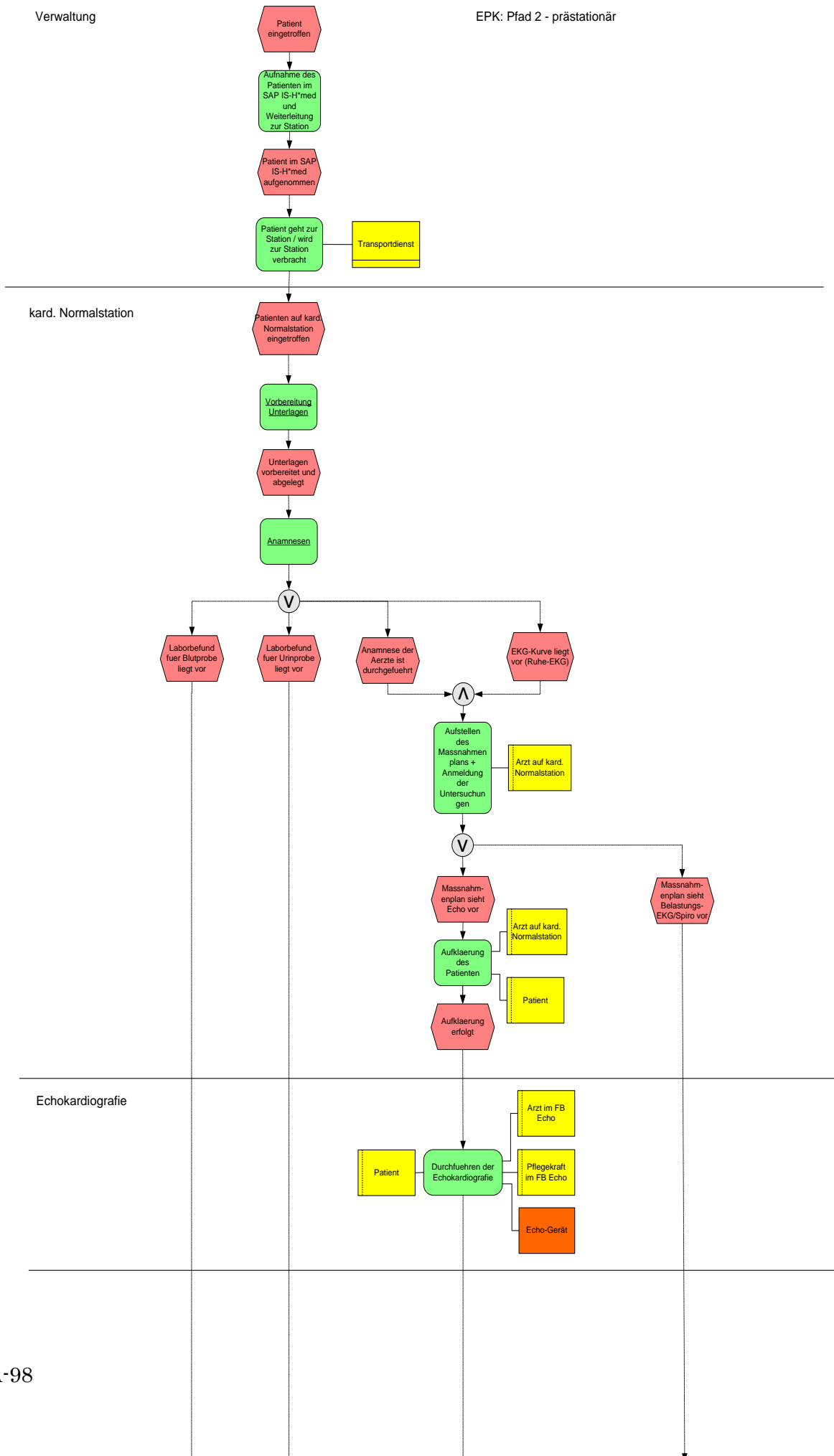
EPK: Pfad 1

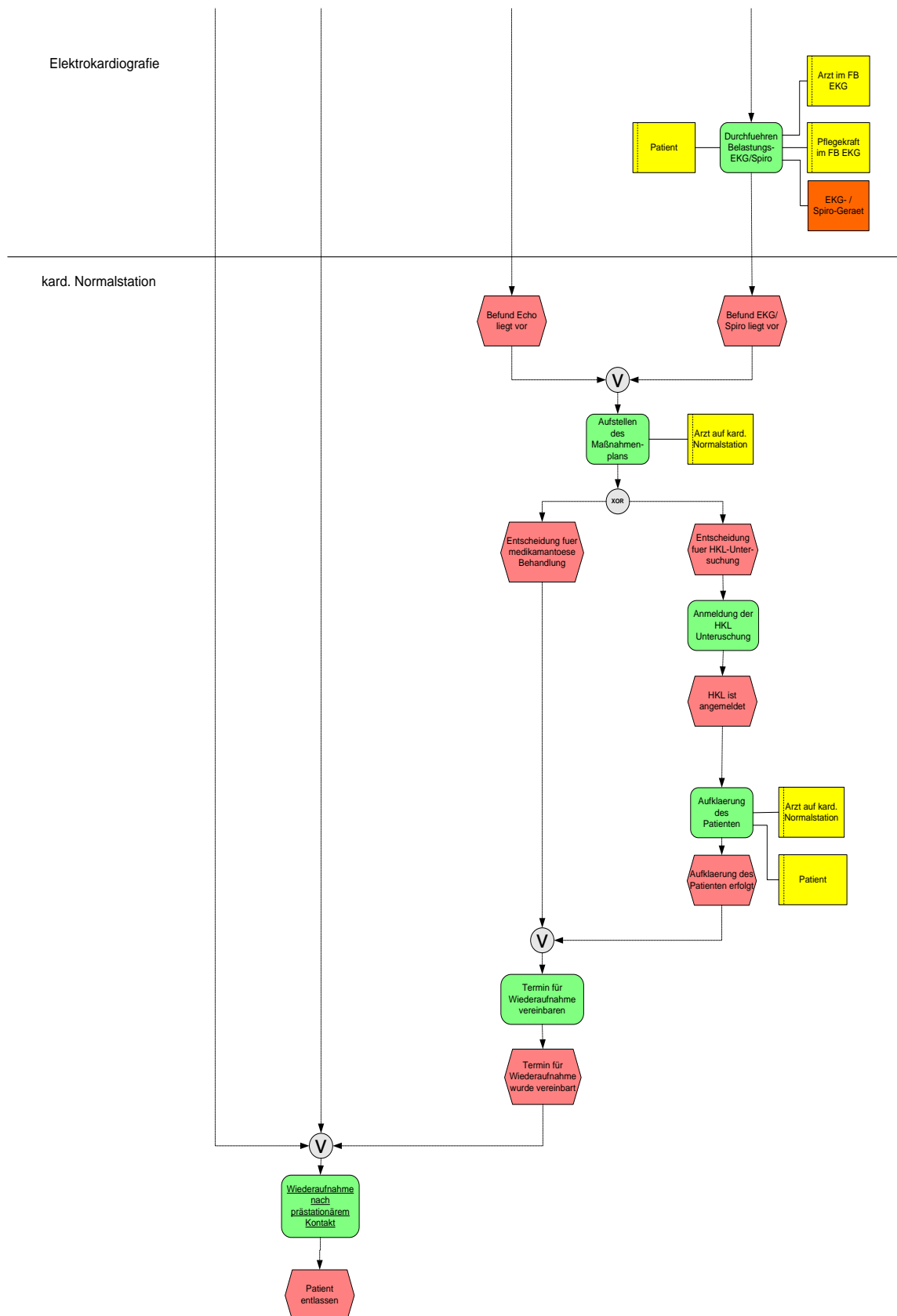


Anhang

Verwaltung

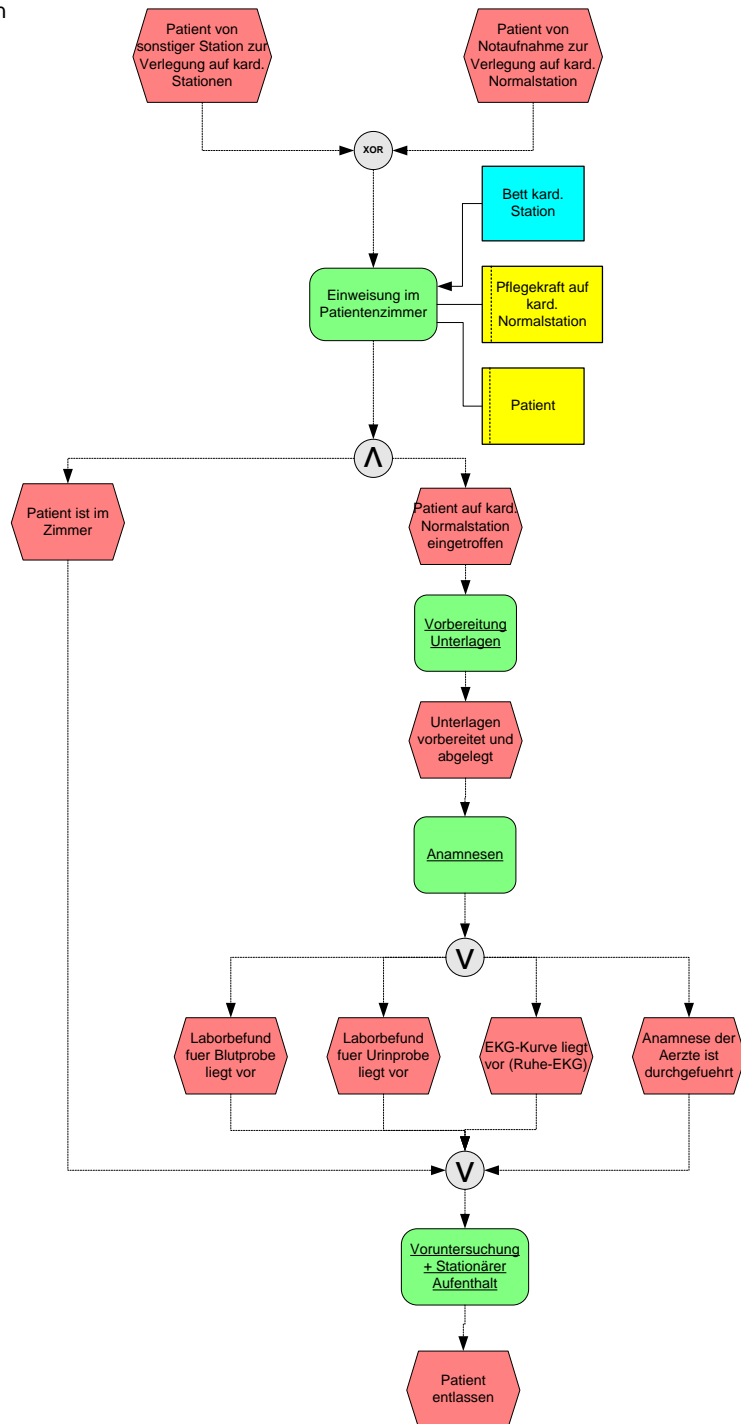
EPK: Pfad 2 - prästationär

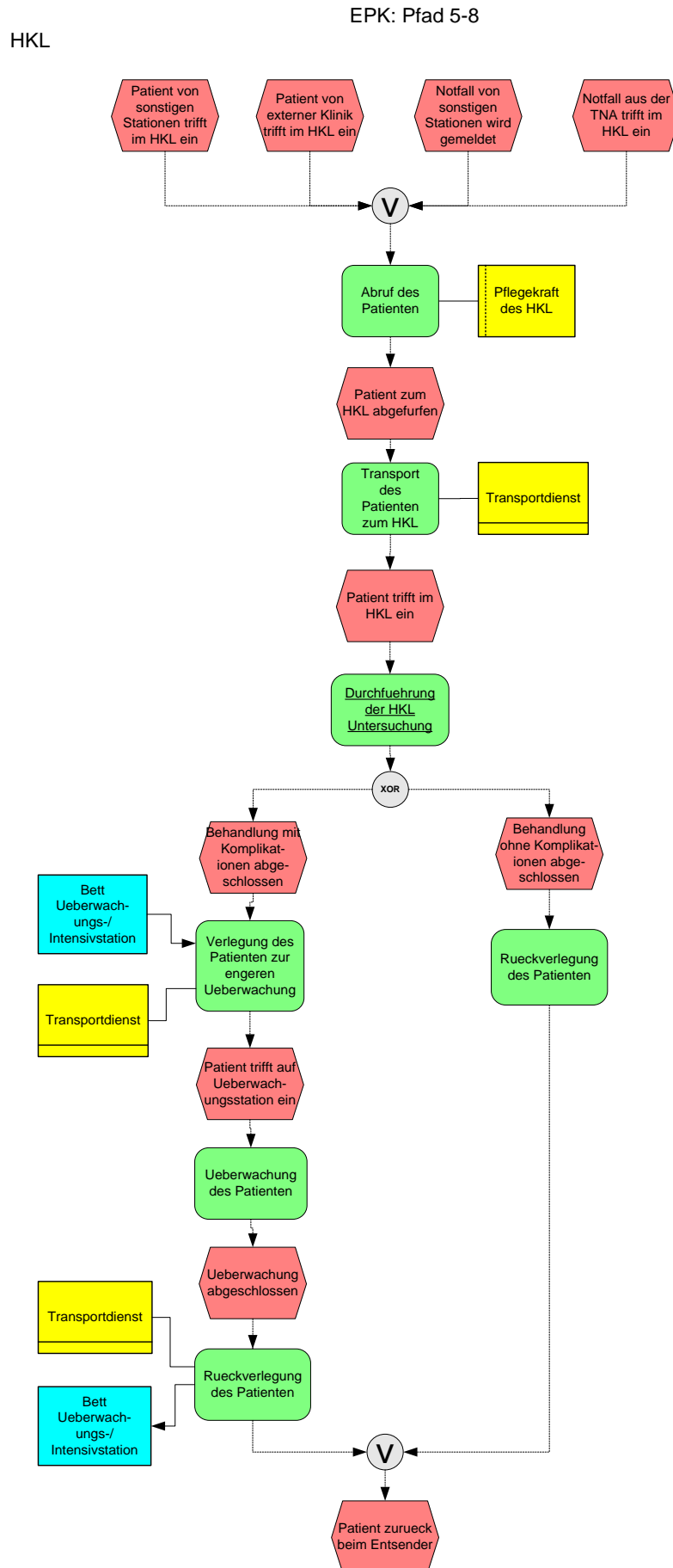




EKP: Pfad 3,4 - nicht-elektiv, stationär

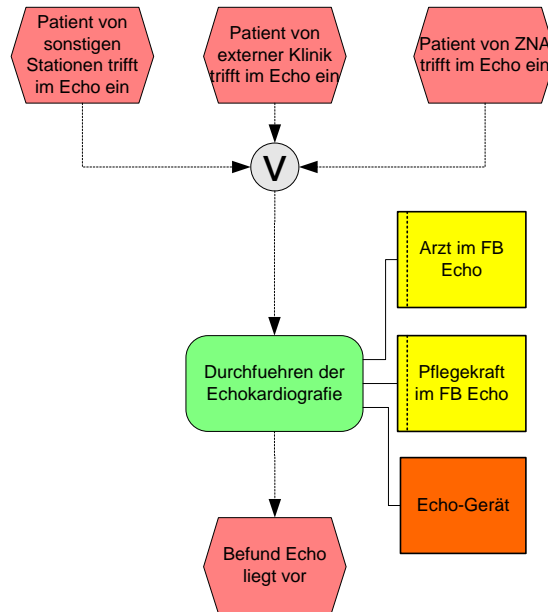
kard. Normalstation





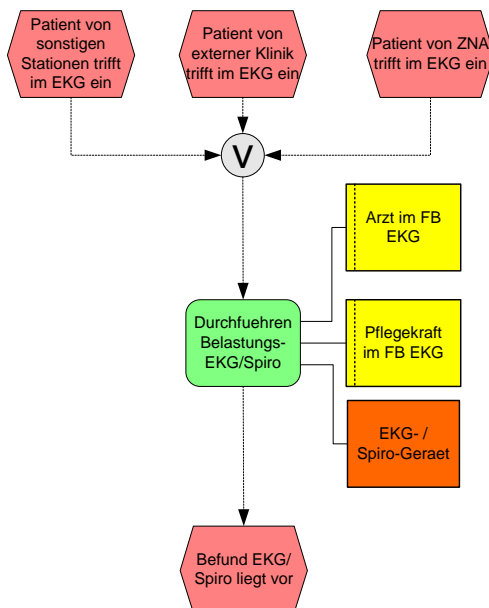
EPK: Pfad 9-11

Echokardiografie



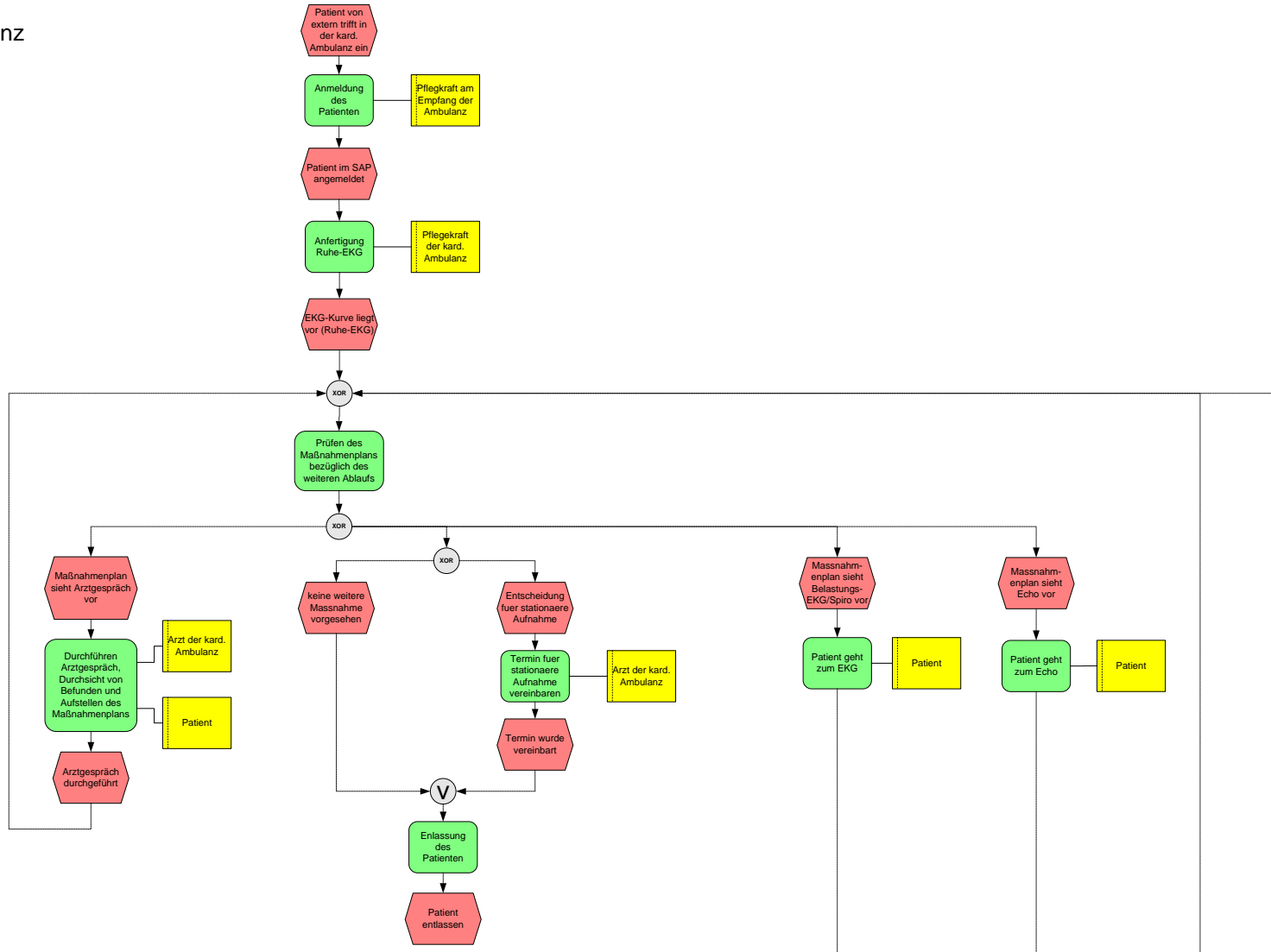
EPK: Pfad 12-14

Elektrokardiografie

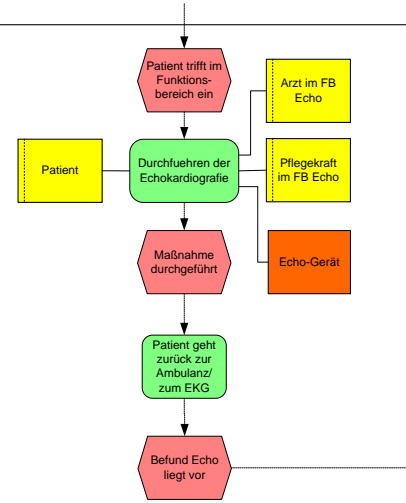


kard. Ambulanz

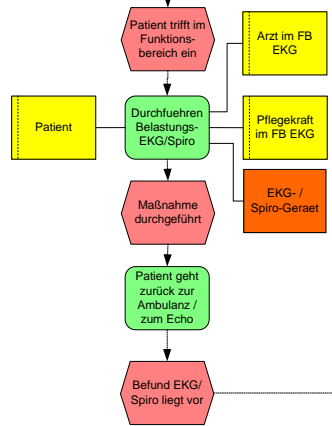
EPK: Pfad 15



Echokardiographie

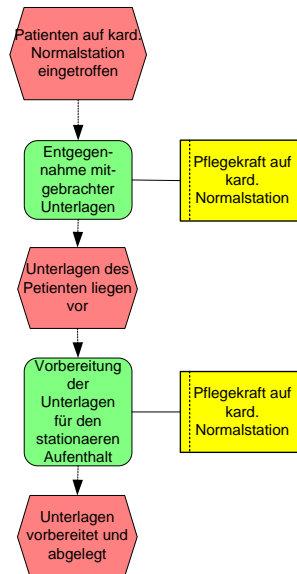


Elektrokardiographie



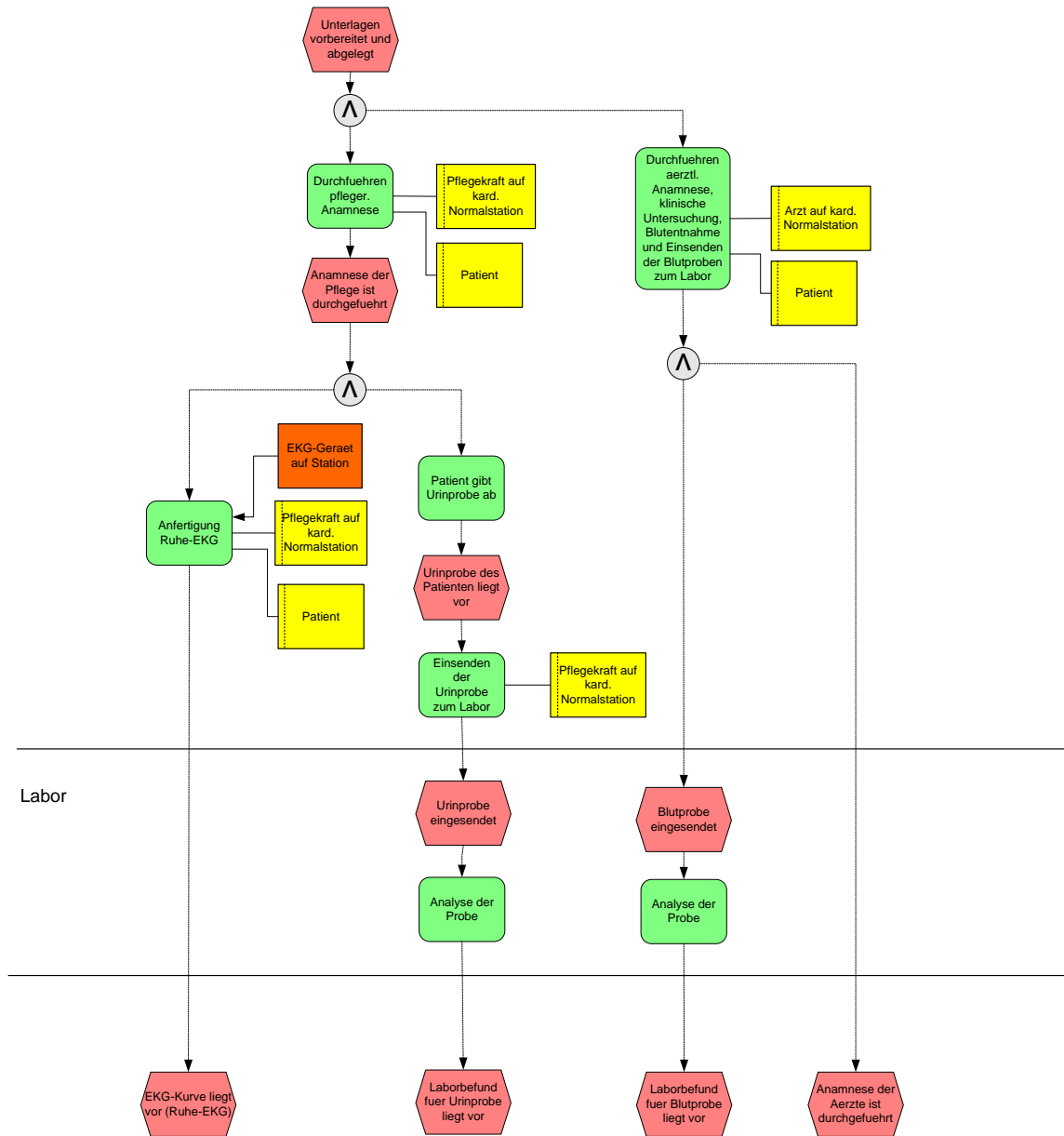
Verfeinerung: Vorbereitung der Unterlagen

kard. Normalstation

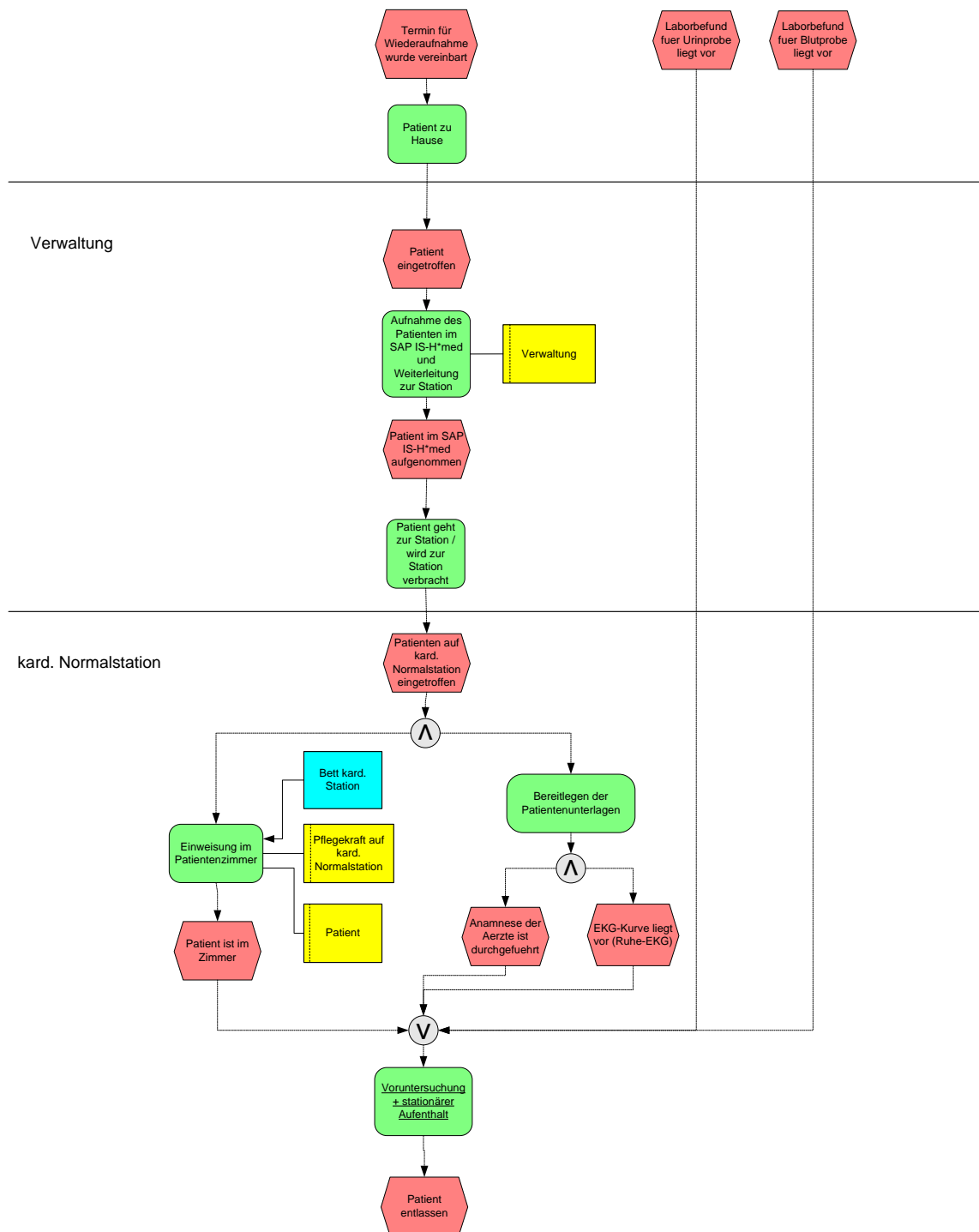


Verfeinerung: Anamnese

kard. Normalstation

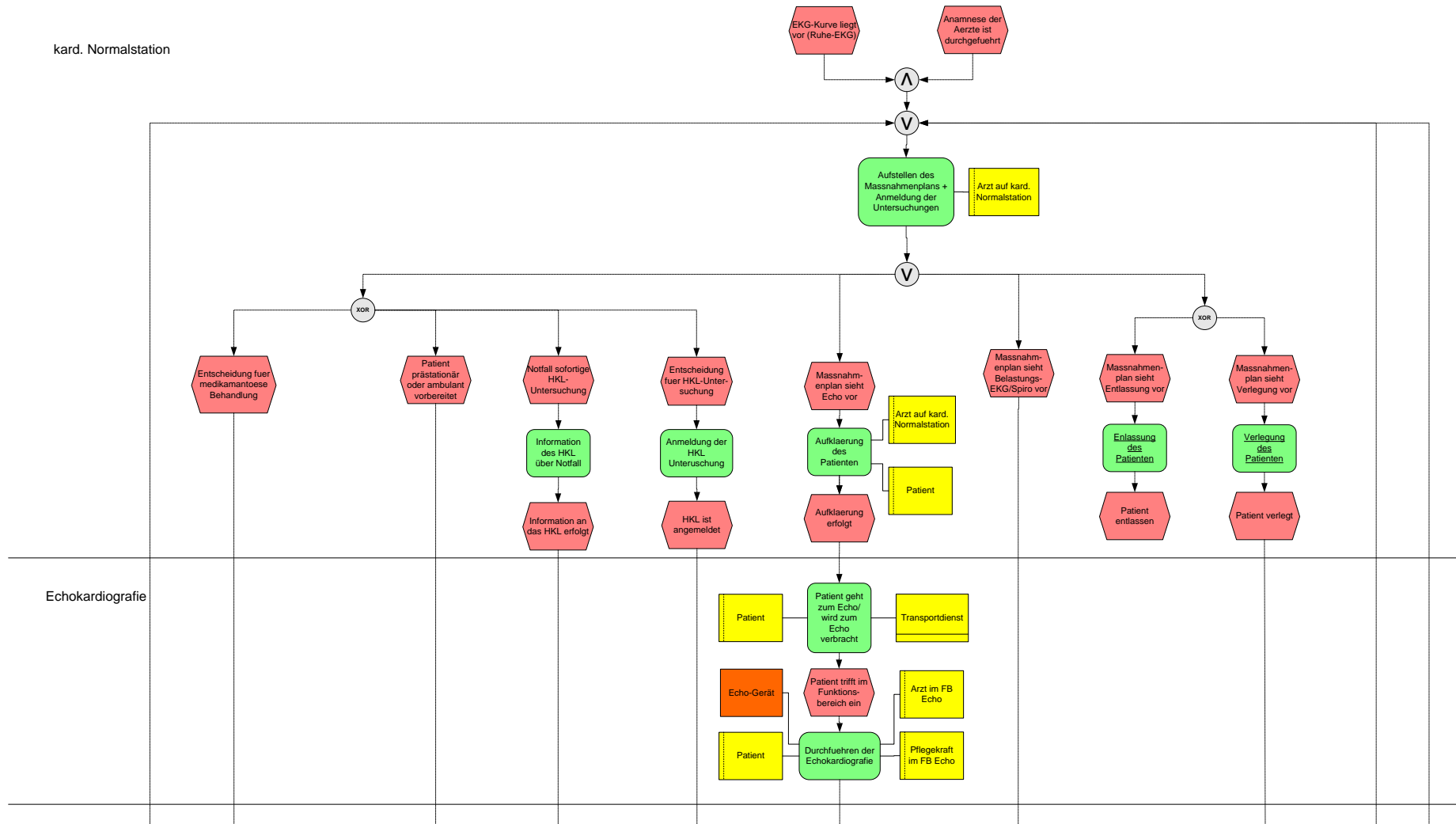


Verfeinerung: Wiederaufnahme nach ambulanten /prästationärem Kontakt



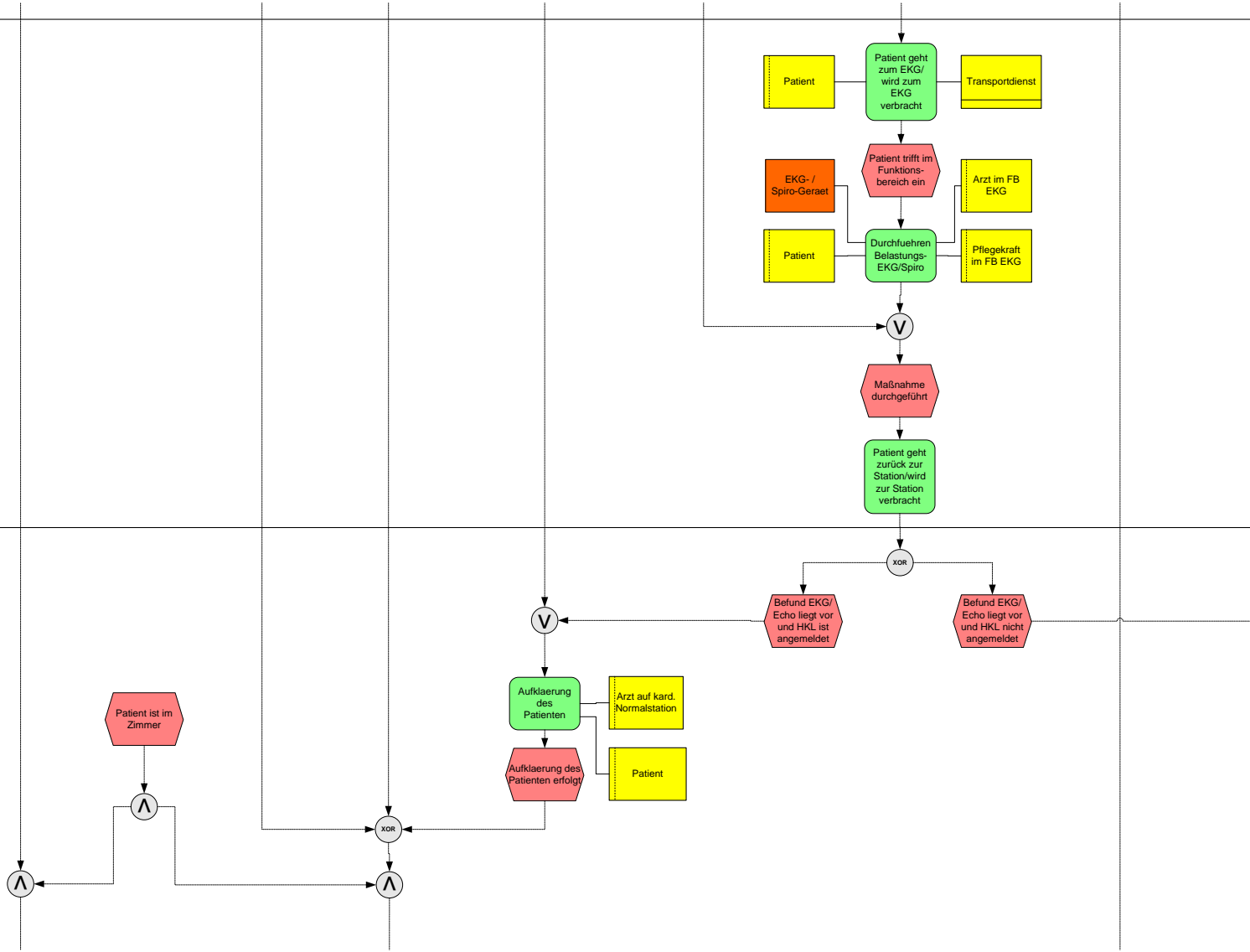
Verfeinerung: Voruntersuchungen und stationärer Aufenthalt

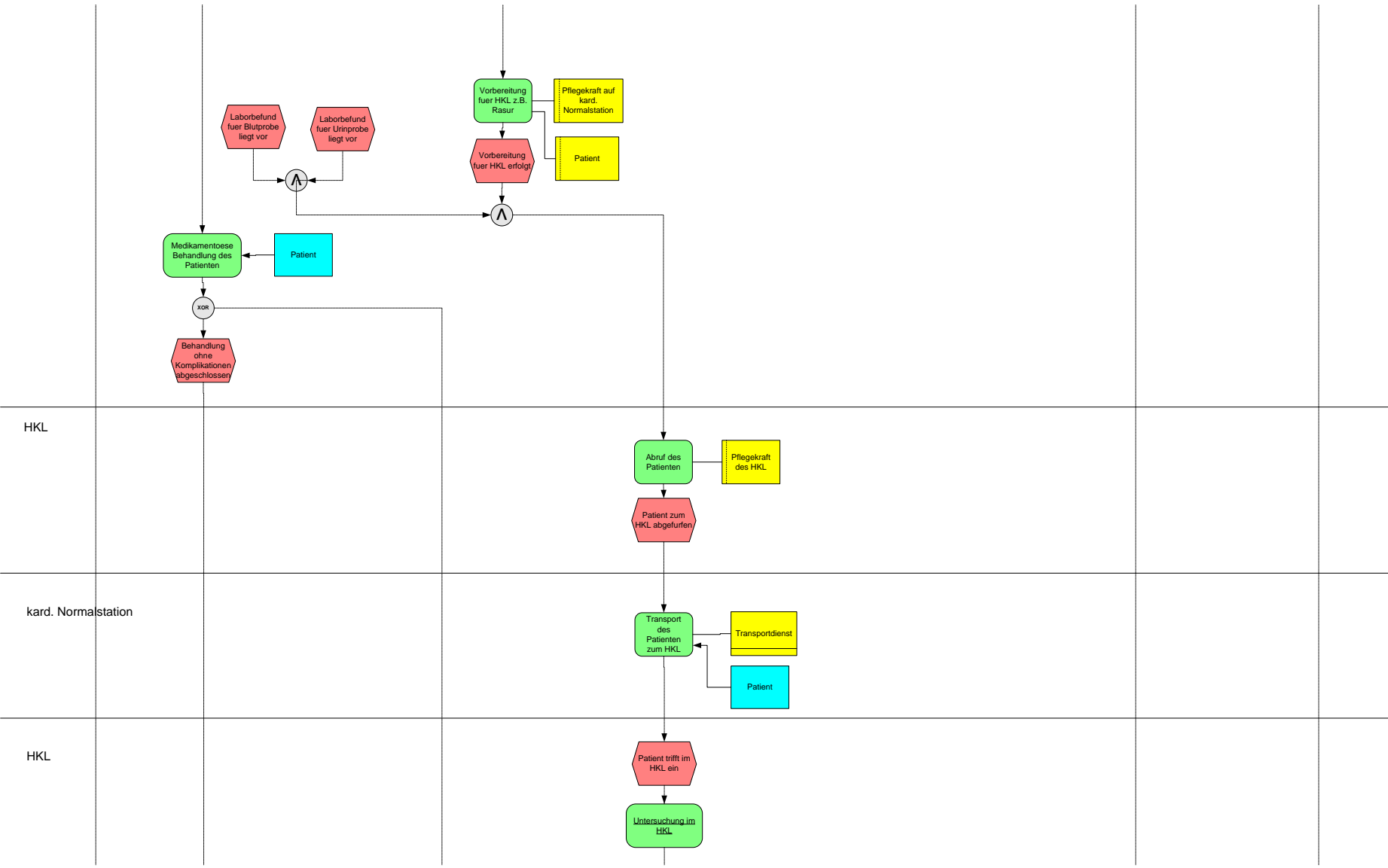
kard. Normalstation

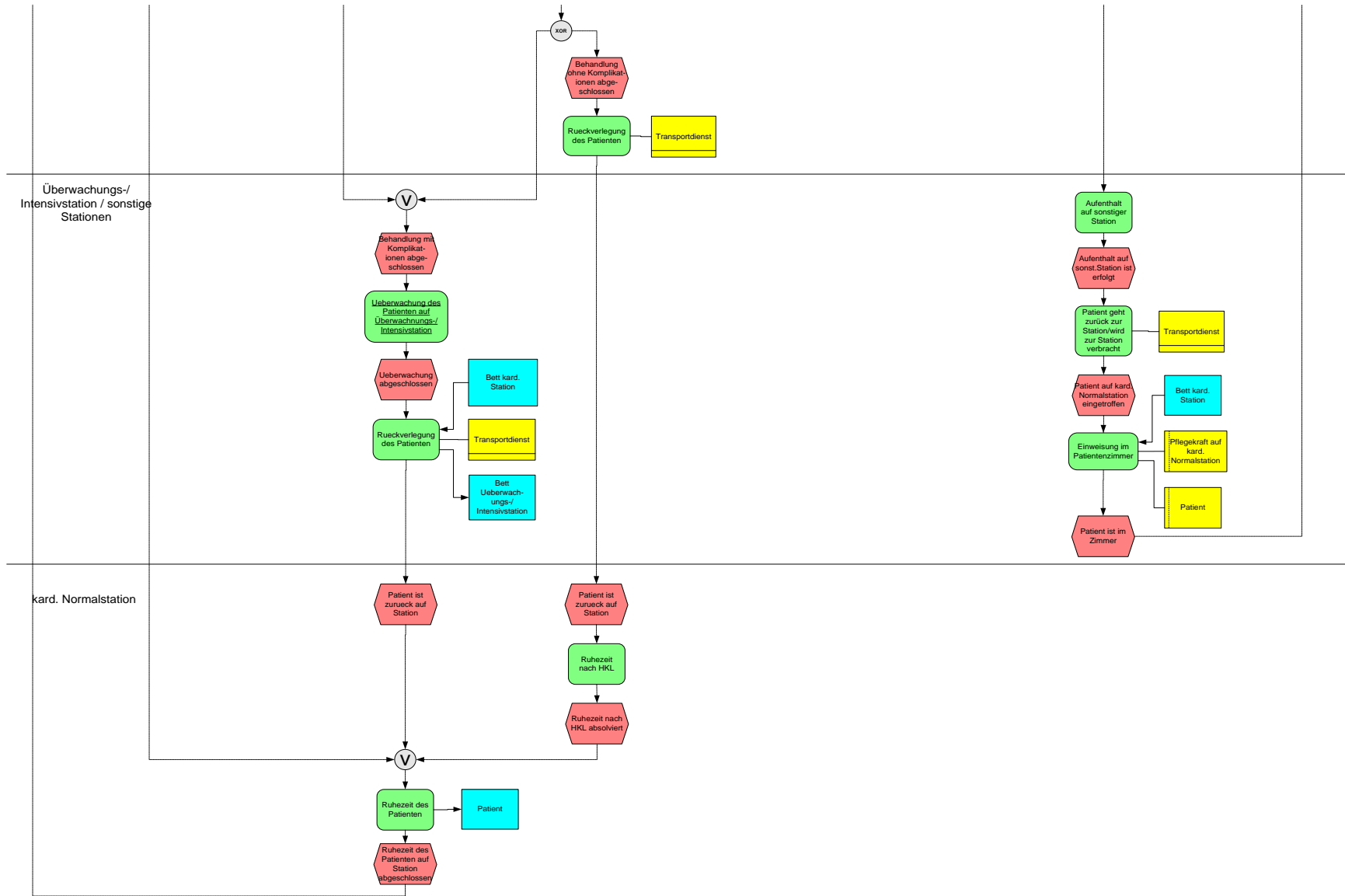


Elektrokardiografie

kard. Normalstation



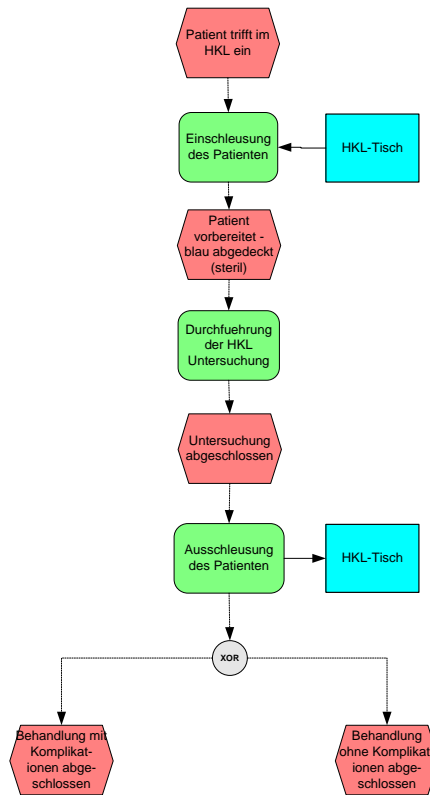




Anhang

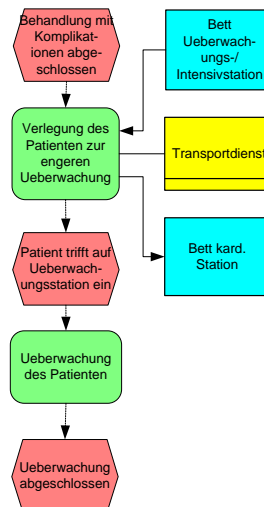
Verfeinerung: Untersuchung im HKL

Herzkatheterlabor



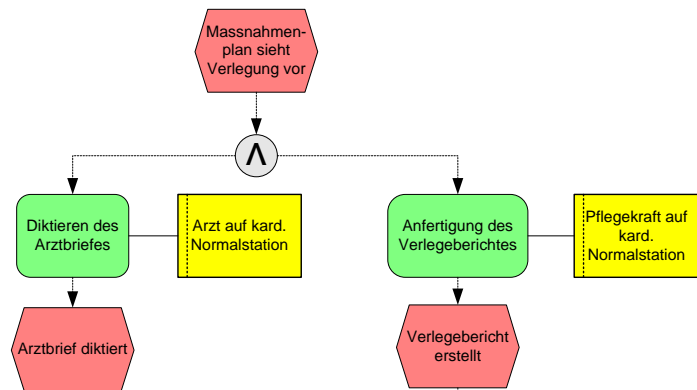
Verfeinerung: Überwachung des Patienten

Überwachungsstation / Intensivstation

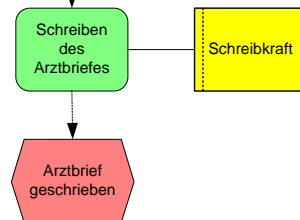


Verfeinerung: Verlegung des Patienten

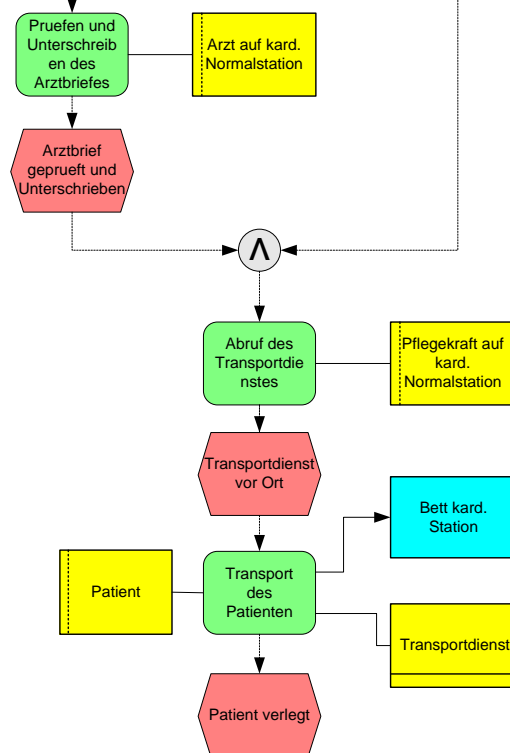
kard. Normalstation



Verwaltung

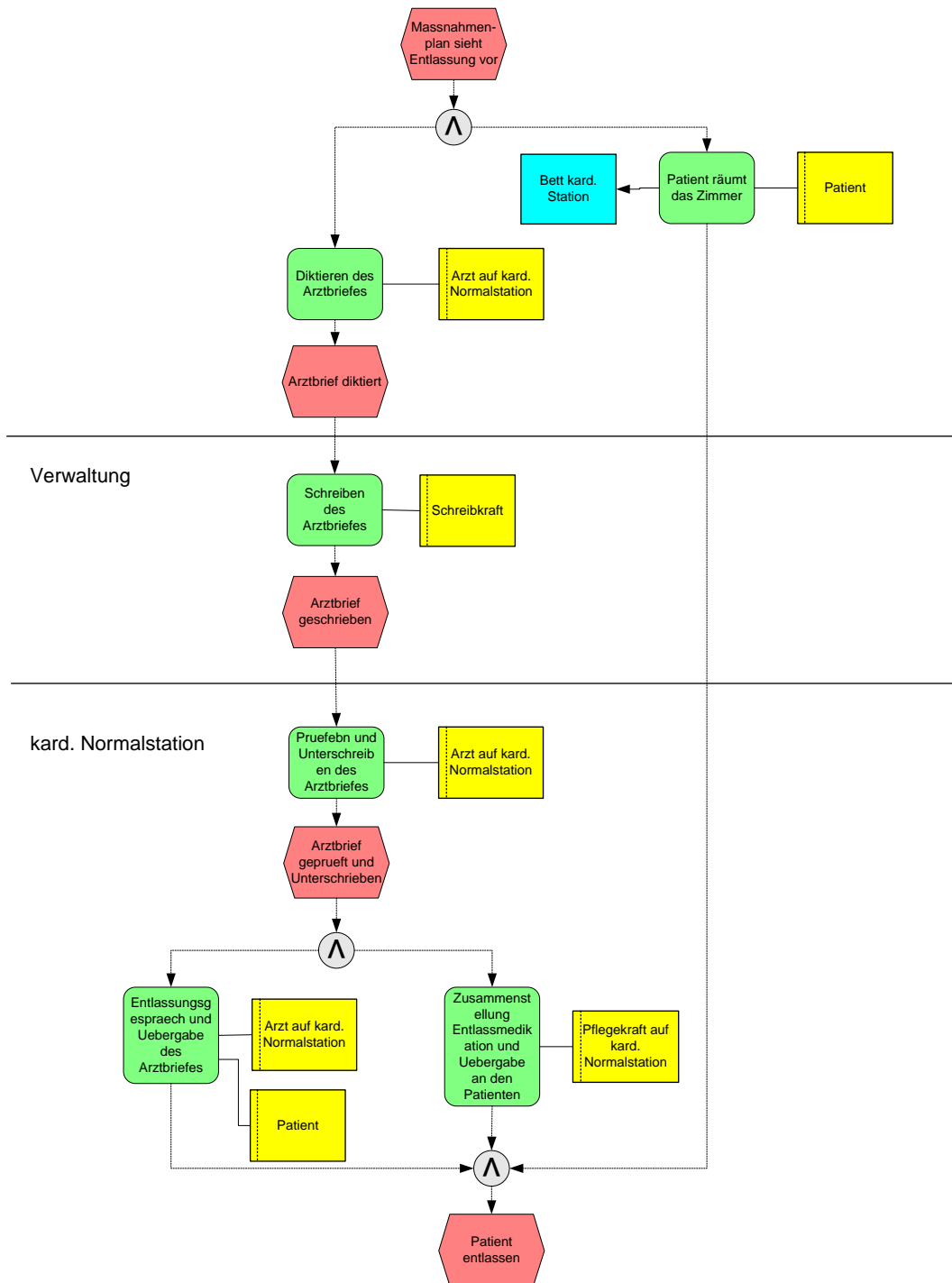


kard. Normalstation

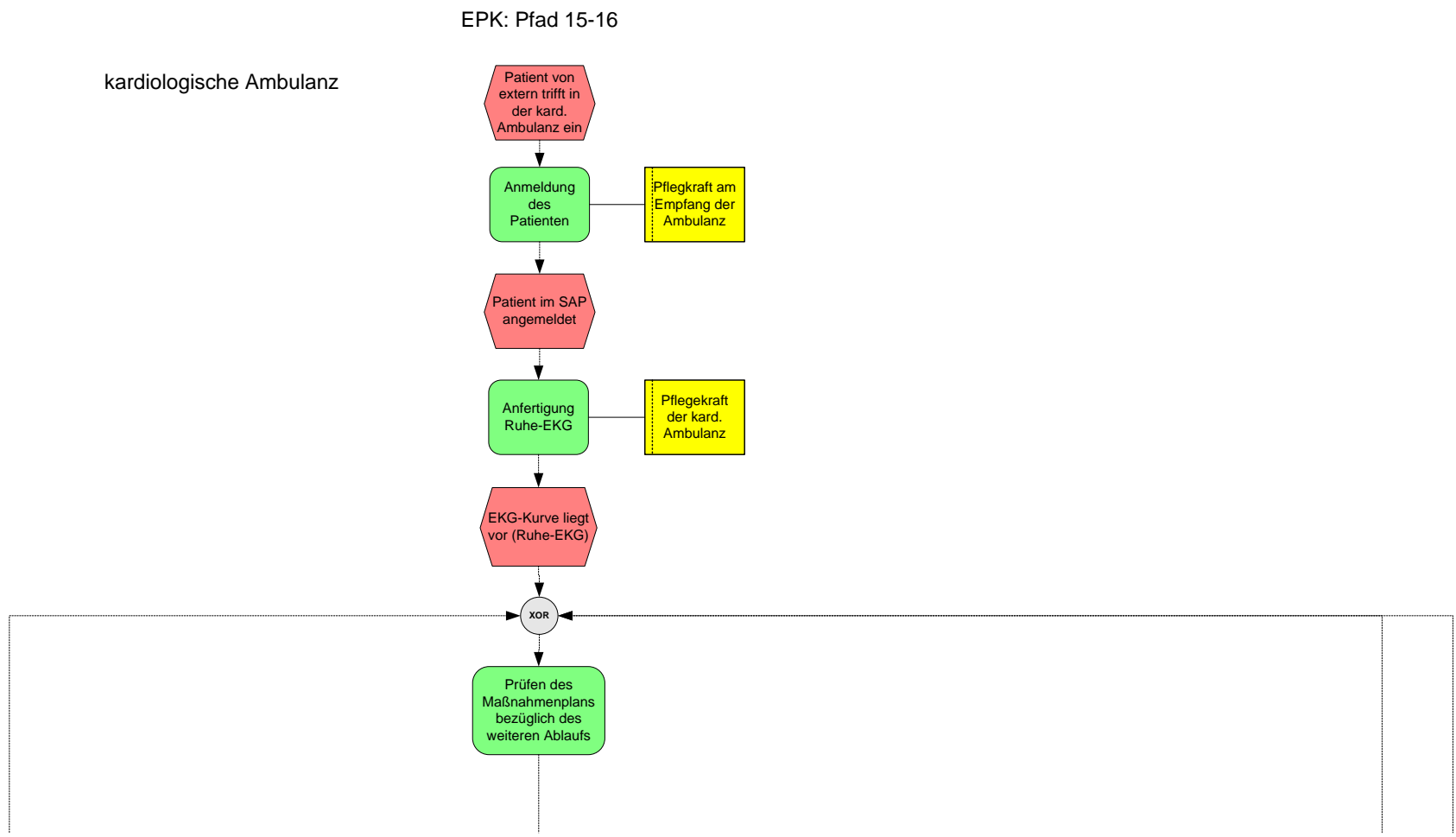


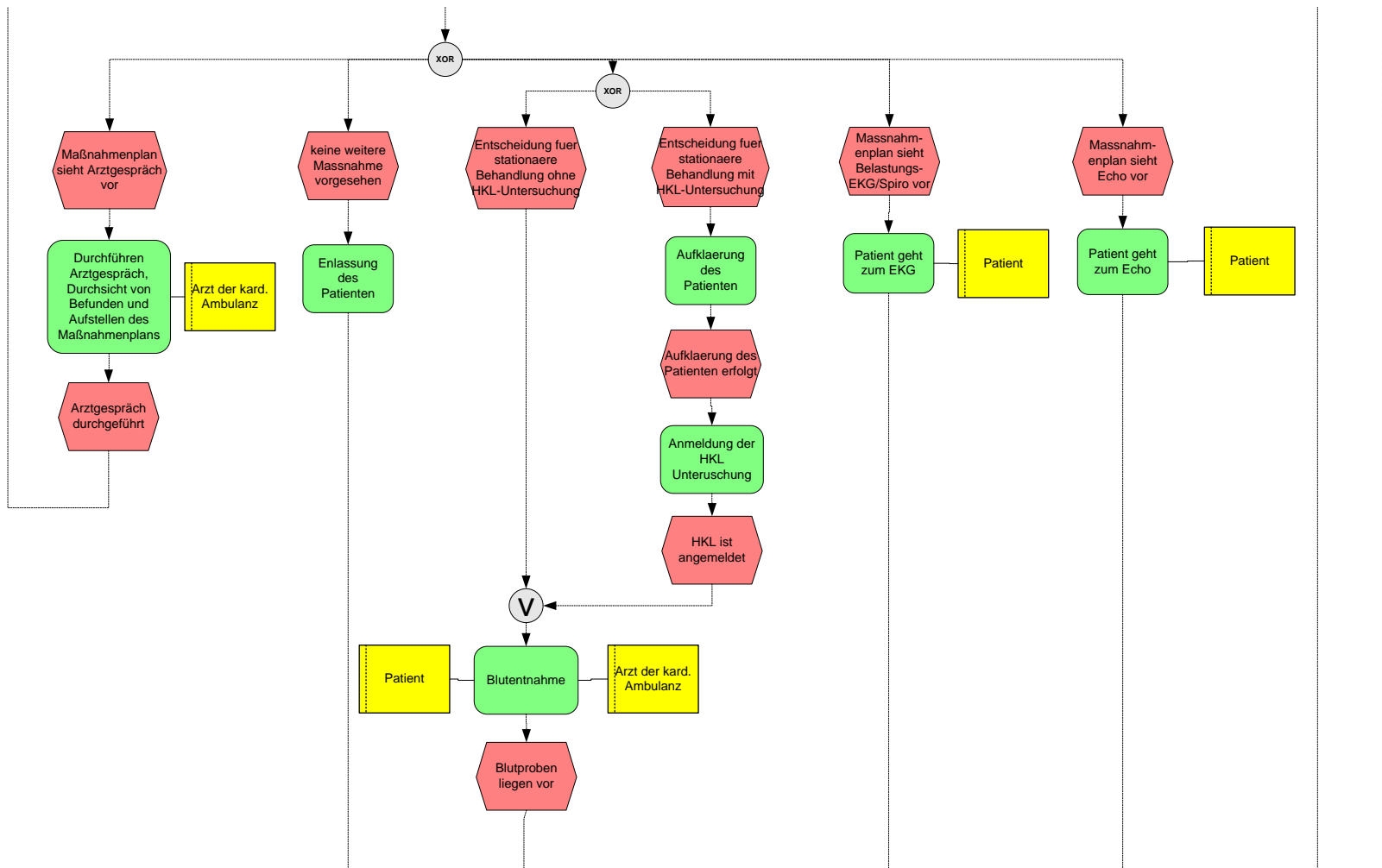
Verfeinerung: Entlassung des Patienten

kard. Normalstation

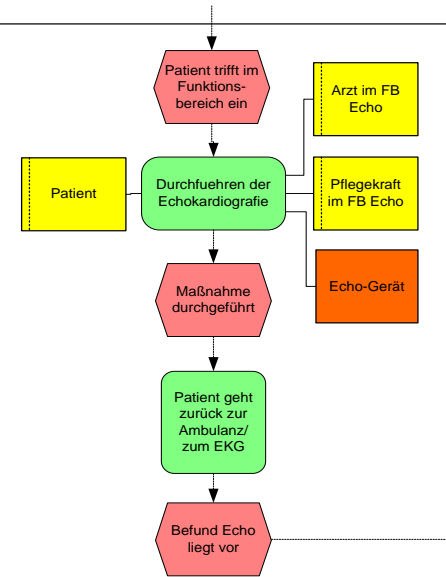


A48. Ergänzung Pfad 16 im Soll-Modell

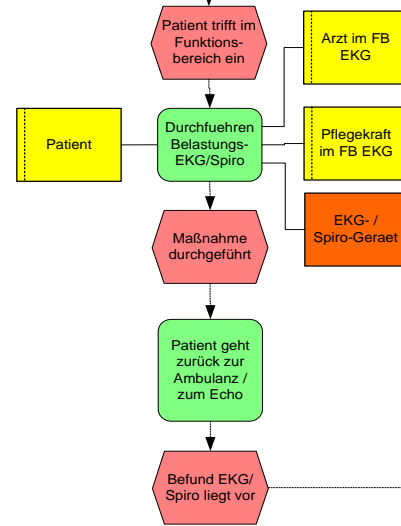




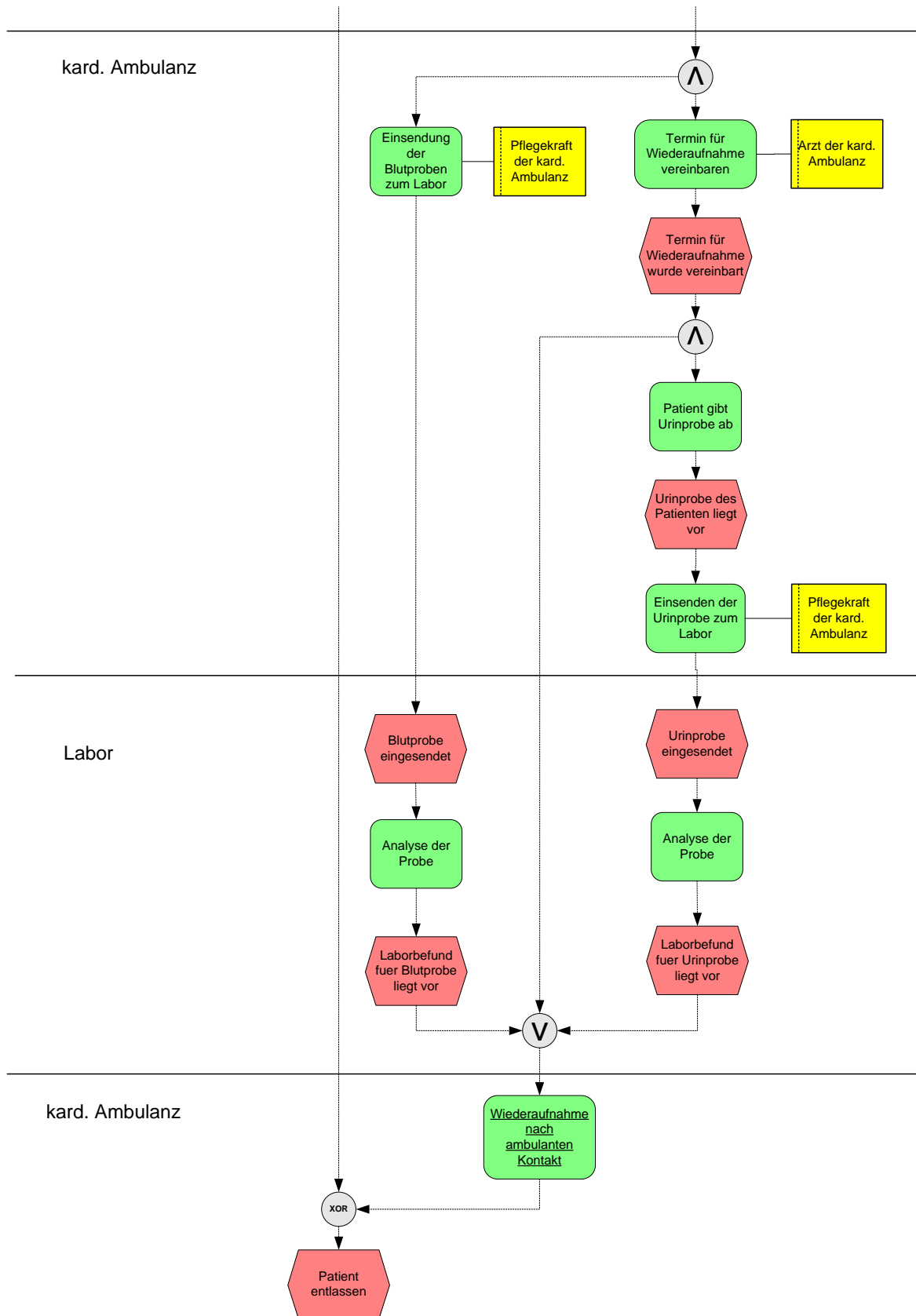
Echokardiografie




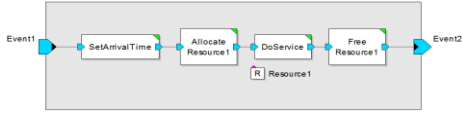

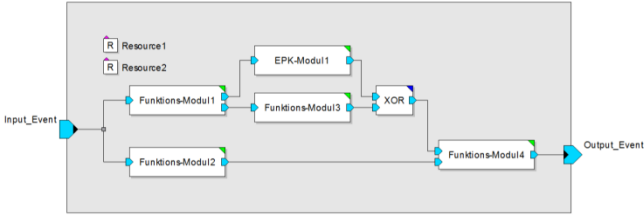



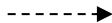


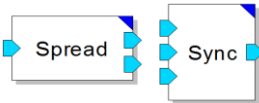


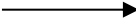
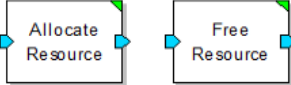

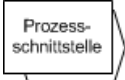

Elektrokardiografie



Anhang



A49. Zuordnung der (e)EPK-Elemente zu Elementen der Simulationsumgebung

(e)EPK	Simulationssystem
<p>nicht verfeinerte Funktion</p> 	<p>Funktions Modul</p> 
<p>verfeinerte Funktion</p> 	<p>EPK-Modul</p> 
<p>eEPK</p> 	
<p>Ereignis</p> 	<p>Port</p> 
<p>Kontrollfluss</p> 	<p>Verbinder</p> 
<p>logische Konnektoren</p> 	<p>Primitive</p> 
<p>Stelle, Sachmittel, Datenobjekt</p> 	<p>Ressourcen</p>  Quantity_Resource
<p>gerichtete Assoziation</p> 	<p>Module zur Ressourcenverwaltung</p> 
<p>ungerichtete Assoziation</p> 	
<p>Prozessschnittstelle</p> 	<p>Verbinder zwischen EPKs (EPK-Modulen)</p> 

(deutsche Übersetzung aus [Kühn et al. 2013a, S. 24])

A50. Transformation einer eEPK

(a) Transformation von Funktionen

Funktionen stehen für aktive Elemente in einer EPK, ebenso wie Blöcke im Simulationsmodell. Sie bewirken mit ihrer Ausführung eine Änderung des Systemzustands. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Funktionen in Module innerhalb der Simulationsumgebung transformiert. Module werden im Weiteren hinsichtlich ihrer hierarchischen Ordnung weiter unterschieden. Eine nicht verfeinerte EPK-Funktion repräsentiert eine Aktivität, was i.d.R. mit einem Zeitverbrauch und einer Ressourcenbeanspruchung einhergeht. Diese Basisfunktionalität wird durch ein „Funktions-Modul“ implementiert. Eine verfeinerte EPK-Funktion instanziiert ein „EPK-Modul“, welches ein oder mehrere weitere EPKs enthält.

(b) Transformation von Ereignissen

Die Anschlussstellen einer EPK-Funktion sind definiert durch Ereignisse, welche auf der Eingangsseite beschreiben, unter welchen Gegebenheiten eine Funktion ausgeführt wird und auf der Ausgangseite die Ergebnisse der Funktion darlegen. Entgegen des Ansatzes von Ammon [2006], werden Ereignisse hier nicht als Module umgesetzt. Stattdessen stellen Ereignisse in der vorliegenden Arbeit Ein- und Ausgangsports von Funktions-Modulen dar und determinieren so Alternativen. Die Aktivierung des jeweiligen Ports, z.B. beim Eintreffen eines Partikels, aktiviert die Funktionalität des Moduls oder Primitiven - löst somit das Ereignis aus. In Bezug darauf sind Start- und End-Ereignisse einer EPK ebenfalls definiert als Eingangs- und Ausgangs-Ports (Input- und Output-Ports). Auf der Basis dessen ist es später möglich Partikel-Quellen und Senken (z.B. für eine graphische Ausgabe) an EPK-Modulen anzubinden.

(c) Transformation von logischen Konnektoren

Innerhalb der EPK Definition gibt es logische Konnektoren (AND, OR, XOR) für das Verzweigen und Zusammenführen. Hieraus ergibt sich eine Funktionalität der Konnektoren bezogen auf den Kontrollfluss.

Verzweigende Konnektoren unterteilen eine EPK in zwei oder mehrere Zweige. Dies führt zu parallelen Abläufen, welche ggf. einer Synchronisation bedürfen. Innerhalb der EPK gibt es kein Erfordernis, Verzweigungen wieder zusammenzuführen und ggf. zu synchronisieren. Für ein Simulationsmodell ist dieser aber erforderlich, da ein zusammenführender Konnektor kein Wissen darüber hat, auf wie viele Eingänge dieser zu warten hat [Rittgen 2000, S. 29 f.]. Dies stellt ein lokales Entscheidungsproblem dar. In Anlehnung an Langner et al. [1997, S. 482] ist ein möglicher Lösungsansatz für das Synchronisationsproblem, dass prinzipiell auf allen Verzweigungsalternativen ein Partikel platziert wird. Je nach der hinterlegten Funktionalität legt der jeweilige Konnektor auf ausgewählte Verzweigungen einen aktiven Partikel. Alle übrigen Ausgänge des Konnektors erhalten je einen inaktiven Partikel. Inaktive Partikel lösen

keine Funktionalität innerhalb der Module aus und haben lediglich auf Konnektoren einen Effekt. Ein zusammenführender Konnektor kann nun warten, bis auf allen Eingängen ein Partikel vorliegt und dann entsprechend seiner hinterlegten Funktion einen aktiven oder inaktiven Partikel weiterleitet.

Auf der Basis der zwei Grundausrichtungen von Konnektoren, werden diese in zwei Arten von konfigurierbaren Primitiven abgebildet: eines für Verzweigungen („spread Primitive“) und eines für Synchronisation („sync Primitive“). Im Zuge der Instanziierung wird entsprechend des betreffenden Konnektors in der EPK (AND, OR, XOR) eine Parametrisierung gesetzt, welche die logische Funktion und den bezeichnenden Namen festlegt.

(d) Transformation von Ressourcen

Ressourcen sind zentrale Elemente eines Simulationsmodells und bedürfen damit einer Abbildung in der EPK. Für die Abbildung von Simulationsressourcen gibt es jedoch keine dedizierten Elemente, weder innerhalb der Basis- noch bei den erweiterten EPK-Elementen. Es gibt jedoch einige eEPK-Elemente, welche als derartige Ressourcen ausgelegt werden können, wie Stelle, Sachmittel (siehe Abb. 162 - links). Diese erlauben jedoch nur eine ungerichtete Allokation mit einer Funktion. Das heißt, diese können nur für die Dauer der Ausführung einer Funktion allokiert werden. Eine Allokation derselben Ressource über mehrere Funktionen hinweg ist mit diesen nicht möglich. Hierzu bedarf es Allokations- und Deallokationspunkte innerhalb der eEPK, durch direkte Assoziation. Bezogen auf die eEPK-Elemente ist dies z.B. mit dem Element Datenobjekt möglich, welches Eingangs- und Ausgangs-Relationen ermöglicht (siehe Abb. 162 - rechts).

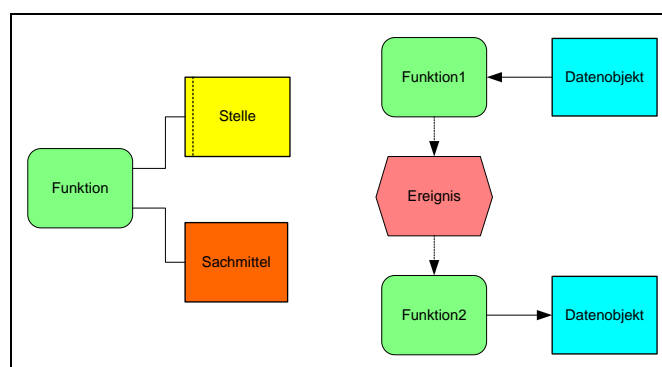


Abb. 162: Beispiel zur Modellierung von Ressourcen mit Elementen der eEPK (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 23])

Innerhalb des MLDesigners wird in zwei Ressourcentypen differenziert: die Server- und die Quantity-Ressource [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 261 ff.]. Server-Ressourcen sind aktive Elemente und werden genutzt um Partikel für eine definierte Servicezeit zu verzögern. Innerhalb des Simulationsmodells kann ein und dieselbe Server-Ressource durch verschiedene Partikel allokiert werden (shared resource). Sofern ein Partikel die

Server-Ressource beansprucht und diese verfügbar ist, wird der Partikel um die definierte Servicezeit verzögert. Im Anschluss wird die Ressource wieder freigegeben. Solange wie ein Partikel die Ressource beansprucht, müssen alle anderen anfragenden Partikel warten, sofern die Ressourcenkapazität ausgeschöpft ist. Server-Ressourcen können genutzt werden um z.B. ein EKG-Gerät abzubilden.

Eine Quantity-Ressource im Gegenzug ist in der Lage einen Umfang an angefragten Ressourcen über einen Prozessabschnitt hinweg zuzuordnen. Hierzu wird die Ressource an einem bestimmten Punkt im Simulationsmodell allokiert und sofern die Ressource nicht weiter erforderlich ist zu einem späteren Zeitpunkt deallokiert. Sofern keine oder ein nicht ausreichender Umfang an Ressourcen verfügbar ist, kann der Modellabschnitt nicht weiter durchlaufen werden und der Partikel muss warten. Dies kann eingesetzt werden, um z.B. Betten auf einer Station abzubilden, welche über längere Zeit allokiert bleiben.

Mit einer eEPK ist es möglich auch mehrere Ressourcen einer Funktion zuzuordnen. Hieraus ergibt sich ein Synchronisationsproblem zum Zeitpunkt der Allokation innerhalb des Simulationssystems. Eine Server-Ressourcen verzögert den Partikel direkt, ohne auf weitere erforderliche Ressourcen zu achten. Quantity-Ressourcen sind dahingehend mächtiger und bieten diese Möglichkeit. Server-Ressourcen können für den hier erforderlichen Funktionsumfang durch Quantity-Ressourcen substituiert werden. Innerhalb der eEPK können nach wie vor beide Varianten der Ressourcenanbindung genutzt werden um ein und dieselbe Ressource zu beanspruchen. Die definierten Transformationsregeln sorgen für eine Umsetzung als Quantity-Ressource und verlinken auf die entsprechende Ressource im Simulationsmodell. Alle in der eEPK eingebundenen Ressourcen mit demselben Namen werden im Modell auf ein und dieselbe zentrale Ressource verlinkt. Sofern jedoch die Reihenfolge der Ressourcenallokation von Bedeutung ist, bedarf dies einer entsprechenden Umsetzung in der eEPK.

Bezogen auf eine EPK ist es möglich, dass es parallele Zweige gibt. Für das spätere Simulationsmodell ist dies in der Modellierung der EPK nur dann unproblematisch, wenn der parallele Zweig als Unterstützungsprozess fungiert und die direkte Einbeziehung des Patienten nicht bedarf. Die Verfügbarkeit der Patienten ist an gewisse Grenzen gebunden. Jeder Patient existiert nur einmal.

In diesem Zusammenhang sind auch wahlfrei-sequentielle Abläufe anzusprechen. Hierunter sind Prozessschritte zu verstehen, welche in der Reihenfolge der Ausführung variabel sind. Sarshar et al. [2005, S. 107] zeigen auf, dass es bei der Modellierung von klinischen Behandlungspfaden an einer effizienten Modellierung von wahlfreien sequentiellen Abläufen mangelt (siehe Abb. 163 linke Seite und Mitte). Im vorliegenden Anwendungsfall kann dies gelöst werden, indem eine dedizierte Patientenressource innerhalb der parallelen Zweige Verwendung findet. Zur Modellierung wahlfrei-sequentieller Abläufe in einer eEPK, werden verzweigende Konnektoren (AND, OR) genutzt, um den sequenziellen Ablauf zu einem parallelen Ablauf umzuformen (siehe

Abb. 163 rechte Seite). An jedem Prozessschritt innerhalb der parallelen Zweige, bei dem der Patient direkt beteiligt ist, bedarf es der Assoziation der Patientenressource innerhalb der eEPK.

Die Patientenressource wird implementiert als spezielle Quantity-Ressource, welche auf Patientenbasis operiert und für jeden Patienten genau eine Kapazität vorhält. Im hier vorliegenden Ansatz wird jeder Patient durch einen eindeutig gekennzeichneten Partikel repräsentiert, welcher sich zur Ausführung des Simulationsmodells durch das Modell bewegt. Sofern ein solcher aktiver Patientenpartikel auf eine angebundene Patientenressource trifft, muss dieser in der Konsequenz warten, bis die Ressource allokiert wurde. Damit kann sichergestellt werden, dass ein Patient zu jedem Zeitpunkt nur an maximal einer Funktion beteiligt ist. Die Allokation kann wie in Bezug auf die Ressourcen zuvor auch über Prozessabschnitte hinweg erfolgen.

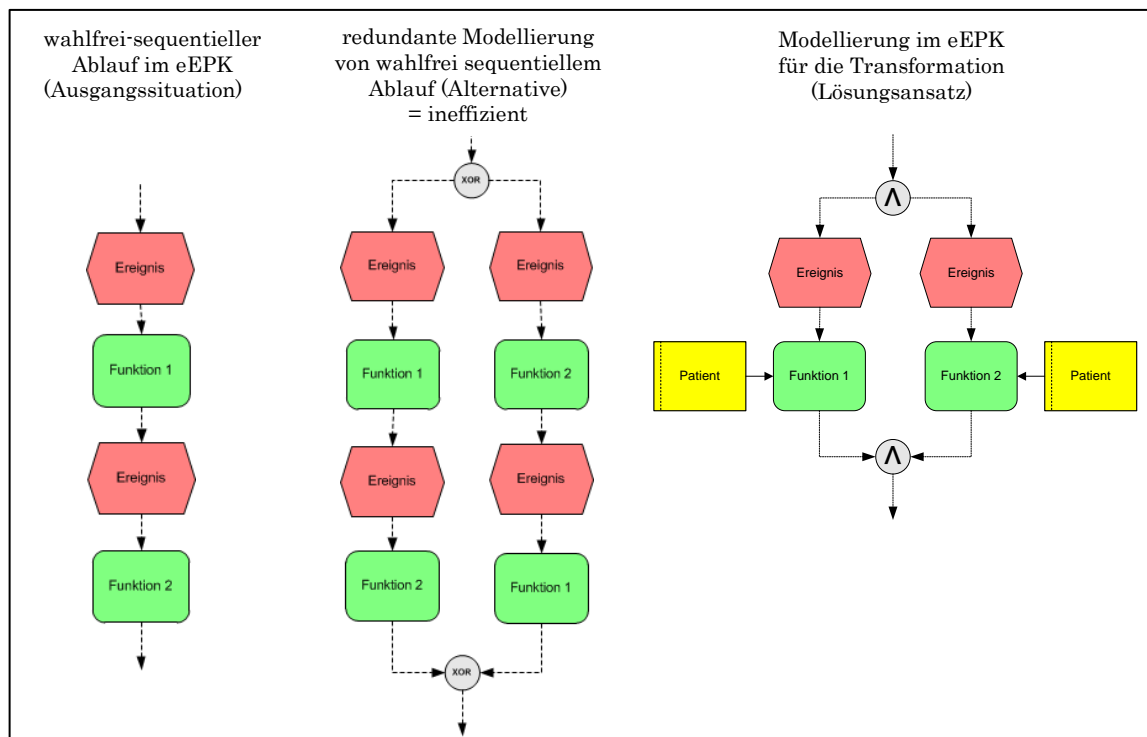


Abb. 163: Prinzipdarstellung zur Abbildung wahlfrei-sequentieller Abläufe in der eEPK

(e) Transformation von Hierarchien

Wie bereits festgehalten wurde, bietet die Semantik der EPK die Möglichkeit der Abbildung von Hierarchien (siehe Unterabschnitt 9.6.1 zu EPKs). Ebenso ermöglicht der MLDesigner eine hierarchische Modellierung (siehe Abschnitt 9.1 zu MLDesigner). Es gibt zwei Arten von Hierarchien innerhalb einer eEPK, die sich wie folgt erkennen und im Simulationsmodell umsetzen lassen:

1) Verfeinerungen (Komposition):

Eine verfeinerte Funktion verweist auf eine enthaltene, untergeordnete EPK, welche zur verfeinerten Funktion auf höherer Abstraktionsebene zurückführt. Die so entstehende Verfeinerungshierarchie bildet einen gerichteten, kreisfreien Graphen. Eingehende und ausgehende Ereignisse einer verfeinerten Funktion entsprechen in der Modellierung innerhalb der eEPKs ein- und ausgehenden Ereignissen der Verfeinerung auf niedriger Hierarchiestufe und dienen somit als Schnittstelle. Dies dient zur Identifizierung der verfeinerten Funktionen und wird als Transformationsregel umgesetzt. Eine Umsetzung im Simulationsmodell ist eins zu eins möglich. Die Transformationsregel übernimmt die Erkennung der Komposition in der EPK sowie die Einbindung des verfeinerten Prozessabschnitts als EPK-Modul im Simulationsmodell.

2) Prozessschnittstelle (Konkatenation):

Mittels Prozessschnittstellen lassen sich EPKs auf derselben Abstraktionsebene einseitig miteinander verketteten. Ein Rückverweis in den vorhergehenden Ablauf ist nicht definiert. Die Prozessschnittstelle dient zur Verknüpfung mehrerer EPKs miteinander. Hierzu wird das Element Prozessschnittstelle der eEPK-Notation genutzt. Während des Transformationsprozesses dient dieses Element als Identifizierungsmerkmal und auf der Basis wird eine Transformationsregel erstellt, welche die Erkennung der Schnittstelle in der EPK übernimmt sowie die EPK-Module im Simulationsmodell einbindet und miteinander verkettet.

(f) Erforderliche Datenstruktur

Grundsätzlich ist das automatisierte Anlegen einer Datenstruktur abzulehnen, da dies spätestens bei komplexeren EPKs in einer Unmenge an vordefinierten Datenfeldern mit bedingtem Erfordernis enden könnte. Die Datenstruktur ist in gewisser Weise abhängig von dem Simulationsziel und dient nicht zuletzt der Dokumentation von zur Simulationszeit anfallenden Daten, der zweckspezifischen Ablaufsteuerung oder der Parametrisierung des Simulationsmodells. Nichts desto trotz können gewisse Aufbaumerkmale und darauf basierende Grunddatenstrukturen bereits angelegt oder zumindest vorbereitet werden.

Im Simulationsmodell bedarf es einer eindeutigen Zuordnung der Partikel zu einem Patienten. Auch wurde bereits ein Lösungsansatz aufgezeigt, welcher die Notwendigkeit der Markierung der Partikel als aktiv oder inaktiv vorsieht. Bezogen auf diese Sachverhalte kann bereits eine interne Datenstruktur angelegt werden.

Darüber hinaus wird das Ziel verfolgt, einen Rahmen zu schaffen, um auf einfache Weise benutzerspezifische Datenstrukturen im Modellaufbau einbinden zu können. Zur Aufbewahrung wird ein zentraler Speicher im MLDesigner verwendet (Memory) (siehe [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 258 ff.] zum Memory). Eine Synchronisation der Daten ist so nicht nötig, da das gesamte Simulationsmodell auf diese zentral abgelegte interne Datenstruktur zugreift.

Der hier verfolgte Ansatz ermöglicht die spätere Anbindung benutzerspezifischer zentraler Datenstrukturen an die instanziierten Elemente, ohne die interne Datenstruktur zu verändern oder zu beeinflussen. Zur Umsetzung dessen wurden weitere (Verwaltungs-)Module geschaffen.

(g) Abbildung von Warteschlangen

In Bezug auf die Reihenfolgeoptimierung sind auch die Wartezeiten der Patienten von Bedeutung. Diese ergeben sich im Simulationsmodell zur Ausführungszeit z.B. durch nicht verfügbare Ressourcen. Die Ressourcen des MLDesigner verfügen bereits über eine eigenverwaltete Warteschlange. Diese kann für spätere Auswertungen genutzt werden und wird mit der Ressourcenverwendung automatisch eingebunden. Die Zeit, in welcher sich ein Partikel in der Ressourcenwarteschlange befindet, definiert in der vorliegenden Arbeit die Wartezeit.

(h) Restriktionen und weitere Erfordernisse

An dieser Stelle wird auf identifizierte Restriktionen und spezifische Erfordernisse bei der Transformation von EPKs eingegangen.

Bezogen auf den hier beschriebenen Transformationsansatz, wird die automatische Modelltransformation zunächst durch die Mächtigkeit der zugrunde liegenden Modellierungssprache (eEPK) limitiert. Informationen, welche nicht in der eEPK abgebildet sind resp. nicht abgebildet werden konnten, können nicht in das Simulationsmodell übertragen werden. Dasselbe gilt für das eingesetzte Austauschformat (EPML). So konnte die Einbindung von Ressourcen innerhalb der eEPK nur durch die Definition einer eigenen Simulationssemantik erreicht werden. Wie dies erfolgt, wurde bereits ausgeführt. Bei der Abbildung von mehreren zu allozierenden Ressourcen, kann es zudem potentiell zu einem gegenseitigen blockieren (Deadlock) kommen. Dies kann auftreten, wenn z.B. an zwei Stellen jeweils mehrere Ressourcen zu allozieren sind und es sich an beiden Positionen im Modell um die selbigen handelt. Haben die erforderlichen Ressourcen eine Kapazität von 1, können sich die

Prozessschritte gegenseitig blockieren, wenn beide eine Ressource allokiert haben und auf die andere warten. Das Problem ist nicht trivial und konnte bei der Transformation nicht automatisch aufgelöst werden. Es bedarf eines manuellen Eingreifens mit einer geeigneten Allokationsstrategie, um ein solches Vorkommnis zu beheben.

Ferner müssen Grenzen in dem Grad der Automatisierung bezogen auf die im Simulationsmodell erforderliche Parametrisierung gesehen werden, z.B. Kapazität der Ressourcen oder die Dauer von Prozessschritten. Bisher ist die Hinterlegung von Parameterausprägungen in der eEPK nicht spezifiziert, sodass diese nicht in das Simulationsmodell übernommen werden können. Dennoch gibt es bereits EPK-Editoren, z.B. SemTalk oder ARIS Toolset, welche eine Parameterhinterlegung ermöglichen. Auch EPML sieht die Möglichkeit vor, benutzerspezifische Attribute zu hinterlegen und zu übertragen, was hier dienlich sein kann. Zu hinterfragen wäre, ob die Parametrisierung zu diesem Zeitpunkt bereits erforderlich ist, zumal ein aus der eEPK gewonnenes Simulationsmodell u.U. noch nicht die Endausprägung, bezogen auf den zu simulierenden Sachverhalt, aufweist. Unter dem Gesichtspunkt wurde von einer derartigen Umsetzung abgesehen, die Möglichkeit dessen besteht aber dennoch. Im vorliegenden Fall wird ein generiertes Modell im Zuge des Importvorgangs zunächst mit Standardwerten aus den instanziierten Elementen hinterlegt. Zum Beispiel nutzen verzweigende Konnektoren in der Standardausprägung eine Gleichverteilung und Ressourcen sind mit einer Kapazität von 1 versehen.

Der hier angestrebte Umfang der Automatisierung beschränkt sich auf die Überführung von EPK-Prozessmodellen, mit den enthaltenen Informationen und Strukturen sowie deren Anreicherung mit Funktionalität. In der eEPK nicht enthaltene Abstraktionen, Elemente und zielbezogene Ausprägungen können im Rahmen der Transformation nicht Teil des Simulationsmodells werden. Wie sich bereits abzeichnet, wird die Endausprägung des Simulationsmodells hinsichtlich des Zweckbezugs im Rahmen des Transformationsprozesses nicht erreicht werden, z.B. auf der Basis einer noch manuell anzubindenden, individuellen Datenstruktur, Terminvergabelogiken sowie einer problemspezifischen Parametrisierung. Dennoch ist es grundsätzlich möglich, auch das EPK-Prozessmodell bereits zweckbezogen zu modellieren, was hier, bezogen auf die zweckbezogene Abstraktion, teils bereits erfolgt. Dennoch wird im Weiteren davon gesprochen, dass der Zweckbezug noch nicht vorliegt, bis die Endausprägung erreicht ist.

Im Weiteren erlaubt die EPK-Modellierung nur eingeschränkte Spezifikation von Funktionalität. Bezogen auf die EPK-Funktionen sind diese nur definiert durch deren Symbol und Namen. Auch aus der Verfeinerung von Funktionen ergibt sich keine zusätzliche Funktionalität, welche aber zur Ausführung eines Simulationsmodells

benötigt wird. Wie dies mit den oben beschriebenen Transformationsregeln umgesetzt werden kann, um ausführbare Modelle zu generieren, wird im Weiteren gezeigt.

A51. Import der eEPK und Umsetzung der Transformation mittels EPML

Für die Simulation der als eEPK modellierten Prozesse sind ein Import und die Konvertierung in ausführbare Strukturen des Simulationssystems erforderlich. Die im Folgenden beschriebenen weiteren Transformationsschritte sind als ausführbarer Konverter umgesetzt. Die Implementierung und Verifizierung des Converters erfolgte auf Basis von XSLT durch J. Lippold und ist im Detail in [Lippold 2014, S. 41 ff.] ausgeführt.

(a) Generierung von Funktions-Modulen und Ports

Jede nicht verfeinerte Funktion der eEPK wird zunächst in ein gleichnamiges Funktions-Modul transformiert. Im nächsten Schritt werden die Schnittstellen des Funktions-Moduls determiniert. Hierzu wird auf der Eingangsseite der Funktion im eEPK der Kontrollfluss entgegengesetzt seiner Richtung zurückverfolgt, bis ein Ereignis gefunden wird. Stößt die Suche dabei auf einen Konnektor, wird die Suche auf alle Eingänge des Konnektors ausgeweitet. Jedes so gefundene Ereignis wird als Eingangs-Port mit der vorgefundenen Benennung im betrachteten Funktions-Modul umgesetzt. In gleicher Weise ergibt sich die Schnittstelle in Ausgangsrichtung, diesmal erfolgt die Suche in Flussrichtung. Sofern die Suche auf einen Konnektor stößt, werden alle Ausgänge des Konnektors in die Suche einbezogen. Alle gefundenen Ausgangsereignisse werden in Ausgangs-Ports der betrachteten Funktion überführt. Die Benennung der Ereignisse in der eEPK wird auf die Ports des Funktions-Moduls übertragen.

(b) Generierung von Konnektoren

Innerhalb der Funktions-Module werden alle Eingangs-Ports miteinander verbunden und mit Hilfe der Konnektor-Primitive entsprechend der Verknüpfung im eEPK synchronisiert. Gleiches geschieht analog für die Verzweigung auf der Ausgangsseite. Konnektor-Primitive werden entsprechend ihrer Semantik bei der Instanziierung konfiguriert und benannt.

(c) Generierung der Basisfunktionalität und der Ressourcennutzung

Funktions-Module haben als Basisfunktionalität einen möglichen Zeitverbrauch und die mögliche Einbeziehung von Ressourcen. Zu diesem Zweck werden die jeweiligen zuvor erstellten Bausteine instanziiert und verlinkt. Funktions-Module instanziierten immer einen Basis-Baustein für den Zeitverbrauch (hierzu später mehr an einem konkreten Beispiel). Basis-Bausteine für die Ressourcennutzung werden hingegen nur instanziiert, sofern mindestens eine Ressource mit der jeweiligen eEPK-Funktion verknüpft ist. Darüber hinaus muss jedes Funktions-Modul eine Möglichkeit der Anbindung der gemeinsam genutzten Ressourcen erhalten. Hierzu werden Quantity Ressourcen generiert und mit externer Ausrichtung konfiguriert. Entsprechend der assoziierten Ressourcen, werden diese miteinander verbunden und benannt. Hierbei stellt die als extern konfigurierte Quantity Ressource keine instanziierte Ressource dar, sondern nur

eine Schnittstelle zur Anbindung der entsprechenden Ressource auf hierarchisch übergeordneter Ebene.

(d) Generierung von EPK-Modulen und Hierarchien

Eine verfeinerte Funktion verweist auf eine eigene eEPK. Auf Basis dessen erfolgt die Transformation einer verfeinerten Funktion in gleicher Weise wie die einer eEPK an sich. Jedes eEPK erzeugt im Zuge der Transformation ein eigenes EPK-Modul. Ein- und Ausgabe-Ports werden entsprechend den jeweiligen Start- und Endereignissen der eEPK generiert. Innerhalb dieser EPK-Module werden die zuvor erzeugten Funktionsmodule instanziiert. Die so instanziierten Funktions-Module beanspruchen gegebenenfalls Ressourcen, deren Schnittstellen nun einer Verknüpfung bedürfen. Hierzu werden erneut Quantity Ressourcen erzeugt, benannt und als extern konfiguriert. Die Verknüpfung erfolgt in Entsprechung der Benennung. Auf Basis dessen werden Ressourcen, welche in mehreren Funktions-Modulen beansprucht werden, mit derselben externen Ressource innerhalb des EPC-Moduls verbunden.

Eine Verknüpfung der Ports erfolgt analog zur Verknüpfung der verfeinernden Ereignisse in der eEPK. Sofern innerhalb eines EPK-Modules gleichnamige Ereignisse vorkommen, werden diese miteinander durch Konnektor-Primitive verbunden. Unterschiedlich benannte Ereignisse, die mit Konnektoren verbunden werden, treten nur auf Ebene der Funktions-Module auf.

(e) Generierung des Top-Level Systems

Um ein Simulationsmodell ausführen zu können, muss dieses im MLDesigner innerhalb eines System-Modells instanziiert werden. Ein solches System-Modell ist ein Modell auf oberster Ebene und beinhaltet die instanziierten Primitive und Module, welche ausgeführt werden sollen. Das System-Modell selber besitzt keine Ein- oder Ausgangsports und kann selber nicht instanziiert werden [MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 41]. Auf dieser System-Ebene können globale Simulationsparameter und globale Ressourcen definiert und hinterlegt werden.

Dem entsprechend generiert der Konverter ein System-Modell und instanziiert das Top-Level EPK-Modul. Die im instanziierten EPK-Modul beanspruchten Ressourcen bedürfen auch auf dieser Ebene wieder einer Verlinkung. Die benötigten Ressourcen werden auf der Basis der externen Ressourcen des EPK-Moduls ermittelt. Für jede gefundene externe Ressource wird eine Quantity Ressource generiert und als intern konfiguriert. Hiermit entsteht je eine Ressource mit Kapazitäten und zugehöriger Warteschlange auf oberster Ebene. Anschließend werden die internen Ressourcen mit den externen der EPK-Module verlinkt, entsprechend der Benennung der Ressourcen.

Um das so erzeugte System-Modul ablauffähig zu machen, bedarf es zumindest noch der Anbindung von einer Quelle. Hierfür wurde ein Modul entsprechend der Datenstruktur und bisherigen Spezifikation umgesetzt, welches beim Import instanziiert werden kann. Anknüpfungspunkte der Quellen definieren sich über nicht verbundene Eingänge an den

EPK-Modulen. Diese werden über einen Verbinder automatisch mit der instanziierten Quelle verknüpft. Auch die Quelle hat zunächst nur eine Standardparametrisierung. Um das generierte Prozessmodell im Simulationslauf überprüfen zu können, z.B. ob alle eingesteuerten Partikel das Modell durchlaufen, bedarf es noch Senken zum Zweck der Auswertung. Hierfür sind die Standardelemente des Simulationssystems zunächst ausreichend und können automatisiert mit den nicht verbundenen Ausgangs-Ports der EPK-Module verbunden werden.

(f) Beispiel der Transformation für ein Funktions-Modul

Im Folgenden wird das Transformationsergebnis am Beispiel eines Funktions-Moduls erläutert (siehe Abb. 164 zur Ausgangs-eEPK¹²⁵ und Abb. 165 zur Umsetzung dieser eEPK als Funktions-Modul).

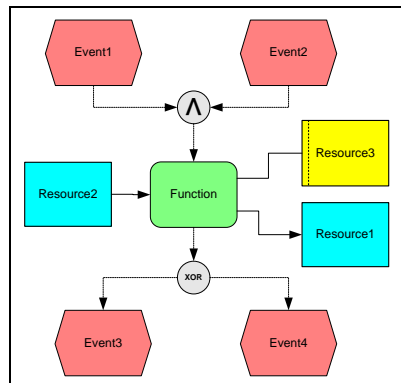


Abb. 164: Beispiel einer eEPK-Funktion mit Ressourcennutzung [Kühn et al. 2013a, S. 26]

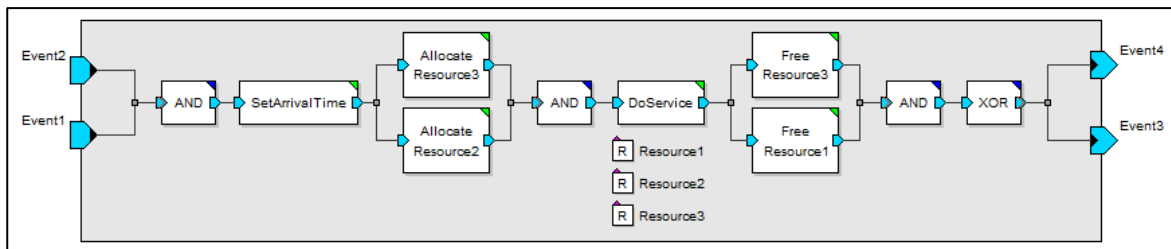


Abb. 165: Funktions-Modul im Simulationssystem als Transformationsergebnis der Beispiel eEPK-Funktion [Kühn et al. 2013a, S. 27]

Eingehende Ereignisse (Event1, Event2) werden in Eingangs-Ports transformiert (siehe linke Seite des Funktions-Moduls) und mittels eines als AND benannten und als solches konfigurierten Sync-Primitiven synchronisiert. Anschließend wird das Sub-Modul „SetArrivalTime“ instanziiert um den Ankunftszeitpunkt von eingehenden Partikeln in der internen Datenstruktur zu loggen. Die Ressourcenallokation erfolgt durch die Generierung eines Allokationsmoduls für jede Ressource, welche mit der jeweiligen

¹²⁵ In dem Beispiel sind bewusst 3 Ressourcen aufgeführt. Resource 1 wird dealloziert, Resource 2 wird alloziert und Resource 3 wird nur für die Ausführung der Funktion alloziert.

EPK-Funktion zur Allokation verbunden ist. Für alle an die EPK-Funktion angebotenen Ressourcen wird ein Verbindungspunkt im Funktions-Modul (externe Ressource) geschaffen, zur späteren Verlinkung mit der zugehörigen globalen Ressource (Resource1, Resource2, Resource3).

Die Ressourcenallokation bedarf unter Umständen Zeit, bis die erforderlichen Ressourcen verfügbar sind und allokiert werden können. Um die erforderlichen Ressourcen (hier im Beispiel Resource2 und Resource3) gleichzeitig bereitzustellen, werden diese mittels eines weiteren Sync-Primitiven in der Ausprägung AND synchronisiert. Sobald alle zu allozierenden Ressourcen abgebildet wurden, wird das Modul „DoService“ instanziiert, welches im späteren Zeitpunkt der Ausführung eine Servicezeit auf Basis einer Parametrisierung erzeugt und die eintreffenden Partikel um diese Zeit verzögert. Innerhalb dieses Moduls werden Statusinformationen, wie die jeweilige Servicezeit und der Zeitpunkt der Fertigstellung, in der internen Datenstruktur gespeichert. Die dafür erforderliche Funktionalität wurde in dem Baustein hinterlegt und steht mit der Instanziierung zur Verfügung.

Für jede im Anschluss freizugebende Ressource wird ein Modul „FreeResource“ eingebunden, welches im Ablauf die jeweilige Ressource deallokiert. Die sich auf Basis des Kontrollflusses dadurch verzweigenden Partikel werden im Anschluss synchronisiert und treffen auf die entsprechend der eEPK erzeugten Konnektoren und Ports auf der Ausgangsseite.

Auf Basis eines im Vorfeld festgelegten Rasterlayouts werden die im beschriebenen Ablauf vom Konverter generierten Elemente automatisch platziert und ausgerichtet.

(g) Bibliothek an wiederverwendbaren Bausteinen

Die im Zuge der bisherigen Ausführungen und Entwicklungen angesprochenen Bausteine des Simulationsmodells werden in einer gemeinsamen (EPK-) Bibliothek abgelegt. Die Bibliothek enthält:

- Module für Funktionalität, welche es in den generierten eEPK Funktionen bedarf, z.B. Ressourcenallokation oder Zeitverbrauch,
- Primitive, welche die Abbildung der verschiedenen Konnektoren ermöglichen,
- Hilfsmodule und Primitive zur Flusssteuerung und Verwaltung der Datenstrukturen,
- Interne Datenstrukturen zur Speicherung der Partikelzustände und zur Bereitstellung benötigter Informationen.

Diese Basis-Bausteine bieten die erforderliche Funktionalität zur Steuerung des Kontrollflusses und berücksichtigen das Konzept der aktiven/inaktiven Partikel zur Verzweigung sowie Synchronisation von parallelen Abläufen innerhalb des Simulationsmodells. Sie kapseln die notwendige Funktionalität der eEPK-Elemente und erlauben so eine einfache und unkomplizierte Instanziierung sowie Konfiguration

während der Ausführung der Transformation mit dem Konverter. Somit muss nicht jede benötigte Funktionalität ad-hoc generiert werden und die Komplexität des Transformationsprozesses wird reduziert.

(h) EPML-Kodierung und Konvertierung

Der beschriebene Transformationsprozess wird durch einen Softwarekonverter ausgeführt, welcher auf die in XSLT (Version 2.0) dokumentierten Transformationsregeln zurückgreift (siehe [Lippold 2014, S. 41 ff.] zur Implementierung des Konverters).

Als Austauschformat für die eEPK Diagramme wird EPML eingesetzt. Die XSLT Anweisungen sind entsprechend dessen in Bezug auf die geltenden EPML Notationen umgesetzt. Der zu verarbeitende EPML Code ergibt sich beim Exportieren der eEPK aus dem EPK-Editor (SemTalk). Im Folgenden werden ausgewählte EPML-Notationen in Bezug auf deren Entsprechung in der eEPK beschrieben.

Eine EPML Datei ist eine Ansammlung von ein oder mehreren (e)EPK Diagrammen. Jedes dieser EPKs ist definiert innerhalb einer <epc> Markierung (Tag) und hat einen eindeutigen Bezeichner. Innerhalb des EPC Tags sind alle der EPK zugehörigen Elemente und Kanten vermerkt. In Bezug auf EPML finden sich für Funktionen und Ereignisse zugehörige Tags <function> und <event>. Kanten für den Kontrollfluss sind im EPML durch <arc> definiert. Auch die Konnektoren haben entsprechend benannte Tags: <and>, <or> und <xor>.

Für eEPK-Elemente, wie Stelle, Sachmittel und Datenobjekt, welche hier als Ressourcen genutzt werden, gibt es die EPML Notation <participant>, <application> und <dataField>. Für die Assoziation dieser eEPK-Elemente wird das Tag <relation> genutzt. Ebenso gibt es im EPML entsprechende Tags für die beide aufgezeigten Varianten zur Bildung von Hierarchien (Verfeinerung und Prozessschnittstelle).

Die nachfolgende Abb. 166 zeigt, dem Beispiel der Abb. 164 - rechte Seite folgend, die Umsetzung der Ressourcenbindung über einen Prozessabschnitt (gerichtete Assoziation) in EPML.

EPML in der Version 1.1 unterstützt noch keine gerichteten Assoziationen. Wie das aufgeführte Beispiel zeigt, nutzt SemTalk hierfür das Namensattribut, um Eingangs- und Ausgangsrelationen zu bezeichnen, „ist Input für“ und „hat Output“.

```

<epc epcId="4000" name="EPK-1">
  <function id="4001" defRef="736">
    <name>Funktion</name>
    <description>Funktion1</description>
    ...
  </function>
  <dataField id="4006" defRef="761">
    <name>Entitytyp.761</name>
    <description>Datenobjekt</description>
    ...
  </dataField>
  <event id="4008" defRef="762">
    <name>Ereignis</name>
    <description>Event</description>
    ...
  </event>
  <function id="4007" defRef="766">
    <name>Funktion2</name>
    <description>Function</description>
    ...
  </function>
  <dataField id="4016" defRef="769">
    <name>Entitytyp.769</name>
    <description>Datenobjekt</description>
    ...
  </dataField>
  <arc id="4009">
    <flow source="4001" target="4008">
      ...
    </flow>
    ...
  </arc>
  <relation id="4015" from="4006" to="4001" name="ist Input für"/>
  <arc id="4014">
    <flow source="4008" target="4007">
      ...
    </flow>
    ...
  </arc>
  <relation id="4017" from="4007" to="4016" name="hat Output"/>
</epc>

```

Abb. 166: Beispiel der Umsetzung einer gerichteten Ressourcennutzung in EPML

(i) Ausführung der Transformation

Die Transformation erfolgt schließlich durch die Ausführung der erzeugten XSLT-Dateien mit einem XSLT-Prozessor. Hierfür wurde der SAXON-XSLT-Prozessor (Saxonia Ltd.) eingesetzt. Der XSLT-Konverter, bestehend aus XSLT-Dateien und dem XSLT-Prozessor, wird nun eingesetzt um den EPML Code in ein Simulationsmodell zu transformieren. Der hier aufgezeigte Ansatz wurde auf das Zielsystem MLDesigner implementiert. Um diesen Ansatz auch andere Simulationssysteme zugänglich zu machen, wurden die Transformationsregeln in zwei Teile gegliedert. Sämtliche Funktionen in Bezug auf das Suchen und Auswählen der eEPK-Elemente, z.B. für das Finden der Eingangseignisse einer Funktion, wurden in einem eigenen XSLT-Template abgelegt. Die simulationssystem-spezifischen Festlegungen wurden in einem weiteren XSLT-Template zusammengefasst, welche Zielsystemspezifisch angepasst werden kann.

A52. Verifizierung des Konverters und Validierung des Transformationsmodells sowie des Transformationskonzepts

Simulationsexperimente sollen zuverlässige Resultate und Entscheidungshilfen liefern. Verifizierung und Validierung sind wichtige Schritte, um diesem Anspruch gerecht zu werden (siehe Unterabschnitt 4.8.5 zu den theoretischen Grundlagen).

Unter Modellverifikation wird eine Überprüfung der Abbildung des konzeptionellen Modells (eEPK) auf das Computer-Modell verstanden [Page 1991, S. 150] – ob die eEPK korrekt transformiert wurde und der Konverter gemäß den Spezifikationen arbeitet. Validierung stellt sicher, ob das Modell korrekt implementiert wurde (auch technische Validierung genannt) und ob es in der vorgesehenen Weise funktioniert. Ein weiterer Aspekt der Validierung ist, ob das Modell das abzubildende Realsystem innerhalb des definierten Rahmens korrekt wiedergibt.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Simulationsmodell aus als eEPK vorliegenden Behandlungspfaden erzeugt, was zunächst dem Zweck des standardisierten und automatisierten Wissenstransfers dient. Der spezifische Simulationszweck wird erst im Anschluss der automatischen Transformation durch Erweiterungen hergestellt. Diese Erweiterungen können Einfluss haben auf das Transformationsergebnis und die Validierung des Transformationsansatzes verfälschen, sofern Verifizierung und Validierung erst nach der Erweiterung des Modells erfolgen. Daher werden im Folgenden der Transformationsprozess und das direkt daraus entstandene Modell validiert und der Konverter verifiziert (siehe hierzu auch [Lippold 2014, S. 61 ff.]). Nachdem der Zweckbezug hergestellt wurde, erfolgt im späteren eine erneute Überprüfung.

Der Transformationsansatz wurde an den einzelnen Transformationsschritten (Zwischenergebnissen) verschiedenen Prüfungen unterzogen (siehe Abb. 167).

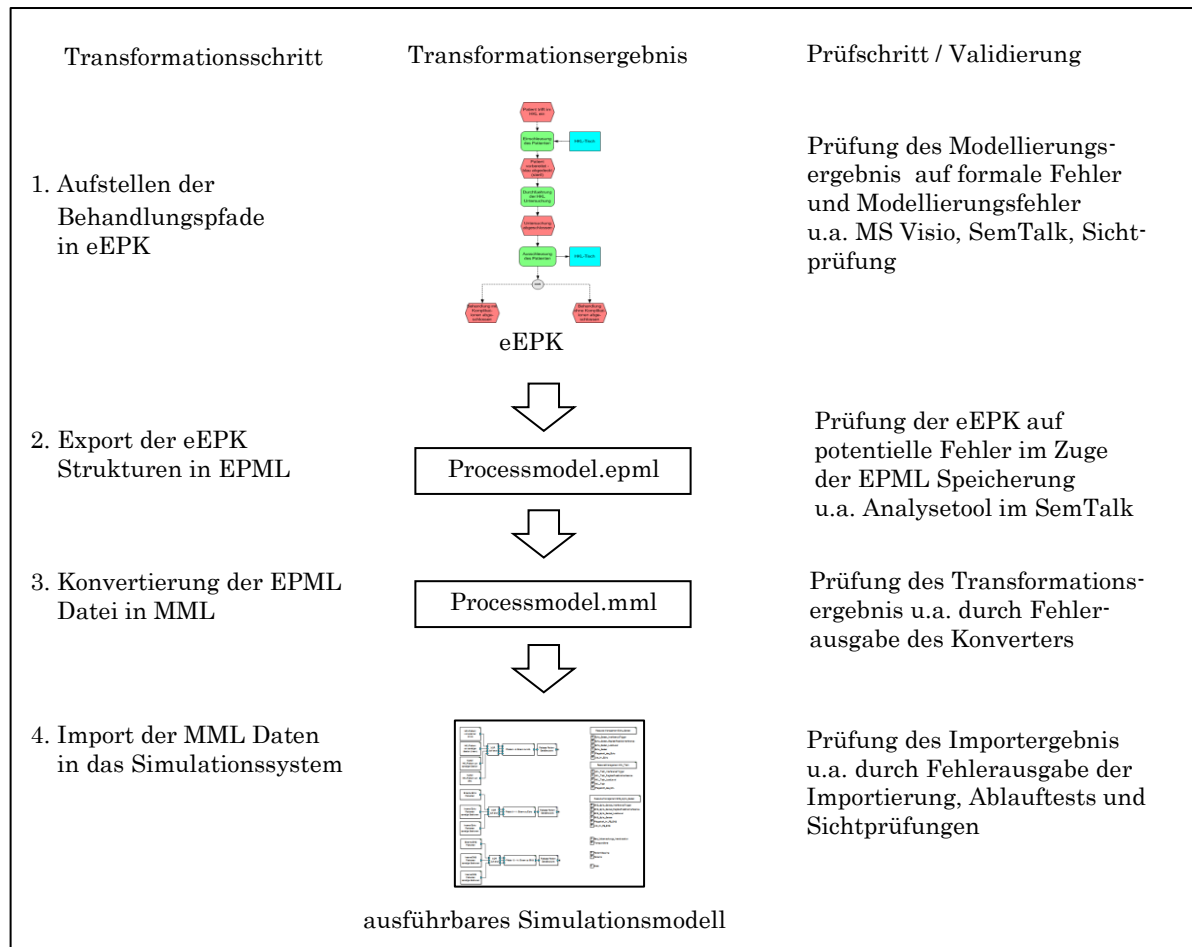


Abb. 167: Übersicht der Transformationsergebnisse und verbundener Prüfschritte

Gegenstand der manuellen Prüfung ist, ob die Grundsätze der ordnungsgemäßen Modellierung von Geschäftsprozessen (GOM) nach Becker et al. [1995] eingehalten wurden oder Modellierungsfehler vorliegen (z.B. vergessene Kanten). Solche Fehler würden zum Abbruch der Konvertierung bzw. bereits zu Speicherfehlern im EPML führen. Aktuelle Modellierungswerkzeuge, wie z.B. SemTalk oder MS Visio, sind in der Lage direkt auf Modellierungsfehler im Zeitpunkt der Erstellung der eEPK Diagramme zu prüfen und darauf hinzuweisen.

Um die eEPK im EPML-Speicherformat zu erhalten, wurde die eEPK als EPML-Datei abgespeichert. Dies erfolgte mittels SemTalk. Um eine fehlerfreie formal korrekte Abbildung im EPML-Format zu erreichen, hat das SemTalk bereits eigene Prüfmechanismen, welche durch den Nutzer ausgeführt werden können. Diese prüfen u.a., ob die einzelnen eEPK Elemente korrekt vom Tool erkannt werden.

Anschließend wurde die Transformation mittels des implementierten Konverters mehrmalig ausgeführt. Hierbei wurden zunächst einfache eEPK-Diagramme getestet. Diese lagen im mittels SemTalk (EPML-Editor) erzeugten EPML-Format vor. Im

Weiteren erfolgte die Konvertierung der in Unterabschnitt 9.6.2 definierten Behandlungspfade in der Ausprägung als eEPKs (siehe Anhang A47). Dies erfolgte fehlerfrei. Sofern bei der Konvertierung Fehler auftreten, kommt es von Seiten des Konverters zur Fehleranzeige und zum Abbruch des Konvertierungsvorgangs.

Nach der erfolgreichen Konvertierung folgte der Import der Konvertierungsergebnisse in den MLDesigner. Auch hierbei können Fehler auftreten, welche durch das Simulationssystem im Konsolenfenster angezeigt werden. Im Importverlauf der konvertierten Behandlungspfade wurde kein Fehler im Simulationssystem angezeigt.

Im Weiteren wurde das Simulationsmodell (Importergebnis) einer Strukturprüfung unterzogen. Es erfolgt ein Abgleich mit der Struktur der Ausgangs-eEPKs. Im Rahmen dieses Abgleichs wurde auch auf Vollständigkeit der Funktionen und Konnektoren sowie die identische Vernetzung derer geprüft. Im Zuge dessen wurde darauf geachtet, ob sich die Ereignisse der zugrunde liegenden eEPKs vollständig in dem generierten Simulationsmodell wiederfinden und deren Positionieren als Eintrittsbedingungen resp. Ergebnisvarianten der EPK-Funktionen bei den erzeugten Modulen entsprechend sind.

Einer sehr detaillierten Kontrolle unterliegen die Konnektoren, welche durch den Import der eEPK aus einer angelegten Modellbibliothek („ClinicalPathway“) instanziiert wurden sowie die korrekte Ressourcenverwendung. Diese bedürfen einer Funktionsprüfung in Abgleich der Ausprägung in der eEPK. Hierzu werden im Rahmen von Testläufen, mittels der zunächst einfachen Quellen, Partikel erzeugt. Geprüft wird das Verhalten der Partikel dahingehend, ob sie die Konnektoren entsprechend den Konfigurationen und dem Konnektortyp korrekt durchlaufen und die jeweiligen Ressourcen korrekt allokiert und deallokiert wurden. Geprüft wird darüber hinaus, ob über mehrere Durchläufe hinweg alle Partikel das Modell komplett durchlaufen und ob die interne Datenstruktur korrekt arbeitet.

Im Rahmen der geschilderten Validierungen wurde festgestellt, dass Schleifen innerhalb der eEPK zu einem Problem mit der Synchronisation der Partikel bei XOR und OR Konnektoren führen. Das Problem tritt an den eingehenden Feedbackschleifen auf und wurde im Simulationsmodell zunächst manuell behoben. Problematisch ist bereits das automatisierte Erkennen der Schleifen. Darüber hinaus stellen diese ein Problem dar in Bezug auf innerhalb der Schleife einzusteuernde Partikel, welche bei einem weiteren Durchlauf ggf. erneut vorliegen müssen. Hierzu bedarf es einer weiterführenden Betrachtung hinsichtlich einer automatisierten Berücksichtigung bereits zur Laufzeit der Transformation. Darüber hinaus wurden keine weiteren Mängel im Transformationsansatz und im erzeugten Simulationsmodell festgestellt.

Einzuschränken ist der Transformationsansatz noch dahingehend, dass hier nur mit dem EPML-Editor SemTalk gearbeitet werden konnte. Hinsichtlich anderer Editoren und von diesen erzeugten EPML-Dateien konnten demzufolge keine Tests vorgenommen werden und erlauben somit keine allgemeinen Aussagen. Insbesondere der Ansatz zur Identifizierung der Richtung einer Assoziation ist hierbei kritisch zu sehen und muss ggf. bei einem anderen Editor abweichend umgesetzt werden. Ebenso beschränken sich die Tests auf die hier gegenständlichen eEPKs. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es Möglichkeiten hinsichtlich der Anordnung von Prozessbausteinen gibt, welche hier nicht bedacht wurden und ggf. zu Abweichungen im spezifizierten Verhalten des Konverters oder gar zu dem Abbruch der Konvertierung führen können. Zum Beispiel ist darauf zu achten, dass keine Quellen in den Verfeinerungen existieren, da dies in der Konvertierung bisher nicht berücksichtigt ist. Die Pfade wären dann nicht vollständig ablauffähig, bis die betreffenden Quellen manuell eingebunden sind.

A53. Vorschlag zur Erweiterung der eEPK-Elemente und EMPL-Notation

Die hier angewendete, alternative Verwendung von Stelle, Sachmittel oder Datenobjekt zur Modellierung von Simulationsressourcen innerhalb der eEPK ist nur möglich, sofern diese Elemente in ihrer ursprünglichen Auslegung keine Verwendung finden. Zum Beispiel ist das EPK-Element Datenobjekt ursprünglich auf die Abbildung von Datenflüssen ausgerichtet, dem Input und Output von Daten. Bezogen auf die eEPK sowie EPML Notationen ist es daher von Vorteil, dedizierte Elemente für die Simulationsressourcen zu haben, z.B. Ressourcennutzung an nur einer Funktion oder Ressourcennutzung über mehrere Funktionen hinweg mit Allokation- und Deallokationspunkten. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine mögliche grafische Umsetzung der vorgeschlagenen Ressourcenelemente für die beiden aufgezeigten Varianten von Ressourcenanbindungen (siehe Abb. 168).

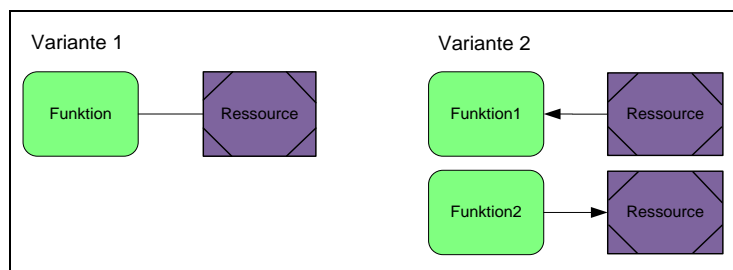


Abb. 168: Vorschlag für die Verwendung von Ressourcen Elementen in einer eEPK (Übersetzung aus Kühn et al. [2013a, S. 28])

Das eEPK-Ressourcen-Element kann an eine nicht verfeinerte Funktion direkt zur Allokation einer Ressource nur für die Ausführung einer Funktion (Variante 1) oder indirekt über einen Prozessabschnitt (Variante 2) eingebunden werden.

Im Rahmen von EPML kann dies zur Einführung eines neuen „resource“ Elements führen. Attribute und Subelemente bleiben bestehen, wie bei existierenden Tags (z.B. „function“, „event“). Um die Art und Weise der Ressourcennutzung zu spezifizieren, bietet es sich an, das „type“ Attribut des Subelements „relation“ um die Auswahlmöglichkeit „allocate“, „deallocate“ und „uses“ zu erweitern. Dies ermöglicht die Abbildung von direktem und indirektem Ressourcenzugriff.

Zu berücksichtigen ist, dass ein und dieselbe Ressource aus mehreren EPK-Diagrammen einer EPML-Datei beansprucht werden kann. Zur Verknüpfung der verschiedenen "resource" Elemente braucht es eine eindeutige Identifizierungsmöglichkeit. Dies kann durch die Verwendung gleicher Bezeichner oder durch das Referenzieren derselben Ressourcendefinition im "definitions" Abschnitt der EPML Datei erreicht werden. Der "definition" Tag erhält zu diesem Zweck zusätzlich "resource" als weiteren möglichen Wert für sein "type" Attribut. Eine beispielhafte Anwendung dieser Modifikationen ist in der nachfolgenden Abb. 169 zu sehen. Alle beschriebenen Erweiterungen beziehen sich hierbei bereits auf den Rahmen der weiterentwickelten EPML in Version 2.0.

```

<definitions>
  <definition defId="1002" type="resource">
    <name>Resource</name>
    <description>Resource description</description>
  </definition>
</definitions>
...
<directory name="Root">
  <epc epcId="4" name="EPC 1">

    <function id="1">
      <name>Function</name>
      <description>Function description</description>
      ...
    </function>

    <resource id="2" defRef="1002">
      <name>Resource</name>
      ...
    </resource>

    <arc id="3">
      <relation source="1" target="2" type="allocate|deallocate|uses"/>
      ...
    </arc>

```

Abb. 169: Vorschlag zur Integration der Ressourcen-Elemente in EPML

A54. Umsetzung der Zugangsplanung im Modell

(a) Elektive Patientenzugänge

Die Abbildung der elektiven Patientenanfragen/-zugänge erfolgt im Ist-Modell in Gruppen und Umfang in Entsprechung der im Rahmen der Datenerhebung ermittelten Werte, je Wochentag (Montag – Sonntag) differenziert, durch parametrisierte Quellen und an diesen hinterlegten Zufallsverteilungen. Damit sind die im Realsystem geltenden Festlegungen und Gegebenheiten hinsichtlich Art und Umfang berücksichtigt. Die so erzeugten Patienten stellen die mengenmäßige Zugangsplanung im Ist-Modell dar und werden in den Simulationslauf eingestellt. Im Weiteren erhalten diese noch einen konkreten Aufnahmetermin.

Die elektiven Patientenzugänge sind vergleichbar mit Aufträgen (Jobs) und bilden hier den Anknüpfungspunkt zum Job-Shop-Problem (siehe Abschnitt 2.3 zum Gegenstand der Termin- und Reihenfolgeplanung). Entgegen der Ausführungen im Abschnitt 2.3 können hier Jobs (Patienten) nicht von Seiten der Klinik abgelehnt werden, auch wenn diese planbar sind. Lediglich ein zeitliches Verschieben ist hier möglich.

(b) Notfälle und nicht-elektive Patientenzugänge in den Funktions-/OP-Bereichen

Wie in Abb. 85 aufgezeigt wird und bereits kurz angesprochen wurde, gibt es auch Zugänge/Anfragen von extern, welche nicht der Zugangsplanung in der hier gewählten Definition unterliegen, aber im Rahmen der Zugangskontrolle dennoch bedacht werden müssen, wie z.B. Notfälle und nicht-elektive Patienten. Diese stellen Störgrößen für die Planung bzw. eine Grundaustlastung für die jeweiligen Engpassbereiche dar und bedingen einer Berücksichtigung im Modell. Daher wird im Folgenden ergänzend auf die Umsetzung dieser Zugänge eingegangen.

Im Rahmen der Job-Shop Problematik sind „Notfälle“ und „nicht-elektive“ Anforderungen (Jobs) nicht gegenständlich. Maximal könnte ein Vergleich zu Eilaufträgen gezogen werden. Aber auch hier gilt die Prämisse, dass die Patienten im Auftreten im vorliegenden Fall nicht abgelehnt werden können. Auch ein zeitliches Verschieben im Fall von Notfällen ist nicht möglich resp. bei nicht-elektiven nur in begrenztem Umfang möglich.

Notfälle von extern werden entsprechend dem im Realsystem bemessenen Umfang sowie der zeitlichen Verteilung fortlaufend mittels Quellen neu erzeugt und treffen so als Zugänge (Partikel) auf die planungsseitig betrachteten Bereiche. Im Modell wird dies nur für den Bereich HKL berücksichtigt, da im Realsystem nur für dieses etwaige Notfälle im Zulauf von extern (über die Notaufnahmestation) beobachtet wurden. Nach Aussagen der zuständigen Ärzte würden Notfälle im Zulauf auf die Funktionsbereiche ECHO sowie EKG und der kard. Ambulanz nicht vorkommen, da hierfür die zentrale Notaufnahme vorgehalten wird und entsprechendes Gerät aufweist.

Nicht-elektive Patientenzugänge, die z.B. von der Notaufnahme oder von sonstigen Ambulanzen im ECHO resp. EKG angemeldet werden, stellen keinen akuten Notfall dar. Es handelt sich lediglich um kurzfristige (nicht-elektive) Anforderungen unter dem Tage. Patienten von der Notaufnahme sind bereits stabilisiert und somit nicht als Notfallanforderung einzustufen. Anderenfalls würde die erforderliche ECHO- oder EKG-Untersuchung direkt im Bereich der Notaufnahme durchgeführt werden. Diese Anforderungen werden, sofern sich diese nicht bereits aus dem Modellablauf heraus ergeben, im Modell mittels parametrisierten Quellen je beplantem Engpassbereich, entsprechend der im Realsystem bemessenen Art der Anforderung und dem mengenmäßigen Umfang, erzeugt und zeitlich (den Vorgaben aus dem Realsystem entsprechend) in den Funktions-/OP-Bereichen eingesteuert.

Hinsichtlich der zeitlichen Gegebenheiten zur Einsteuerung der nicht-elektiven Maßnahmenanforderungen inkl. der Notfälle, konnte in den Realdaten nur der Zeitpunkt der Durchführung erhoben werden. Eine Erhebung hinsichtlich der Anfragezeitpunkte war nicht möglich. Unter diesem Gesichtspunkt werden die nicht-elektiven Anforderungen im Modell für die Funktionsbereiche EKG und ECHO 0,5 - 2 Stunden¹²⁶ im Voraus zu dem dokumentierten Zeitpunkt der Durchführung eingestellt. Nicht-elektive Maßnahmenanforderungen im HKL werden ebenfalls mit dem Tageswechsel (für den Folgetag) eingestellt. Notfälle bleiben von dieser Festlegung unberührt. Diese werden zum jeweiligen angegebenen Zeitpunkt eingesteuert.

(c) Nicht-elektive Patientenzugänge auf den kard. Stationen

Bezüglich der Anforderungen von sonstigen Stationen (inkl. der Notaufnahme und der Intensivstation) zur Verlegung von Patienten auf eine kard. Station, z.B. auf Anordnung des leitenden Arztes, erfolgt auch dies in der Regel sehr kurzfristig (nicht-elektiv), teils ohne zugrunde liegenden Notfall. Innerhalb des Modells werden diese Anfragen auf Grund dessen als nicht-elektiv, gemäß der hier zugrunde liegenden Definition, gehandhabt. Während der Datenerhebung konnte nur der dokumentierte Zeitpunkt der Verlegung ermittelt werden. Dadurch bedingt werden die Anforderungen mit dem Tageswechsel auf den kard. Stationen eingestellt. Sofern die Zuflüsse nicht bereits über den internen Modellverlauf erzeugt werden, wird das nicht-elektive Patientenaufkommen über dedizierte Quellen, je beplantem Engpassbereich, im Modell erzeugt und eingesteuert (z.B. Quellen STA_4, STA_5 im folgenden Abschnitt). Die Anforderungen werden gemäß dem im Realsystem bemessenen, Art und mengenmäßigen Umfang erzeugt und ebenfalls mit dem Tageswechsel im Modell eingestellt.

¹²⁶ Im Rahmen der Modelljustierung wird die Vorlaufzeit je Quelle konkretisiert.

(d) Implementierung der Patientenquellen und Verteilung von Notfällen

Im Folgenden wird die Umsetzung der Patientenquellen spezifiziert und die Implementierung im Simulationssystem nach J. Lippold beschrieben. Beispielhaft für die kard. Ambulanz sind die im Modell implementierten Quellen für die Pfade 15-16 in Abb. 170 (AMB_1, AMB_3) veranschaulicht¹²⁷.

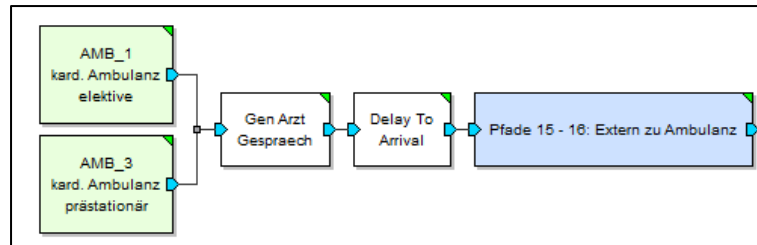


Abb. 170: Übersicht der Quellen im Modell aus Sicht der kard. Ambulanz

Jede Quelle wird getriggert und erzeugt die wöchentlichen Patientenzugänge gemäß den hinterlegten Verteilungen auf Tagesbasis (siehe Abb. 171). Anschließend wird die interne Patientendatenstruktur für die einzelnen Patienten initialisiert und darauf folgend zufällig durch Ziehen ein Behandlungsverlauf („Select RandomPatient Type an load Route Card“ aus den Patientenrohdaten¹²⁸ zugewiesen (siehe hierzu Unterabschnitt 9.8.4 im Detail). Die so den Patienten zugeordneten Verlaufsinfos werden in der Patientendatenstruktur abgelegt und im Modell zum Zeitpunkt, zu dem die jeweiligen Entscheidungen getroffen werden (an den Entscheidungsknoten), verarbeitet.

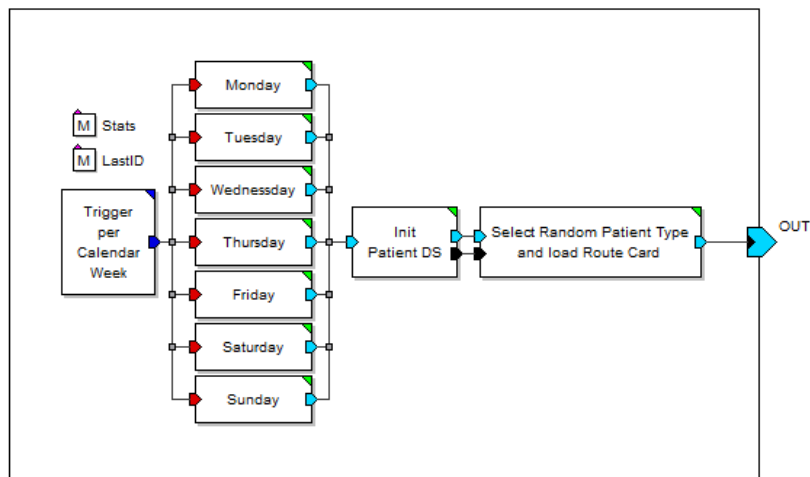


Abb. 171: Darstellung einer implementierten Quelle im Detail

Bezogen auf den konkreten Zugangspunkt der Notfälle, so sind hierfür dedizierte Quellen implementiert (siehe Abb. 172 bzgl. „HKL_3“ und Abb. 173 bzgl. „STA_3“).

¹²⁷ AMB_2 wird über einen separaten Verwaltungspfad abgebildet.

¹²⁸ Patientenrohdaten bezeichnen aus den Realdaten abgeleitete Patientenverläufe. Diese können je Patient individuell sein.

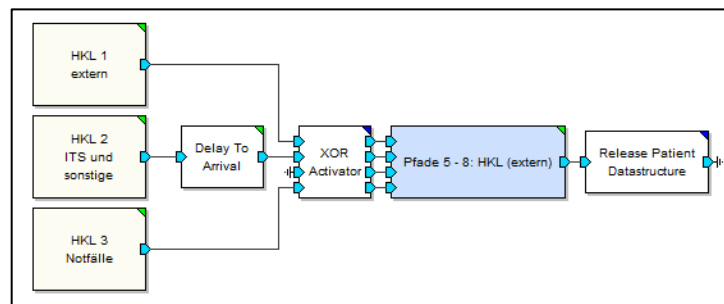


Abb. 172: Darstellung der implementierten Quelle für Notfälle im HKL

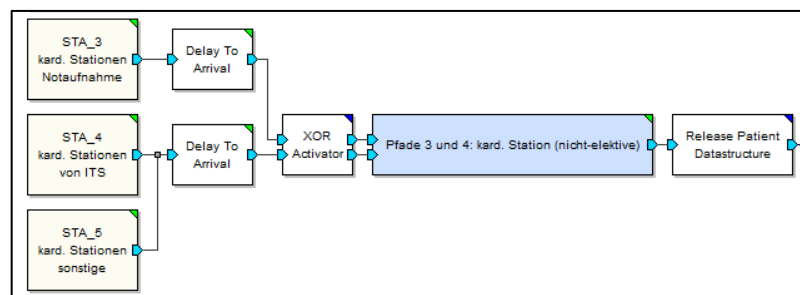


Abb. 173: Darstellung der implementierten Quelle für stationäre Zugänge aus der Notaufnahme

Im Modell wie auch im Realsystem sind grundsätzlich beide kard. Stationen möglich, auf welcher die Zugänge aus der Notaufnahmestation stationär aufgenommen werden. Die Entscheidung darüber, welche der Stationen den nicht-elektiven Zugang aufnimmt, wird im Modell in der Art implementiert, dass die Patientenpartikel, welche die Bettenanforderung repräsentieren, auf die Ressourcenwarteschlange beider Stationen geleitet werden, um ein Bett zu allokiert werden. Damit nun nicht zwei Bettenressourcen allokiert werden, ist ein Token eingesetzt. Dieser wird in Form eines Wertes in der internen Patientendatenstruktur abgebildet. Der Wert gibt an, ob dem Patienten bereits ein Bett zugeteilt wurde und wenn ja, auf welcher kard. Station dies erfolgte. Ist der Eintrag nicht belegt (Wert = -1), kann ein Stationsbett allokiert werden. Ist der Wert ungleich dessen, wird die Bettenanforderung abgewiesen. Das Abweisen der zweiten Anfrage führt zur Ablehnung der erneuten Bettenallokation. Es kann somit das erste verfügbare Bett auf den kard. Stationen allokiert werden, unabhängig davon ob dies die kard. Station 1 oder 2 ist.

A55. Umsetzung der Terminvergabe im Modell

(a) Vergabe von Aufnahmetermenin für elektive Zugänge der kard. Normalstationen und der kard. Ambulanz

Hinsichtlich der Implementierung von Terminkalendern im Modell, für die elektive Aufnahmeplanung der kard. Stationen, mangelt es zunächst an einer Strukturierungsgröße¹²⁹, wie z.B. der Dauer einer Maßnahme, als auch der Notwendigkeit.

In den Referenzeinrichtungen werden Patienten zur stationären Aufnahme innerhalb eines Zeitfensters (ohne konkreten Termin) einbestellt (siehe Abschnitt 6.2). Das heißt, in diesem Fall sind im Realsystem die Terminrestriktionen lediglich auf Beginn und Ende der Einbestellungszeit sowie einen gegebenen mengenmäßigen Umfang der Patienten je Tag beschränkt (Patientenliste). In der Umsetzung im Ist-Modell werden Patientenzugänge zeitlich und mengenmäßig gemäß den Ausprägungen im Realsystem eingesteuert. Der Zeitpunkt des Zugangs wird aus den hinterlegten Realdaten (Patientenrohdaten¹³⁰) entnommen. Es bedarf somit keiner dedizierten Planung und Terminvergabe im Ist-Modell. Auch im Hinblick auf eine spätere Optimierung im Soll-Modell bedarf es keines dedizierten Terminkalenders. Vielmehr wird dort eine Planung vollzogen, welche die Patienten gemäß dem planerischen Ergebnis in das Simulationsmodell einsteuert. Aufnahmezeiten, Terminabstände, Wochentage und mengenmäßige Patientenumfänge finden sich bereits in der vorgenommenen Planung resp. der zugrunde gelegten Einbestellungsregel. Systemseitig wird im Späteren eine Planung in einer angebundenen Datenbank als Liste/Datenstruktur abgelegt und dem Simulationsmodell zugänglich gemacht (siehe Abschnitt 9.10 zur Datenhaltung).

Die zum jetzigen Zeitpunkt im Modell vorliegende Zugangsplanung stellt die Menge der elektiven Patienten dar, welchen zum bereits bestimmten Tag (mittels der Quellen) Zugang zum System gewährt wird. Der hier für die kard. Normalstationen zu vergebene Aufnahmetermin bezieht sich im Modell, entsprechend der Ausprägung im Realsystem, auf einen Zeitblock (11:00 – 12:00 Uhr), zu dem alle Patienten einbestellt werden. Wie ausgeführt, wird daher im Modell kein Terminkalender geführt. Auch wenn den Patienten ein Aufnahmekorridor als Termin genannt ist, kommt es bezogen auf das tatsächliche Auftreten derer im Realsystem zu Terminabweichungen, welche über den ganzen Aufnahmetag hinweg streuen. Auf der Grundlage werden den Patienten im

¹²⁹ Bei hier gegebenen Aufnahmetermenin handelt es sich um (Start-)Zeitpunkte, ab welchen sich für einen Patienten eine Kette diverser Ressourcennutzungen, auch in den direkt beplanten Funktionsbereichen, anschließt. Dies steht im Gegensatz zu der Terminplanung eines Funktionsbereichs, wo die voraussichtliche Dauer der Ressourcenbeanspruchung (ein Planwert) betrachtet und im Kalender eingeplant wird. An einem solchen Planwert als Grundlage einer Terminvergabe, wie dies in den Funktionsbereichen erfolgt, mangelt es bei den Aufnahmetermenin.

¹³⁰ Siehe Unterabschnitt 9.8.4 zur Erläuterung.

Rahmen der Terminplanung im Ist-Modell konkrete Aufnahmetermine, basierend auf den erhobenen Ankunftszeitpunkten im Realsystem, zugewiesen. Damit sind die Ausprägungen des Realsystems realitätsnah abgebildet und erfüllen zugleich die jeweiligen Randbedingungen und planerischen Vorgaben (siehe Unterabschnitt 9.8.4 im Detail).

Hinsichtlich der Implementierung von Terminkalendern im Modell, für die elektive Aufnahmeplanung der kard. Ambulanz, mangelt es auch hier an der Notwendigkeit. Zwar gäbe es eine Strukturierungsgröße, in Form des Terminabstands je Patient, welche im Realsystem mit 30 Minuten als Planungsgröße angesetzt wird, aber, das Auftreten der Patienten zum Ambulanztermin unterliegt im Realsystem gewissen Schwankungen und einer nicht eindeutig nachvollziehbaren Vergaberegeln. Die Auswertung der Einbestellungsfolge zeigt, dass im Realsystem nicht immer der nächst mögliche Termin vergeben wird. Teils werden auch zwei Patienten auf einen Termin gelegt oder längere Lücken im Tagesverlauf gelassen. Daher wird auch hier die Umsetzungsvariante, wie bezogen auf die Einbestellung der Zugänge auf den kard. Stationen, als Liste/Datenstruktur gewählt. Es wird im Rahmen der Terminvergabe im Ist-Modell bei Ambulanzpatienten ein konkreter Ankunftszeitpunkt, basierend auf den erhobenen Realdaten (Patientenrohdaten), vergeben. Auf diesem Wege ist die zeitlichen Verteilungen aus dem Realsystem realitätsgetreu im Ist-Modell abgebildet (siehe Unterabschnitt 9.8.4 im Detail). Es bedarf damit auch für die kard. Ambulanz im Ist-Modell keiner dedizierten Terminvergabe und keines Terminkalenders.

Nachdem die Zugänge im Modell in der Menge determiniert und der Zeitpunkt des Auftretens des Patientenpartikels zugewiesen wurde, werden die Partikel im Modell bis zu dem Zeitpunkt des Zugangstermins verzögert. Die Dauer bis dahin wird hier als Zugangszeit bezeichnet. Erst darauf folgend werden die Patienten in den weiteren Ablauf eingesteuert (siehe Abb. 174).

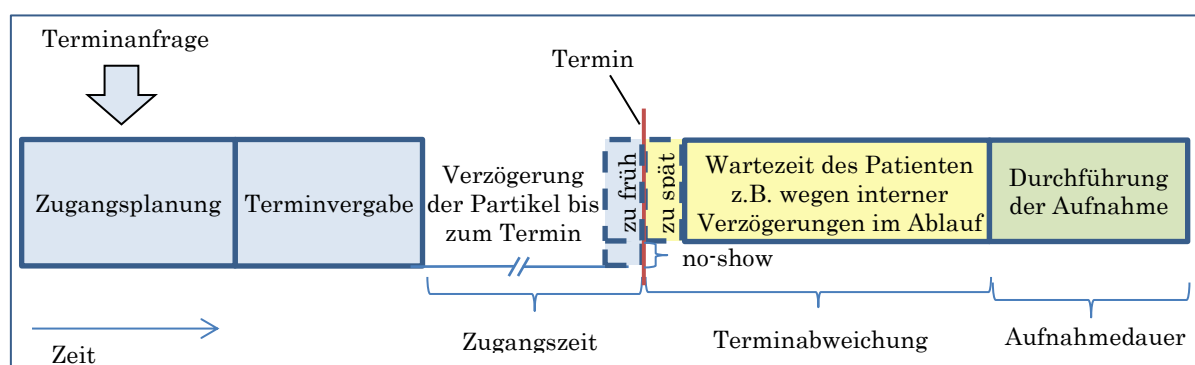


Abb. 174: Zeitliche Folge der Terminvergabe bei Aufnahmen (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17])

(b) Terminanforderung durch elektive Zugänge in den Funktions- und OP-Bereichen

Treten Zugänge von extern direkt in den Funktions- oder OP-Bereichen auf, bedingt dies einer vorherigen Terminvergabe, für die damit einhergehende ambulante Maßnahme. Die Zugangsplanung erfolgt, wie bereits ausgeführt wurde, im Ist-Modell in Umfang und Häufigkeit entsprechend dem Auftreten im Realsystem. Entgegen dem Aufnahmetermin für die Patienten auf den kard. Stationen oder in der kard. Ambulanz, welcher nur den Beginn einer Folge von Maßnahmen darstellt, handelt es sich bei dem hier zu vergebenden Termin um jenen planerischen Zeitpunkt, zu dem die Maßnahme im jeweiligen Funktions-/OP-Bereich tatsächlich durchgeführt werden soll. Entsprechend muss die zeitliche Dauer abgeschätzt und ein passender Termin gefunden werden, welcher bestehende Einschränkungen wie Öffnungszeiten, Pausenzeiten oder bereits bestehende Termine berücksichtigt. Dies wird im Simulationsmodell durch eine Terminanfrage des Moduls „Make Appointment“ an den Terminkalender des betreffenden Funktions-/OP-Bereichs realisiert. Die angefragte Maßnahme wird mittels hinterlegter Planwerte in den Terminkalender eingetragen. Da die Zeitpunkte der Patientenanfragen im Realsystem nicht erhoben werden konnten, werden in der Umsetzung im Ist-Modell die Terminanfragen mit dem Wochenwechsel (mind. zwei Tage vor dem beabsichtigten Termin) eingesteuert. Der nächst mögliche Termin am angefragten Tag wird vergeben. Anschließend wird der Partikel bis zum jeweiligen Termin verzögert und der Ressourcenwarteschlange zugeleitet, was damit dem Zeitpunkt des Auftretens im Realsystem entspricht. Abb. 175 veranschaulicht den Ablauf. Abweichungen im Auftreten zu früh/zu spät oder ausbleibende Patienten können über die entsprechenden, im Modell hinterlegt Parameter, eingestellt werden.

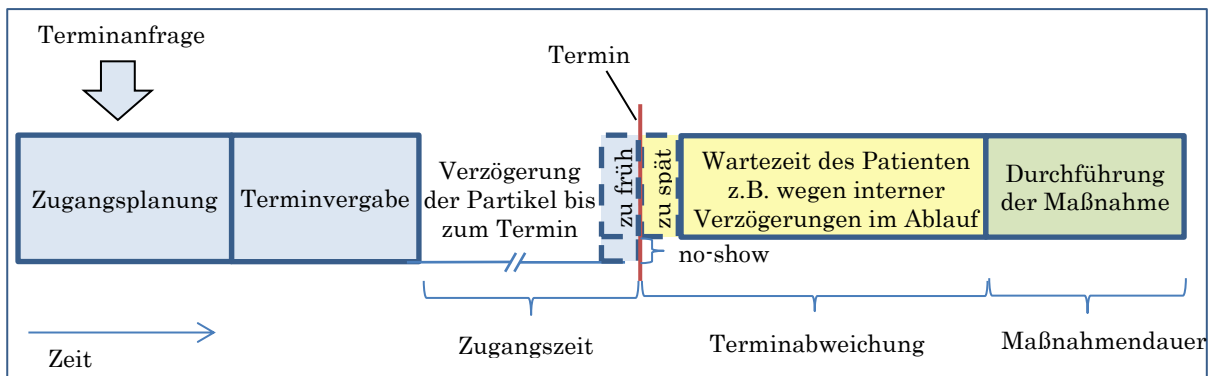


Abb. 175: Zeitliche Folge der Terminvergabe bei Aufnahmen (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17])

(c) Terminanforderungen aus dem Modellablauf heraus (interne Anforderungen)

Im Folgenden wird die Terminvergabe für Patienten beschrieben, deren Terminanforderungen aus dem Behandlungsverlauf (im Modellablauf) heraus entstehen, z.B. für die von den Stationen kommenden Patienten. Hierzu wird der Ablauf im Realsystem an einem Beispiel eines Patienten auf dem Behandlungspfad 1 exemplarisch geschildert (siehe Abb. 176, siehe Anhang A47 zum Prozessablauf).

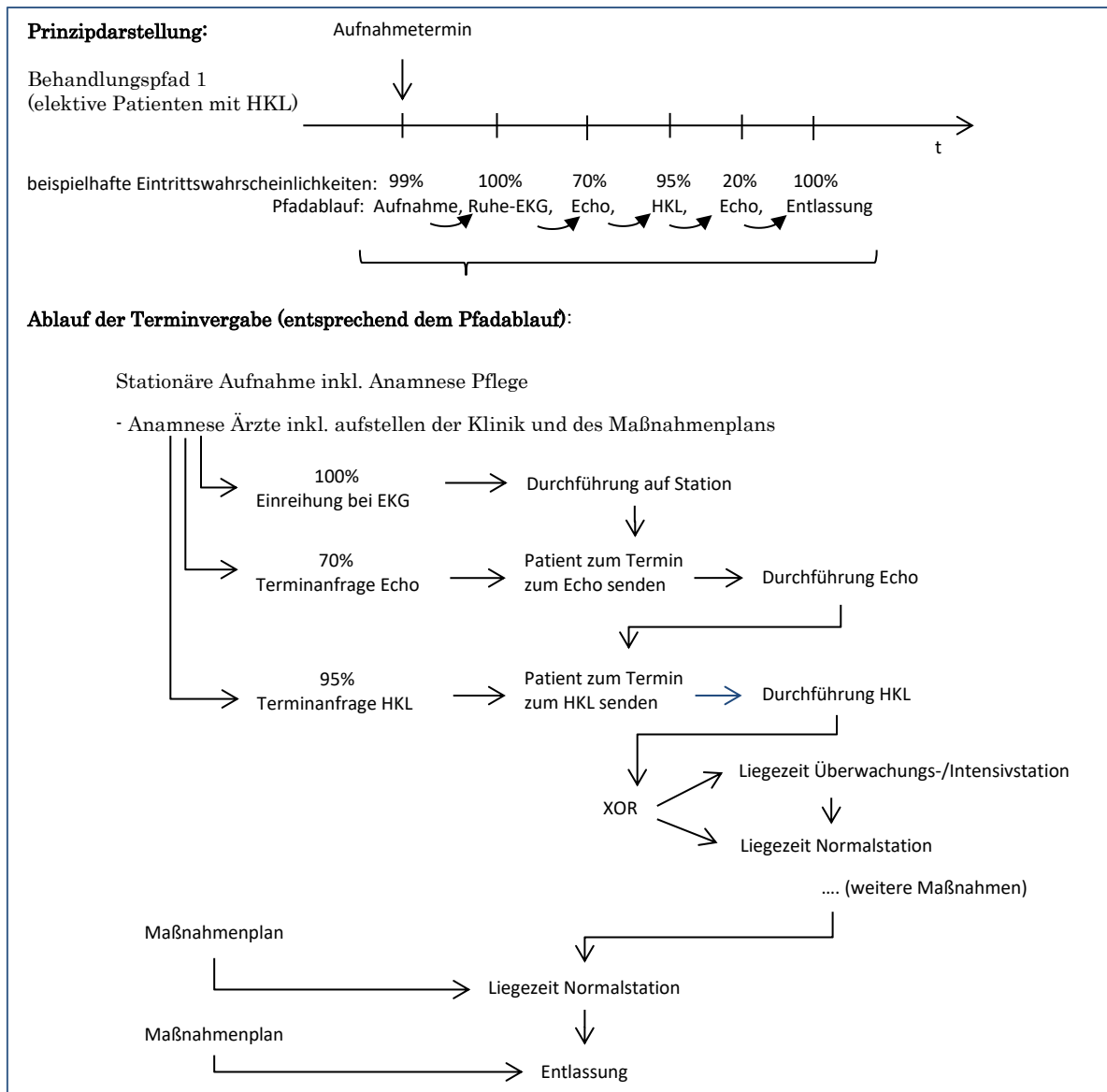


Abb. 176: Prinzipdarstellung zum Ablauf eines Patientenaufenthaltes mit Terminvergabe

Beim Behandlungspfad 1 handelt es sich um Patienten von extern, welche elektiv auf einer kard. Station aufgenommen werden, ggf. mit einer HKL-Untersuchung im Behandlungsverlauf. Sofern ein Patient auf dem Behandlungspfad 1 in das System eintritt, durchläuft dieser den Aufnahmeprozess. Im Beispiel in Abb. 176, sind dies 99 % der Patienten. 1% der Patienten werden im Beispiel als no-show angenommen. Jeder Patient bekommt auf diesem Pfad ein Ruhe-EKG. Dies erfolgt ohne dedizierten Termin im Zuge der Aufnahme, direkt auf der Station. Da das Ruhe-EKG auf den kard. Stationen keinen Engpass darstellt, wird hierfür auch im Modellkonzept keine dedizierte Terminplanung durchgeführt. Im weiteren Verlauf erfolgen die ärztliche Anamnese sowie im Zuge dessen die Aufstellung des Maßnahmenplans. Hierbei werden auf der Basis der Vorgeschichte, dem Aufnahmegrund sowie etwaiger bereits vorliegender Befunde weitere Maßnahmen angeordnet. Zum Beispiel ordnet der Arzt

zunächst eine Echo- und daran anschließend eine HKL-Untersuchung an. Die damit erforderlichen Anmeldungen werden durchgeführt und der Patient zum Termin in den betreffenden Bereichen entsendet.

Die Umsetzung der Terminanfrage erfolgt im Modell mittels des Moduls „Aufstellen des Maßnahmenplans“, welches erforderliche Maßnahmen auf Basis des hinterlegten Patientenverlaufs ermittelt, Termine im Terminkalender der betreffenden Funktions-/OP-Bereiche anfragt und die erforderliche Menge an Termineinheiten (Slots) belegt (Scheduling). Hierbei wird sichergestellt, dass die für den jeweiligen Fall angefragten Termine in der richtigen - den medizinischen Vorgaben entsprechenden - Reihenfolge erfolgen, sofern es hierzu Vorgaben gibt, z.B. EKG, ECHO in Vorbereitung einer HKL-Maßnahme (siehe Anhang A55 0 zur Implementierung des Moduls). Anschließend werden die Patienten bis zum Termin verzögert und ggf. über eine parametrisierte Verteilungsfunktion verfrüht, verspätet oder pünktlich an die Ressourcenwarteschlange zur Durchführung der Maßnahme übergeben. Ebenso können hier no-show Ereignisse auftreten, z.B. aus dem Ablauf heraus, weil der Patient noch mit einer anderen Maßnahme gebunden ist. Der geschilderte Ablauf ist in Abb. 177 veranschaulicht. Da die Patienten bereits den Zugang resp. die Aufnahme durchlaufen haben, entfällt in der Darstellung die Zugangsplanung.

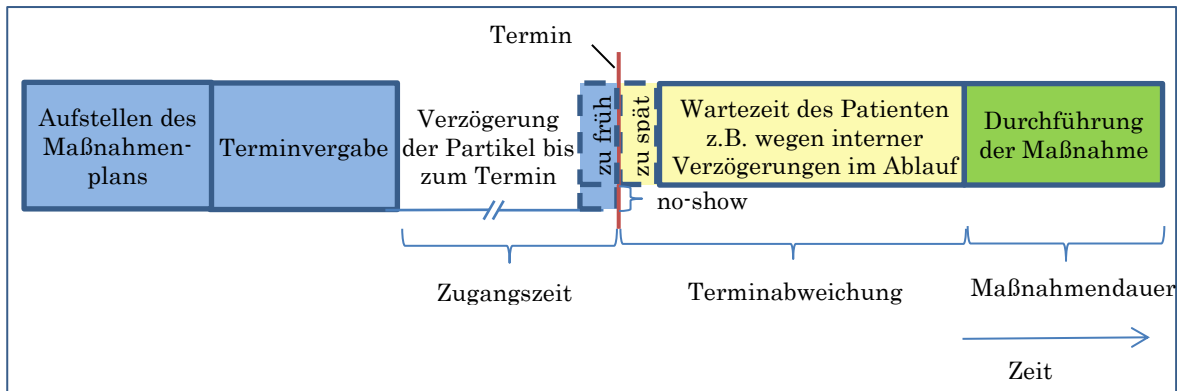


Abb. 177: Zeitliche Folge der Terminvergabe mittels Maßnahmenplan (in Anlehnung an Westeneng [2007, S. 17])

Bei der Terminplanung für das HKL ist anzumerken, dass im Realsystem zunächst keine Termine mit Uhrzeiten vergeben werden, sondern Patienten angemeldet werden, mit dem Ziel am Folgetag eine Maßnahme zu erhalten. Erst nachdem am Abend der Katheterplan - mit Planwerten zur jeweiligen Dauer der Maßnahme - für den Folgetag aufgestellt wurde, sind im Realsystem die Reihenfolge der Patienten und damit ein Termin bekannt. Dieser Termin wird im Realsystem als nicht sehr verlässlich angesehen. Daher wird dieser von dem Stationspersonal nur zur groben Orientierung bei der Vorbereitung der Patienten genutzt. Sofern ein Patient eingeplant wurde, wird dies den Stationen mitgeteilt. Dass die Planung im Realsystem erst am Abend erfolgt, ist

rein organisatorisch begründet. Bis zum Abend sollen alle Anmeldungen vorliegen und der bis dahin in den täglichen Arbeiten eingebundene und für die Planung verantwortliche Arzt kann die Planung ohne Unterbrechung in einem Zug vornehmen. Dem entgegen wird im Simulationsmodell der Patient mit den entsprechenden Planwerten bereits zum Zeitpunkt der Anfrage in den Terminkalender eingetragen, da der organisatorische Akt zur Aufstellung des Katheterplans im Modell nicht mit einer Ressourcenbeanspruchung abgebildet wird. Bei der Terminvergabe wird im Modell das first-come, first-served Prinzip praktiziert. Die Termine werden in der Reihenfolge der Anfrage vergeben. Es wird im Modell der nächst mögliche Termin vergeben. Sofern die Terminanfrage einen konkreten Tagesbezug oder Zeitbezug hat, wird der nächst mögliche Termin nach den Vorgaben der Anfrage vergeben. Ist der jeweilige Tagesplan voll, werden die weiteren Patienten auf den Folgetag geplant. Eine etwaige Sortierung der Patienten bezüglich der Verfügbarkeit einzelner Ärzte, wie dies ggf. durch den planenden Arzt im Realsystem erfolgt, wird im Modell nicht durchgeführt. Notfälle bleiben entsprechend der Gegebenheit im Realsystem in der OP-Planung des HKLs auch im Ist-Modell unberücksichtigt.

Beobachtungen und Messungen im Realsystem haben ergeben, dass Termine in den Funktions-/OP-Bereichen (im Speziellen im ECHO und im HKL) erst am Folgetag der stationären Aufnahme oder später verfügbar sind. Der Aufnahmetag kann dadurch im Speziellen in Bezug auf angesetzte Voruntersuchungen zeitlich nicht effizient genutzt werden und die Liegezeit der Patienten auf den Stationen verlängert sich. Um dem entgegenzuwirken, werden im Realsystem entgegen! der eigenen Vorgaben HKL-Maßnahmen bereits angemeldet, bevor sämtliche Voruntersuchungen abgeschlossen sind. Dies birgt das Risiko, dass Patienten zum HKL-Termin noch nicht alle Voruntersuchungen zur Abklärung durchlaufen haben oder die Abklärung ergeben hat, dass die HKL-Maßnahme nicht durchgeführt werden kann/nicht mehr erforderlich ist. In der Konsequenz dessen macht dies die Planung im HKL unzuverlässig. Es kann u.a. zu Leerständen im HKL kommen, weil der Patient nicht rechtzeitig vor Ort ist resp. nicht mehr kommt. Da dies aber im Realsystem so vorgefunden wurde, wird auch dieses Vorgehen im Ist-Modell so umgesetzt (siehe Abb. 176 (Mitte) zu dem geschilderten Ablauf) (siehe Anhang A55 0 zur Implementierung).

Um dem Beispiel in Abb. 176 weiter zu folgen, haben Patienten nach einer HKL Maßnahme eine Ruhezeit auf einer Station. Je nach dem Zustand werden die Patienten auf die entsendende Station oder zur Überwachung auf eine Überwachungs-/Intensivstation verbracht. Der Stationsarzt überprüft im Weiteren, z.B. im Rahmen der Visite, den HKL-Befund und ordnet ggf. weitere Maßnahmen, wie ein Echo zur Nachkontrolle der HKL-Maßnahme, an. Im Rahmen der Liegezeit kann auch im Modell das Aufstellen des Maßnahmenplans wiederholt durchlaufen werden, um entsprechend

Liegezeiten oder weitere Maßnahmen festzulegen und zu terminieren. Sofern keine weitere Maßnahme angesetzt wird, verbleibt der Patient für eine zu definierende Restliegezeit auf der Station und wird im Anschluss entlassen (siehe Anhang A62 (d) zur Umsetzung der Liegezeiten und weiterer Maßnahmen innerhalb dieser im Simulationsmodell).

In der bisherigen Ausführung wurde auf die Terminvergabe am Beispiel der Patienten auf dem Pfad 1 eingegangen, ausgehend von stationären Patienten, auf den betrachteten kard. Stationen. In vergleichbarer Weise wie die bisherigen Ausführungen werden Termine für elektive Patienten von sonstigen Stationen in den Funktions-/OP-Bereichen vergeben. Die Anfragen werden im Zuge des Modellablaufes (zur Liegezeit auf einer sonstigen Station) direkt an den jeweiligen Terminkalender im Modell gerichtet, welcher entsprechend dem bisherigen Terminbestand und etwaiger eingestellter Restriktionen den nächst möglichen Termin gemäß den angefragten Erfordernissen vergibt. Die Partikel werden im Modell bis zum Termin verzögert und anschließend in die Ressourcenwarteschlange des jeweiligen Funktions-/OP-Bereiches eingestellt.

(d) Terminvergabe an nicht-elektive Anforderungen in den Funktions-/OP-Bereichen und den kard. Stationen

Eine Besonderheit stellt, bezogen auf die Terminvergabe, der Sachverhalt dar, dass auch nicht-elektive Patienten im Modell einen Termin erhalten. Wie ausgeführt wurde, werden diese in das Modell als kurzfristige Anforderungen, z.B. einer Maßnahme im Funktionsbereich, eingesteuert oder ergeben sich aus dem Modellablauf heraus. Nicht-elektive Anforderungen haben die Möglichkeit, im Verlauf eingeschoben und somit vorgezogen zu werden, wenn z.B. ein no-show Ereignis eintritt oder sich, entsprechend der erforderlichen Maßnahme, eine zeitlich ausreichend große Lücke im Tagesverlauf ergibt. Dennoch ist es vorstellbar, dass diese Ereignisse mit der Möglichkeit zum Einschoben nicht eintreten und nicht-elektive Patienten im System hängen bleiben. Damit dies nicht passiert, erhalten nicht-elektive Patienten durch das Modul „Make Appointment“ bei Maßnahmenanforderungen in den Funktions-/OP-Bereichen ebenfalls einen (nächst möglichen) Termin aus dem Terminkalender zugewiesen („Ersatztermin“). Dies entspricht einem „hinten anstellen“. Mit dieser Festlegung und der entsprechenden Umsetzung im Modell haben nicht-elektive Patienten die Möglichkeit vorgezogen zu werden, bei gleichzeitig sicherer Abarbeitung im zeitlichen Verlauf.

Nicht-elektive Patienten im Zugang auf die kard. Stationen erhalten keinen Ersatztermin. Diese verbleiben, wie im Realsystem, auf den entsendenden Stationen und werden über die Auswahlentscheidung (mit einer Priorisierung) eingesteuert (siehe hierzu Anhang A58 (d)).

(e) Implementierung der Terminvergabe für elektive und nicht-elektive Patienten

In den Ausführungen zur Terminvergabe wurden zwei für die Ablaufsteuerung und Terminvergabe zentrale Module angesprochen, das Modul „Aufstellung des Maßnahmenplans“ und das Modul „Make Appointment“¹³¹.

Beide Module erfüllen im Modell die Funktionalität Terminanfragen an den Terminkalender zu richten und entsprechende Termine zu vereinbaren. Der Unterschied liegt im Detail. Während das Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans zusätzlich als Router auf den stationären und ambulanten Pfaden fungiert, hat das Modul „Make Appointment“ ausschließlich die Aufgabe Terminanfragen an den Terminkalender zu richten. Letzteres kommt je nach Position im Pfad z.B. elektiven Terminanfragen für externe Zugänge in den Funktions-/OP-Bereichen zum Einsatz oder bei nicht-elektiven Anfragen innerhalb des Moduls „DelayToAppointmentNonElective“. Im Folgenden werden die beiden angesprochenen Module näher spezifiziert und die Implementierung im Simulationsmodell nach J. Lippold beschrieben.

Das Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans ist der zentrale Entscheidungsknoten im Modell und wird sowohl von ambulanten Patienten (im Ambulanzpfad) wie auch von den stationären Patienten (stationäre Pfade) teils wiederholt durchlaufen. Hierdurch werden im Modell Entscheidungen hergeleitet, u.a. bezüglich durchzuführender Maßnahmen, Verlegungen oder Entlassungen. Zu diesem Zweck ist das Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“ je Pfad instanziiert. Das Modul unterscheidet sich in der Umsetzung in den Ambulanz- resp. stationären Pfaden. Die nachfolgende Abbildung zeigt zunächst den Aufbau für den stationären Ablauf (siehe Abb. 178).

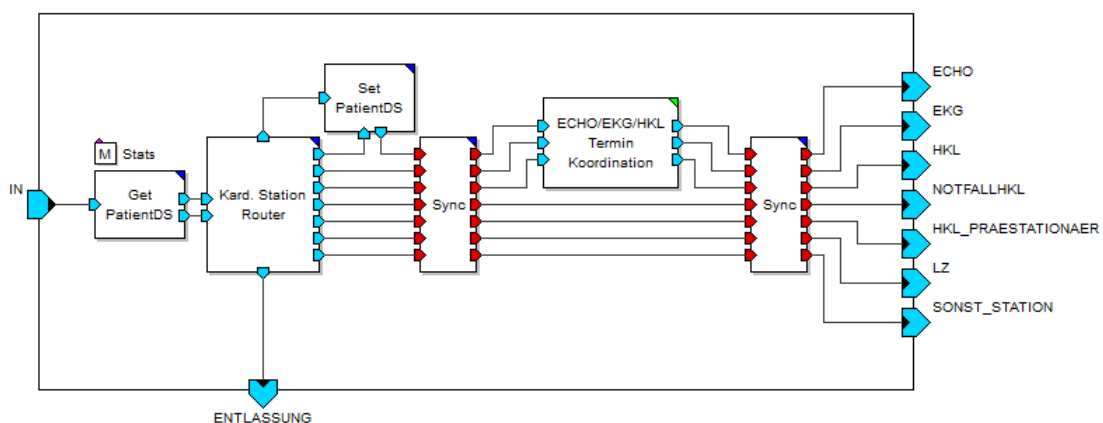


Abb. 178: Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans im stationären Pfad

¹³¹ Der Sprachunterschied in der Benennung mag zunächst verwirrend erscheinen, ist aber darin begründet, dass deutsche Bezeichnungen den importierten Pfadelementen aus der zugrunde liegenden eEPK entstammen. Englischsprachige Bezeichnungen hingegen sind zweckspezifische Erweiterungen, meist auf hierarchisch tieferen Ebenen.

Im Bereich der stationären Pfade ist das Modul „Aufstellung des Maßnahmenplans“ wie folgt spezifiziert: Zunächst sind für die eintreffenden Patientenpartikel die jeweiligen, aus den Patientenrohdaten¹³² entstammenden Vorgaben, für den nächsten Prozessschritt, resp. die nächste durchzuführende Maßnahme auszulesen. Je nachdem, ob es sich um eine Voruntersuchung handelt oder eine Maßnahme in der Restliegezeit¹³³ unterscheidet sich daran der weitere Ablauf.

Für alle Maßnahmen im Rahmen der Voruntersuchungen (in den Verlaufsdaten mit „VU“ gekennzeichnet), mit Ausnahme der ersten HKL-Maßnahme im Ablauf, wird der nächst mögliche Termin angefragt. Hierbei hat der Baustein dafür Sorge zu tragen, dass die Termine ausreichend zeitlichen Abstand voneinander haben, dass nach Möglichkeit in der späteren Terminwahrnehmung keine no-show Ereignisse eintreten. Zu diesem Zweck ist im Modell im enthaltenen Modul „Echo/EKG/HKL Termin Koordinator“ (siehe Abb. 179) in dem dort enthaltenen Primitiv „GetNextFreeAppointment2ElectiveSequential“ mit dem Parameter „KARDSTAT_ECHO_EKG_AppointmentsOffset“ die Möglichkeit vorgehalten, bei einem Patienten den zeitlichen Mindestabstand der Echo- und EKG-Termine voneinander zu hinterlegen (geplantes Terminende bis Terminbeginn nächste Maßnahme). Der Wert wird hier auf 20 Minuten festgelegt. In gleicher Weise ist dies mit dem Parameter „KARDSTAT_HKL_AppointmentOffset“ für den zeitlichen Mindestabstand einer EKG- oder Echo-Maßnahme vor einer HKL-Untersuchung umgesetzt. Der Wert wird hier auf 120 Minuten festgelegt. Die Reihenfolge der EKG und Echo-Maßnahmen determiniert sich bei der Terminvergabe über die Terminverfügbarkeit. Gemäß den Ausführungen im Anhang A55 (c) wird bei der Terminanfrage von nicht-akuten HKL-Maßnahmen danach differenziert, ob diese bereits direkt im Anschluss hieran angefragt werden (im Weiteren als Variante S1 bezeichnet) oder erst terminlich angefragt werden, wenn die anderen Voruntersuchungen durchgeführt sind (Befunde vorliegen) und der Patientenpartikel erneut den Baustein durchläuft (im Weiteren als Variante S2 bezeichnet). Der Parameter „KARDSTAT_PREEEXAM_OPMODE“ im Primitiv „Kard. Station Router“ (siehe Abb. 178) differenziert im Modell über die Werteinstellungen „Request all in one iteration“ und „Separate request for HKL“ das Vorgehen zwischen aktuell im Realsystem praktizierten und dem Soll-Verhalten. Abb. 179 veranschaulicht die zwei gegenständlichen Ablaufvarianten, wobei die Schleifen des wiederholten Durchlaufens des Maßnahmenbausteins in der Darstellung aufgelöst sind (siehe auch Anhang A47 zum Ablauf – Abschnitt „Verfeinerung: Voruntersuchungen und stationärer Aufenthalt“).

¹³² Siehe Unterabschnitt 9.8.4 zur Erläuterung der Rohdaten.

¹³³ Siehe Anhang A62 (d) zur Abgrenzung in der Liegezeit in Voruntersuchungs- und Restliegezeit.

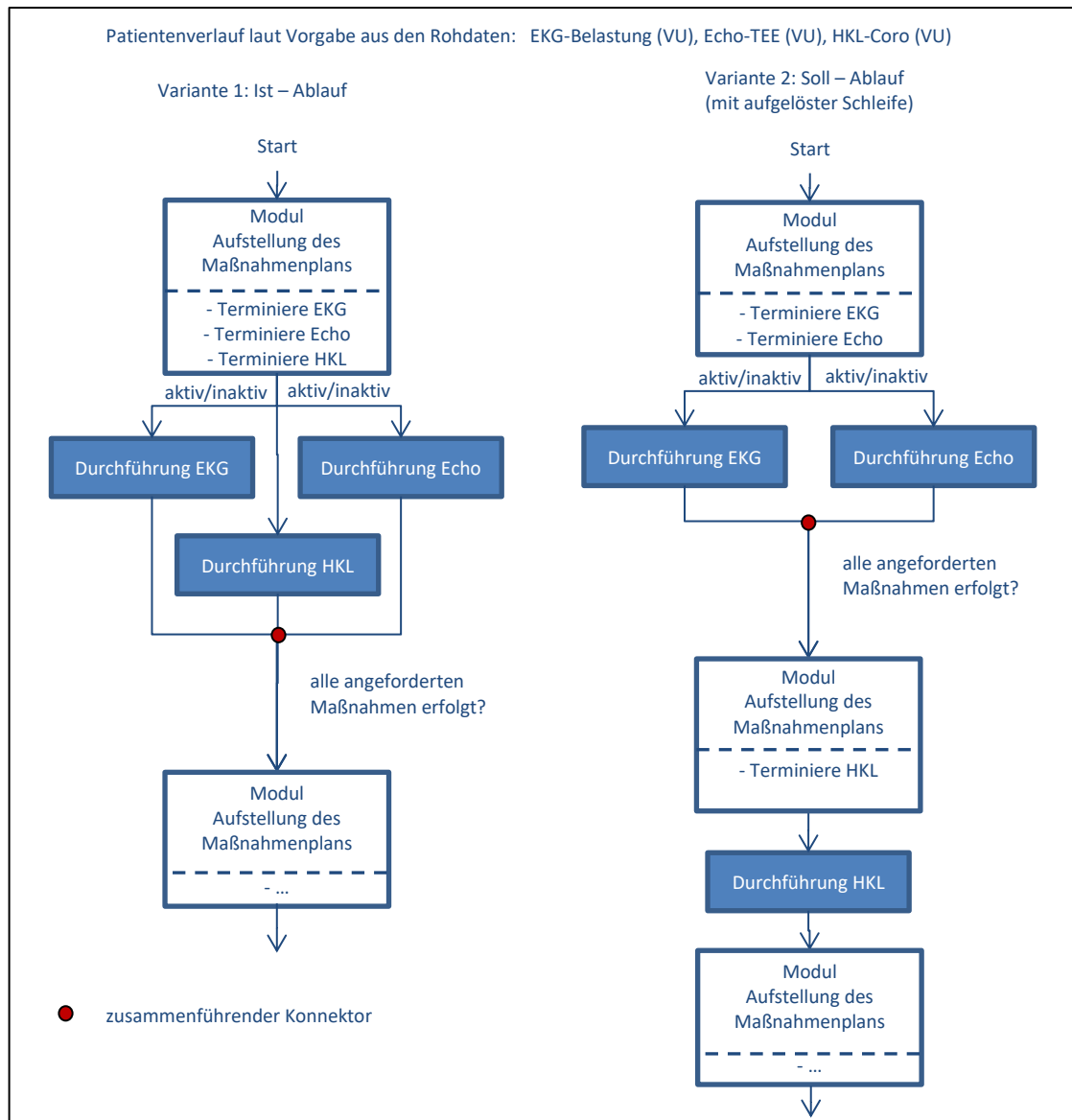


Abb. 179: Schematische Darstellung der möglichen Ablaufvarianten im Baustein „Aufstellen des Maßnahmenplans“ für stationäre Patienten im Rahmen der Voruntersuchungen

Grundsätzlich stellt sich auf Pfadseite die Frage, woher der zusammenführende Konnektor die Information bekommt, welche Maßnahmen angeordnet wurden, um entsprechend das Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans erst wieder zu triggern, wenn auch alle terminlich vereinbarten Maßnahmen durchgeführt wurden (siehe Abb. 179). Das Prinzip regelt sich durch die aktiv/inaktiv Markierung der Partikel (siehe Anhang 0 (c) zur Transformation einer EPK). Gemäß den Gegebenheiten aus dem Transformationsansatz ist immer je Zweig ein Partikel im Ablauf. Je nachdem, ob ein EKG bzw. ein Echo oder beide Maßnahmen durchzuführen sind, ist nur ein Partikel oder beide als aktiv gekennzeichnet. In allen Fällen treffen zwei Partikel am zusammenführenden Konnektor ein und erst dann schaltet dieser weiter für einen erneuten Durchlauf.

Maßnahmen zur Restliegezeit, mit Ausnahme von akuten Anforderungen, wie auch Verlegungen werden, entsprechend den Vorgaben aus dem zufällig zugewiesenen Patientenverlauf (siehe Anhang A54 (d)), durch das Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“ terminlich angefragt. Dies erfolgt für alle nachfolgenden Maßnahmen mit der Kennzeichnung „RL“¹³⁴, wenn das Modul auf die erste so gekennzeichnete Maßnahme stößt. Die Partikel werden anschließend sukzessive, gemäß den Vorgaben der Rohdaten, in den Pfadablauf eingesteuert und bis zum Termin verzögert. Zur Erinnerung: innerhalb der Restliegezeit stellen die Maßnahmen eine Störauslastung in den Funktions-/OP-Bereichen dar und sollen daher möglichst zeitlich in gleichem Abstand erfolgen, wie im Realsystem. Dies ist mit dieser Implementierung gewährleistet.

Sofern keine weitere Maßnahme angesetzt ist, wird gemäß den jeweiligen Vorgaben aus den Rohdaten eine Restliegezeit (bis zur Entlassung), die Entlassung oder einer Verlegung eingeleitet (siehe Abb. 178 bzgl. der Ausgabeports).

Im Bereich der Ambulanzpfade ist das Modul „Aufstellung des Maßnahmenplans“ vom Grundsatz her gleich, jedoch nach den spezifischen Erfordernissen der Ambulanz abweichend implementiert (siehe Abb. 180).

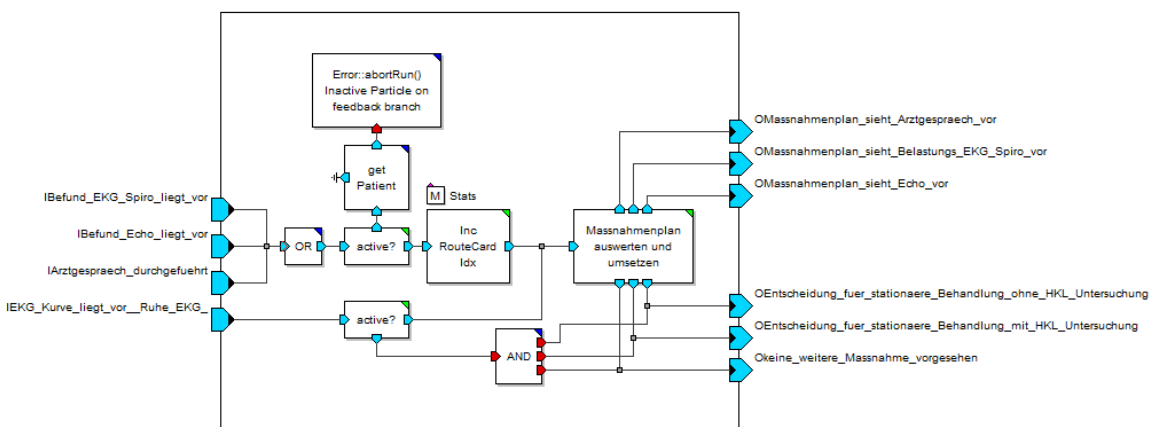


Abb. 180: Modul zur Aufstellung des Maßnahmenplans im Ambulanzpfad

Da angestrebt ist, dass die jeweiligen Maßnahmen noch am Tag des Ambulanzbesuches durchgeführt werden, beinhalten die den jeweiligen Patienten hinterlegten Verlaufsvorgabe (Rohdaten) nur die angesetzten Maßnahmen. Die Patienten werden als nicht-elektive Anforderungen in die Funktionsbereiche eingestellt. Eine Terminvereinbarung erfolgt am Tag des Ambulanzbesuches im Rahmen des modellseitig

¹³⁴ Siehe Anhang A62 (d) zur Differenzierung der Liegezeit in Voruntersuchungsdauer (VU) und Restliegezeit (RL).

erforderlichen Ersatztermins für nicht-elektive Patienten, um die Abarbeitung sicherzustellen (siehe Unterabschnitt 9.7.3, Anhang A55 (d)). Bezüglich der Reihenfolge der angesetzten Maßnahmen wird auch im ambulanten Ablauf in zwei Varianten unterschieden. Die Reihenfolge wird entweder den Vorgaben der Patientenrohdaten entnommen (im Weiteren als Variante A1 bezeichnet). Dies entspricht den Gegebenheiten aus dem Realsystem, welche signifikant in der Mehrheit der Fälle erst zum Funktionsbereich Echo und anschließend zum EKG gehen. Oder, die Reihenfolge wird durch die Ressourcenauslastung determiniert (im Weiteren als Variante A2 bezeichnet). Die Reihenfolge ergibt sich daraus, welche Maßnahme zuerst durchgeführt werden kann (es wird ein gemeinsamer Wartebereich unterstellt). Lediglich das durchzuführende Arztgespräch ist in dieser Variante in der Reihenfolge, bezogen auf die durchzuführenden Maßnahmen, fix. Sprich, sind zwei Maßnahmen (EKG-Belastung/Echo-TTE) durchzuführen, anschließend ist ein Arztgespräch gesetzt und danach ein EKG-Spiro, so sind die Maßnahmen EKG-Belastung und ECHO-TTE frei in der Reihenfolge. Anschließend hat das Arztgespräch zu erfolgen, da angenommen werden muss, dass die an das Arztgespräch anschließende Maßnahme (EKG-Spiro) erst zu diesem angeordnet wird. Um die Differenzierung der Varianten A1 und A2 im Modell zu ermöglichen, ist im Modul „Maßnahmenplan auswerten und umsetzen“ (siehe Abb. 180), im dort enthaltenen Primitiv „AmbulanzRouter“ der Parameter „AMBULANZ_SequenceType“ implementiert. Entsprechend der Ausprägung des Parameterwertes („Fixed“ oder „Free“) steuert das Primitiv die Patientenpartikel bei mehreren Maßnahmen rein sequentiell, nach Vorgabe der Reihenfolge, aus den hinterlegten Rohdaten, mit jeweiligen Schleifendurchläufen durch das Modul (Variante A1 – Parameterwert „Fixed“) ein. Oder, es erfolgt eine gleichzeitige Einsteuerung der Maßnahmenanforderungen in die jeweiligen Funktionsbereiche (Variante A2 – Parameterwert „Free“)

Das zweite für die Terminvergabe zentrale Modul „Make Appointment“ wurde implementiert, um im wesentlichen Terminanfragen vorzunehmen, welche im Pfadablauf auftreten und keines dedizierten Routings bedürfen (siehe Abb. 181).

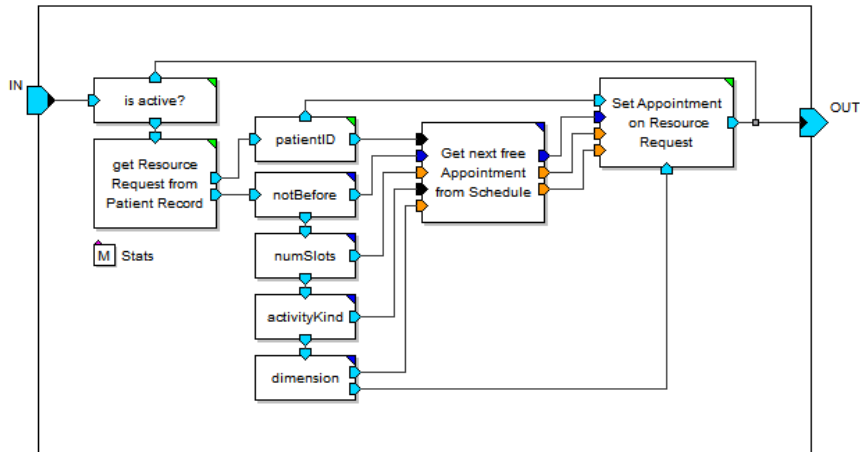


Abb. 181: Modul „Make Appointment“ zur Terminanfrage [Lippold 2014, S. 84]

Im Fall eines eintreffenden aktiven Partikels wird durch das Modul „get Resource Request from Patient Record“ die „ResourceRequest“ Instanz aus der Patientendatenstruktur des Partikels extrahiert. Das Modul arbeitet auf dem zentralen Speicher „Stats“ (der Patientendaten). Mittels der Module „notBefore“, „numSlot“ etc. werden die für den Prozeduraufruf notwendigen Abfragewerte für den frühest möglichen Zeitpunkt, Anzahl benötigter Termineinheiten, Art des angefragten Termins und ggf. eine Präferenz bzgl. einer bestimmten Ressource (z.B. HKL3), gesammelt. Das Primitiv „Get next free Appointment from Schedule“ übernimmt die Werte und führt eine Terminabfrage durch. Anschließend wird der zurückgegebene Termin mittels des Moduls „Set Appointment on Resource Request“ im Terminkalender belegt und die Terminwerte in die Patientendaten geschrieben (siehe [Lippold 2014, S. 84 f.] zu diesem Unterabschnitt).

Wie bereits ausgeführt wurde, sind die Terminkalender als Datenbank umgesetzt (siehe hierzu Abschnitt 9.10 zur Datenhaltung). Die soeben erläuterten Module und Primitive richten die Terminanfragen an die Datenbank. Zur Ermittlung des nächst möglichen Termins wird eine in der Datenbank hinterlegte Prozedur „NEXT_APPOINTMENT()“ genutzt (siehe [Lippold 2014, S. 84]). Die Prozedur kapselt eine MySQL-Abfrage, welche sowohl den frühest möglichen Zeitpunkt wie auch den Umfang der für den angefragten Termin erforderlichen Termineinheiten und die Ressourcenvorgaben¹³⁵ berücksichtigt [Lippold 2014, S. 84]. Diese Prozedur wird im Rahmen der Terminvergabe durch das Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“ wie auch das Modul „Make Appointment“ verwendet und ermöglicht damit, dass die komplexen Suchabfragen in ihrer Abarbeitung in der Datenbank einheitlich und wesentlich performanter erfolgen.

¹³⁵ Bzgl. erforderlicher Ressourcen.

A56. Identifizierung der Patienten mittels Patienten-ID

Für einen korrekten Simulationsverlauf und spätere Auswertungen ist es unabdingbar, dass Patienten, welche sich als Partikel durch das Modell bewegen, zu jeder Zeit eindeutig identifiziert werden können. Das hier zugrunde gelegte Konzept wird bereits mit Blick auf das spätere Optimierungsbestreben ausgelegt.

Ausgangspunkt sind fortlaufende Patientenzugänge (siehe Unterabschnitt 2.4.3). Wochenweise werden Patientenfragen erstellt (Zugangsplanung) und aus unterschiedlichen Quellen auf Tagesbasis oder zum Termin in den Modellablauf eingestellt (siehe Abb. 182).

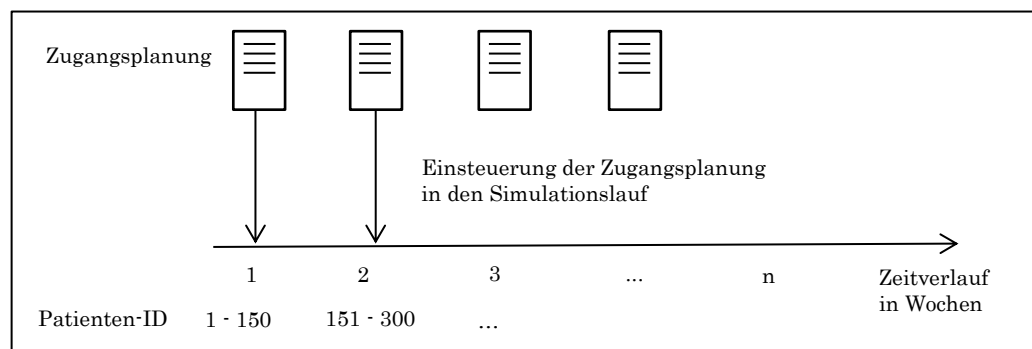


Abb. 182: Patienten-ID im zeitlichen Verlauf der Simulation

Zu Zweck der Identifizierung erhält jeder Patientenpartikel im Zuge seiner Erzeugung in den Quellen des Simulationsmodells eine eindeutige Patienten-ID zugewiesen. Die Patienten-ID bleibt für den gesamten Simulationslauf unverändert und wird nicht doppelt vergeben, auch nicht nachdem der Patient modellseitig entlassen wurde. In diesem Sinne kommt der Patienten-ID im Modell die Aufgabe der Fallnummer im Realsystem zu.

Da jede Quelle nun eine fortlaufende Nummerierung vornimmt, wie in Abb. 182 veranschaulicht, würde dies zu Doppelvergaben zwischen den Quellen führen. Daher wird der Patienten-ID die fortlaufende Nummer der Woche vorn angefügt, in welcher der Patientenpartikel in den Simulationslauf eingestellt wurde (z.B. für den Patienten 121 der Woche 2 von der Quelle STA_1 (Zugangspunkt) ist dies die Patienten-ID 2.STA_1.121 (siehe Abb. 183).

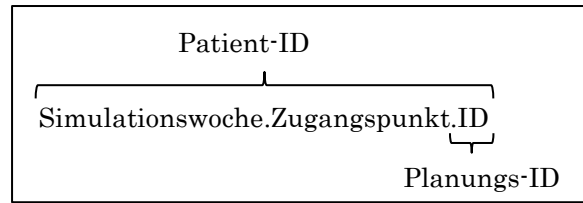


Abb. 183: Aufbau der finalen Patient-ID

Die eindeutige Nachvollziehbarkeit ist damit zu jedem Zeitpunkt im Simulationslauf gegeben. Die Anordnung in dieser Art kommt der weiteren Verwendung zugute. Der Vorteil dieses Vorgehens ist darin zu sehen, dass es keiner Transformationstabellen oder anderweitiger Regeln bedarf und bei den späteren Auswertungen die Simulationswoche zentraler Betrachtungspunkt ist.

A57. Einschränkungen und Störungen in den Funktions-/OP-Bereichen

In Unterabschnitt 9.7.2 wird bereits, bezogen auf die Zugangskontrolle, auf die Umsetzung konkreter Störgrößen und Grundauslastungen im Modell eingegangen. Während diese aus dem ungeplanten Auftreten von Patienten resultieren, gibt es weitere im Modell zu berücksichtigende Einschränkungen, Störgrößen und Auslastungen, welche aus den betrachteten Engpassbereichen selber hervorgehen. Hierzu zählen:

- Beginn und Ende der Öffnungszeiten in den Funktions-/OP-Bereichen,
- Pausenzeiten und Wartungsarbeiten sowie
- unvorhergesehene Einschränkungen, wie Störungen und Ausfälle.

Diese Punkte werden im Folgenden bezogen auf den Modellablauf und auf die Terminvergabelogik betrachtet.

(a) Beginn und Ende der Öffnungszeiten sowie Terminvergabezeiten

Die betrachteten Funktions-/OP-Bereiche unterliegen in den Referenzeinrichtungen regulären Öffnungszeiten. Außerhalb der Öffnungszeiten werden in den Bereichen keine Termine vergeben und keine Patienten behandelt bzw. untersucht. Ausnahmen stellen lediglich Notfälle dar. Die Terminkalender im Modell sind dahingehend ausgelegt, dass diese nur verfügbare Zeiten der Ressourcen ausweisen. Sprich, in der Termindatenbank werden die Öffnungszeiten hinterlegt und die Datenbank schränkt auf Basis dessen die Terminverfügbarkeiten ein. Für die Hinterlegung gibt es ein Template in der Termindatenbank, welches vor Simulationsstart mit den erforderlichen Angaben je Bereich (Parameterset siehe Abschnitt 9.11 (d)) befüllt wird. Ablauftechnisch würden im Modell dennoch alle eingesteuerten, elektiven resp. noch anstehenden, nicht-elektiven Partikel abgearbeitet werden. Damit dieses nicht geschieht und somit unrealistische Überstunden der Funktions-/OP-Bereiche im Modell entstehen, muss die Ressource entzogen oder blockiert werden. Im Modell kommt zu diesem Zweck ein Kontroll- und Verwaltungspfad zum Einsatz (siehe Unterabschnitt 9.6.2 zu den Pfaden). Diese Pfade werden u.a. genutzt um im Modellablauf Ressourcen zu stören oder in der Verfügbarkeit einzuschränken. Durch einen solchen Pfad wird zum Ende der Öffnungszeiten die Ressource mittels eines Statusparameters auf inaktiv gesetzt (1 = aktiv, 0 = inaktiv, -1=Störung) und die Kapazität auf 0 eingestellt. Bereits begonnene Patienten werden noch abgearbeitet und nachdem die Ressource deallokiert wurde, ist durch die mangelnde Kapazität eine erneute Allokation durch noch wartende Partikel nicht mehr möglich. Mit Beginn der Öffnungszeiten wird die Kapazität der Ressource im Modell mittels des Kontroll- und Verwaltungspfads wieder auf den Ausgangswert gesetzt und der zugehörige Parameter auf aktiv gestellt. Ggf. noch in der Ressourcenwarteschlange

befindliche (elektive) Patienten¹³⁶ werden zwischenzeitlich aus der Warteschlange entnommen und den nicht-elektiven Partikeln zugeführt. Um möglichst schnell nachgearbeitet zu werden, erhalten diese nun nicht-elektiven Partikel eine entsprechende Priorisierung (siehe hierzu Anhang A58 (a) und (c)).

Zu berücksichtigen sind nun noch Notfälle im Modell, welche z.B. im HKL auch nach regulärem Dienstende behandelt werden. In den für den Notdienst vorgesehenen Behandlungsplätzen ist im Realsystem ein Bereitschaftsdienst eingesetzt. Entsprechend muss es im Modell möglich sein die Ressourcenblockierung nach dem Ende der Öffnungszeit an diesen Stellen aufzuheben. Dies erfolgt durch Erhöhung der Kapazität, unter vorheriger Prüfung des Statusparameters für Störung (-1) oder Pause (0). Die Kenngröße ist eingesetzt, um den Grund der Herabsetzung der Ressourcenkapazität zu differenzieren. Im Falle der Bereitschaftszeiten ist die Kenngröße auf inaktiv (0). Damit ist es den Notfallpartikeln erlaubt die Kapazität für die Dauer der Behandlung zu erhöhen. Durch die höhere Priorisierung des Notfalls wird dieser als erstes aus der Ressourcenwarteschlange entnommen, auch wenn diese ggf. (noch) nicht leer ist. Nach Bearbeitung des Notfalls wird die Kapazität wieder herabgesetzt. Durch das anschließende wieder Entziehen der „künstlich“ hochgesetzten Kapazität verbleiben eventuelle noch in der Warteschlange befindliche Partikel unbearbeitet.

Dass die Kapazität zu Pausenzeiten oder bei Störungen nicht hochgesetzt werden darf, liegt daran, dass zu Pausenzeiten Ausweichressourcen existieren und bei Störungen die Ressource nicht betriebsbereit ist. Somit auch im Falle eines Notfalls nicht genutzt werden kann.

(b) Pausenzeiten und Wartungsarbeiten

Soeben wurden bereits Pausenzeiten angesprochen. Auch hierbei handelt es sich um Einschränkungen in der Ressourcenverfügbarkeit, welche im Modell zu berücksichtigen sind. Da Pausen vom Grundsatz her eine wiederkehrende Eigenschaft besitzen und für gewöhnlich zu denselben Zeiten stattfinden, werden die jeweiligen Pausenzeiten in der Termindatenbank und damit im Terminkalender hinterlegt. Dies erfolgt in gleicher Weise wie die Öffnungszeiten, einmalig vor Start der Simulation. Die Termindatenbank schränkt die Terminvergabe an die Patienten dahingehend automatisch ein.

Ferner gibt es geplante Wartungsarbeiten. Diese sind im Auftreten variabel, bedingen daher eine individuelle Berücksichtigung während des Simulationslaufs. Entsprechend der im Realsystem erhobenen Häufigkeit, dem zeitlichen Auftreten und den zeitlichen Umfängen, werden zur Simulationslaufzeit entsprechende Anforderungen an die

¹³⁶ Rückstände in der Ressourcenwarteschlange können nur elektive Patienten sein, da nicht-elektive Partikel nur bei freier Ressource (Leerstand) eingesteuert werden. Eventuelle Notfälle in der Warteschlange werden durch einen Notdienst/Bereitschaftsdienst abgearbeitet und sind bei Öffnung in der Warteschlange nicht mehr vorhanden.

Terminatenbank gestellt und als Termin eingetragen (Pausen werden für Wartungen als freie Slots gewertet). Im Extremfall könnten gleichzeitige Wartung, z.B. in allen HKLs, eingestellt werden, was nicht mehr der Realität entspricht. Im HKL ist im Realsystem eine Wartung im Intervall von einem Quartal durchzuführen. In diesem Fall ist zwischen den einzelnen Laboren ein Offset eingestellt, um gleichzeitige Wartungen zu verhindern. Eine Prüffregel zur Terminanfrage verhindert zudem die zeitlich gleichzeitige Lage von Wartungen der Ressourcen des OP-Bereiches. Als Dauer der Wartung (Planwert) wird ein Wert gemäß den Erhebungen im Realsystem generiert. Der Wert wird für die spätere Bearbeitung in der Datenstruktur zum Partikel hinterlegt. Wie in der Realität kann eine Wartung auch über den Tageswechsel hinausgehen. Da die Realdaten nur die Wartungsdauer, bezogen auf die Öffnungszeit bemessen, gilt es auch dies im Terminkalender entsprechend abzubilden. Hierzu werden Terminslots auch in den Folgetag hinein belegt, wenn der Planwert die am jeweiligen Tag verfügbaren Terminslots (bis zum Ende der Öffnungszeit) übersteigt. Die Implementierung dieses Sachverhaltes erfolgt durch ein entsprechendes Modul, auf einem dedizierten Kontroll- und Verwaltungspfad. Für jede Engpassressource wird ein solcher Kontroll- und Verwaltungspfad im Modell angelegt.

Nun bedarf es noch der Betrachtung der Umsetzung auf Seiten der Ressourcen im Modell. Während der Pausenzeiten werden gemäß der bisherigen Auslegung keine Termine eingestellt. Wartungen sind hingegen selber als Termin eingestellt. In beiden Fällen bedarf es der Ressourcenbindung/-Blockierung für die definierte Zeit. Hier kommt wieder der eben aufgebaute Kontroll- und Verwaltungspfad zum Einsatz. In diesem Falle wird der Pfad genutzt, um Partikel für die Pausenzeiten und Wartungsarbeiten den Ressourcen zuzuleiten. Pausenpartikel nutzen den Beginn der Pause als Termin. Diese Partikel haben in Anlehnung an die Patientenpartikel eine eigene Datenstruktur und einen eindeutigen Bezeichner. Die Pausen- und Wartungspartikel werden auf dem bestehenden Pfad bis zum Termin verzögert und dann der Ressource zugeleitet (vgl. hierzu Anhang A58 (f)). Partikel auf diesem Pfad sind nicht wie Patienten in Gruppen geteilt. Auch ein Wechsel zwischen den Pfaden ist bereits auf Basis einer isolierten Pfadmodellierung ausgeschlossen. Es erfolgt auf dem Pfad lediglich eine Verknüpfung mit der jeweiligen Engpassressource. Eine Allokation der Patienten erfolgt in diesem Kontroll- und Verwaltungspfad nicht.

Wartungen und Pausen sind im Realsystem weitestgehend pünktlich in der Umsetzung. Laufende Maßnahmen werden jedoch noch abgeschlossen. Damit die Wartung resp. Pause möglichst zum Termin ausgeführt wird, erhalten die Partikel auf dem Kontroll- und Verwaltungspfad die gleiche Priorität wie Notfallpatienten. Dies führt dazu, dass die laufende Maßnahme noch beendet und im Anschluss der Wartungs-/Pausenpartikel abgearbeitet wird. Ist noch ein Notfall in der Warteschlange, wird dieser entsprechend der FCFS-Regel bei gleicher Priorität ebenfalls noch abgearbeitet. Auch dies entspricht

den Beobachtungen im Realsystem. Pausen und Wartungen werden verschoben, wenn der Notfall bereits „vor der Tür steht“. Befindet sich hingegen kein Notfall in der Ressourcenwarteschlange, wird entsprechend der hohen Priorität die Pause bzw. Wartung durchgeführt. Für die Pausenzeiten ist die Dauer festgelegt. Bei den Wartungsarbeiten wurde diese zum Zeitpunkt der Terminvergabe, gemäß der Erhebung im Realsystem über eine Verteilungsfunktion im Modell bestimmt, und wird nun abgearbeitet (Ressource wird für diese Dauer gebunden).

Wie bereits angesprochen wurde, stellen Notfälle einen Sonderfall dar. Wartungen und Pausen können sich beim Eintreten von Notfällen grundsätzlich verschieben. Sofern die Pause oder die Wartung im Modell begonnen wurde, kann im bisher beschriebenen Funktionsumfang der Notfall – als ein Partikel in der Ressourcenwarteschlange – nicht bearbeitet werden. Dies deckt sich mit der Realität, in der Personal, wenn es sich in der Mittagspause (z.B. in der Kantine) befindet, für einen Notfall nicht verfügbar wäre. Ebenso ist es für Geräte zu sehen, die im Rahmen einer Wartung außer Betrieb genommen werden. Diese sind ggf. aus dem Funktions-/OP-Bereich entfernt worden oder sind mit der Außerbetriebsetzung ebenfalls für einen Notfall nicht verfügbar. Notfälle treten bei den Zuläufen im vorliegenden Fall nur im HKL auf. Im Realsystem erfolgen Pausenzeiten und etwaige Wartungen in gegenseitiger Abstimmung, so dass in der regulären Dienstzeit grundsätzlich jeder Zeit eine Ausweichressource für Notfälle vorhanden ist¹³⁷. Durch die Abbildung der Pausenzeiten im Modell entsprechend der Realität ist dies damit auch für das Modell gewährleistet.

(c) Abbildung von Störungen

Neben den weitestgehend planbaren Einschränkungen, gibt es unvorhergesehene Ereignisse in den Funktionsbereichen, wie technische Störungen. Auch diese gilt es im Modell zu berücksichtigen. Eine technische Störung, wie diese hier verstanden wird, hat die Besonderheit, dass die betreffende Ressource ausfällt und dem entsprechend nicht weiter genutzt werden kann. Die zentrale Frage lautet: Wird die laufende Maßnahme noch abgeschlossen oder mit dem Eintreten des Ereignisses unterbrochen? Die Unterbrechung einer laufenden Maßnahme gestaltet sich im Simulationssystem recht komplex. Die betreffende Ressource müsste „hart“ entzogen werden, um die bestehende Ressourcenallokation zu trennen. Die zu dem Zeitpunkt in Bearbeitung befindlichen Partikel müssten daraufhin im Ablauf und auf der Datenstruktur wieder in den Zustand unbearbeitet versetzt werden. Im vorliegenden Modell wird daher davon ausgegangen, dass die laufende Maßnahme noch abgeschlossen wird und die Störung zwar aufgetreten ist, aber erst danach wirksam wird. Dies lässt sich auch im Realsystem so wiederfinden, so wird z.B. ein Patient nicht im Moment der Störung vom OP-Tisch entfernt, sondern noch entsprechend medizinisch versorgt, um den Patienten vom Tisch nehmen zu

¹³⁷ Auch wenn diese im regulären Betrieb genutzt wird.

können. Überwiegend konnte im HKL die laufende Maßnahme aber noch abgeschlossen werden, da die Störung zwar hinderlich war, aber mehr oder weniger umgangen und die Maßnahme trotzdem durchgeführt werden konnte.

Da sich die eingetretene Störung auch unweigerlich auf die Bearbeitung von Notfällen in dem betreffenden Bereich auswirkt, ist es nicht ausreichend mittels eines Störungspartikels mit gleicher Priorität wie die Notfälle die Ressource zu binden. Um im Modell nicht eine neue oberste Priorität für Partikel einzuführen, wird in der Umsetzung des Sachverhaltes auf das Entziehen der Ressourcenkapazität abgestellt. Die Umsetzung im Modell erfolgt wieder mittels eines Kontroll- und Verwaltungspfads. Auf diesem werden durch eine Quelle Störungspartikel in zeitlicher Verteilung und Dauer, wie im Realsystem bemessen, erzeugt. Im weiteren Verlauf entzieht ein Störungspartikel der Ressource eine Kapazität. Die laufende Bearbeitung wird abgeschlossen und eine weitere Allokation der Ressource ist unterbunden. Über den Pfadablauf wird mit dem Eintreffen des Störungspartikels und dem Entziehen der Ressource die Kennzeichnung der Ressource auf 1 = Störung gesetzt, damit auch Notfälle nicht befähigt sind, durch Anheben der Kapazität auf der Ressource bearbeitet zu werden. Diese Kennzahl wird bei Notfällen geprüft, bevor die Kapazität (im Sinne eines Not- /Bereitschaftsdienstes) hochgesetzt werden würde. Nach entsprechender Verzögerung wird die Kennzeichnung für die Störung aufgehoben und die Ressourcenkapazität wieder hochgesetzt. Da die Störungen im Realsystem durchaus mehrere Stunden bis Tage anhalten, können die betreffenden Patienten ggf. vergebene Termine nicht mehr wahrnehmen und müssten warten, bis die Ressource wieder verfügbar ist. Da sich hierunter auch Notfälle befinden können und die Störungsdauer entsprechend hoch ausfallen kann, ist ein unbestimmtes Warten abzulehnen. Bezogen auf etwaige Ausweichressourcen sind die betreffenden Patienten nicht geplant und können somit nicht ohne weiteres eingeschoben oder angehängt werden. Daher werden diese im Modell der Warteschlange entnommen. Für den weiteren Verlauf im Modell werden diese als nicht-elektive Anforderungen eingestuft und in die Warteliste der nicht-elektiven Patienten mit der Priorisierung (1) wie die vom Vortag ausstehenden Patienten eingegliedert (siehe Anhang A58 (a)). Dies betrifft auch im Weiteren eingesteuerte elektive Patienten, welche entsprechend der Terminvergabe weiterhin einströmen und nun abgewiesen werden. Etwaige Allokationen der Patientenressource werden im Zuge der Umstellung auf nicht-elektive Partikel freigegeben. Sofern sich Notfälle in der Ressourcenwarteschlange befinden, werden diese auf verbleibende Ressourcen verteilt. Damit zur Zeit der Störung keine neuen Termine auf der Ressource eingestellt werden, werden die freien Slots im Terminkalender mit „Störung“ belegt, bis diese behoben wurde. Pausenpartikel, welche während der Störung eintreffen, verfallen automatisch, weil sowohl Wartungen wie auch Störungen über die Pausenzeiten hinweg wirken.

Nach dem die Störung behoben wurde, wäre die Ressource wieder frei und kann den regulären Betrieb aufnehmen. Die verschobenen Partikel können durch die relativ hohe Priorisierung innerhalb der nicht-elektiven Patienten durchaus noch zeitnah zum ursprünglichen Termin abgearbeitet werden, sofern die definierten Bedingungen zum Einschieben/Vorziehen erfüllt sind.

(d) Implementierung des Ressourcenmanagements

Die geschilderten Einschränkungen und Störungen, welche auf die Ressourcen einwirken können, wurden je beplanter Ressource im Modul „ResourceManagement“ zusammengefasst. Das Modul dient dem Ressourcenmanagement. Entsprechend wird auch in diesem Modul der im Anhang A58 (f) und (g) beschriebene Ressourcenmonitor instanziiert (siehe Abb. 184). Im Folgenden wird die Implementierung des Ressourcenmonitors nach J. Lippold beschrieben.

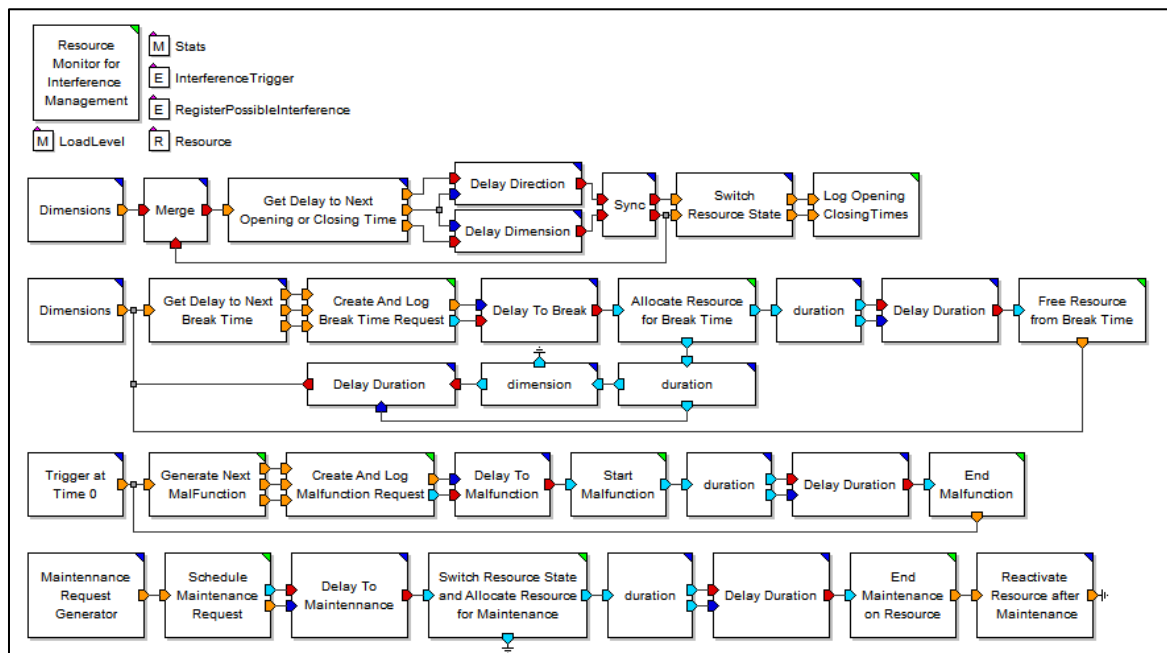


Abb. 184: Modul „ResourceManagement“ zur Verwaltung der Ressourcenverfügbarkeit

Das Modul beinhaltet im Aufbau die einzelnen Kontroll- und Verwaltungspfade, welche auf die jeweilige Ressource wirken sollen.

Der erste Pfad implementiert die Begrenzung durch Öffnungszeiten. Über das Primitiv „Dimension“ wird zum Start der Simulation je Kapazität der Ressource ein Partikel erzeugt, welcher auf dem Pfad kreisförmig läuft. Im Pfadverlauf werden aus der Datenbank mittels der Prozedur „NEXT_OPENING_CLOSING_TIME()“ die Parameterwerte für die Öffnungszeiten abgefragt. Der Partikel wird um die Zeit bis zum nächsten Ereignis verzögert und ändert anschließend den Status der jeweiligen Ressourcenkapazität (Dimension) auf aktiv resp. inaktiv. Zudem wird bei inaktivem

Status die Ressourcenkapazität entzogen resp. bei Änderung auf aktiv hoch gesetzt. Siehe [Lippold 2014, S. 95 f.] zu diesem Unterabschnitt).

Der zweite Pfad (von oben) in Abb. 184 zeigt die Implementierung der Pausenzeiten. Auch dieser Pfad wird über die Quelle „Dimension“ zum Simulationsstart mit einem Partikel je Ressourcenkapazität (Dimension) versorgt. Im weiteren Pfadverlauf wird über eine Datenbankabfrage die Zeit bis zur nächsten Pause abgefragt und der Partikel bis zu diesem Zeitpunkt verzögert. Anschließend erfolgt die Allokation der Ressource, mit einer konfigurierbaren Priorität über das Modul „Allocate Resource for Brake Time“. Bei erfolgreicher Allokation wird der Partikel um die Dauer der Pause verzögert und anschließend wieder freigegeben. Abschließend führt eine Rückkopplung auch hier zu einem erneuten Durchlauf des Pfades, um die nächste Pause im Modell zu vollziehen. Siehe [Lippold 2014, S. 96] zu diesem Unterabschnitt).

Der dritte Pfad (von oben) in Abb. 184 implementiert Störungen. Der Pfad lässt sich über einen Parameter aktivieren und deaktivieren. In der vorliegenden Arbeit ist dieser Pfad aktiv. Über einen Quellbaustein wird zum Simulationsstart ein Partikel erzeugt. Hierdurch wird im Modul „Generate Next MalFunction“ das nächste Störereignis mittels einer hinterlegten, parametrisierten Zufallsverteilung erzeugt und mittels einer weiteren parametrisierten Verteilung auf eine Ressourcendimension eingestellt. Die Zeit bis zum erzeugten Störereignis wird der Partikel auf dem Pfad verzögert. Anschließend wird im Modul „Start Malfunction“ der Status der Ressource auf „Störung“ gesetzt und die Kapazität entzogen. Alle in der Warteschlange der Ressource befindlichen Patienten werden damit abgewiesen. Mit dem Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ (siehe Anhang A58 (g)) allokierte Patienten werden den nicht-elektive Patienten zugeführt. Mit dem Modul „AllocateQREmergency“ allokierte Patienten (Notfälle) werden der nächsten freien Ressource zugeführt. Der Terminkalender wird überdies blockiert und Patientenfragen auf diese Ressource bis auf weiteres abgewiesen. Für den Störungspartikel wird nun die Dauer der Störung mittels hinterlegter Zufallsfunktion im Modul „duration“ ermittelt und der Partikel im Modul „Delay Duration“ verzögert. Anschließend endet die Störung und die Ressource wird wieder in den nun gültigen Zustand gesetzt (aktiv). Ist der Zustand aktiv, wird auch die Kapazität wieder erhöht. Nun wird der Partikel zurückgeführt und der Ablauf beginnt erneut. Siehe [Lippold 2014, S. 96 f.] zu diesem Unterabschnitt).

Der unterste Pfad in Abb. 184 implementiert Wartungen an den Ressourcen. Optional lässt sich dieser Pfad aktivieren oder deaktivieren. In der vorliegenden Arbeit ist dieser Pfad aktiv. Im Vergleich zu einer Störung sind Wartungen wiederkehrende, im Voraus bekannte Ereignisse und werden im Terminkalender der betreffenden Ressource vermerkt. Wartungen werden auf dem Pfad durch die Quelle „Maintenance Request

Generator“ ausgelöst. In je Ressource parametrisierten Abständen, werden Wartungsanfragen an den Terminkalender der betreffenden Ressource gestellt und mittels einer parametrisierten Zufallsverteilung eine Dauer generiert. Die Wartungspartikel werden anschließend im Modul „Delay To Maintenance“ um die Dauer verzögert und schließlich wie Patientenpartikel der entsprechenden Ressource zur Bearbeitung zugeführt. Während dieser Zeit wird der Status durch das Modul „Switch Resource State and Allocate Resource for Maintenance“ auf „Wartung“ umgestellt. Eine Rückkopplung, wie es diese bei den anderen Pfaden gab, ist hier nicht gegeben. Siehe [Lippold 2014, S. 97] zu diesem Unterabschnitt.

Das beschriebene Modul zum Ressourcenmanagement dokumentiert an definierten Stellen über Log-Bausteine den Systemstatus (Beginn, Ende etc.).

A58. Umsetzung der Patientenauswahl im Modell

(a) Entstehung von Notfällen

Notfälle sind zeitlich nicht determiniert und können damit jederzeit auftreten. Im Speziellen kann dies auch zur Zeit des Klinikaufenthaltes erfolgen, z.B. während der Liegezeit auf den kard. Stationen. Auch hier kann ein Patient plötzlich einen Herzinfarkt erleiden, was eine sofortige Diagnostik und ggf. einer Intervention im HKL bedarf. Das Entstehen von Notfällen im Zulauf von extern ist bereits durch Quellen im Modell umgesetzt. Sofern diese im Ablauf auftreten, wird der Notfall zum Zeitpunkt des Auftretens, über Entscheidungsknoten, z.B. der Baustein zum Aufstellen des Maßnahmenplans, in den Ablauf eingesteuert. Dies folgt den Vorgaben aus dem Realsystem hinsichtlich des zeitlichen und mengenmäßigen Umfangs, mittels der Patientenrohdaten.

(b) Entstehung nicht-elektiver Anforderungen

Nicht-elektive Maßnahmen-/Bettenanforderungen stellen ebenfalls Störgrößen für die Planung dar. Zugleich sind diese in ihrer späteren Umsetzung eine Grundauslastung für das System. Bereits als nicht-elektive Anforderungen wurden kurzfristige Bettenanforderungen bei einer Verlegung sowie kurzfristig erforderliche Maßnahmen in den Funktions-/OP-Bereichen angeführt, die keinen Notfall darstellen. Darüber hinaus kann es zu einer nicht-elektiven Anforderung kommen, wenn Patienten nicht zu ihrem Termin erscheinen (no-show). In diesem Fall verfällt der Termin, z.B. weil der Patient zum Termin nicht gefunden wurde oder der Patient zum Termin noch in einer anderen Untersuchung gebunden war. Da grundsätzlich davon ausgegangen wird, dass der Patient nicht verstorben ist und die Maßnahme dennoch bedarf, werden die betreffenden Anforderungen im Modell als nicht-elektiv für den weiteren Verlauf eingestuft. Umgesetzt wird dieser Sachverhalt im Modell durch eine Ablaufsteuerung (siehe hierzu Anhang A58 (f) zur Umsetzung). Von dieser Festlegung ausgenommen sind Patienten, die im Rahmen der stationären oder ambulanten Aufnahme nicht erschienen sind. Diese gehen nicht automatisch als nicht-elektive Patienten in das Modell ein. Die Implementierung sieht hierfür einen Verfall der Anforderung vor.

Im Speziellen entstehen nicht-elektive Anforderungen bei Patienten der kard. Ambulanz, wenn zum Termin weitere Maßnahmen (z.B. EKG, Echo) angeordnet werden und diese durch den ambulanten Charakter des Termins noch am selben Tag durchgeführt werden müssen. Nun könnte die Frage aufkommen, ob Patienten, welche von der kard. Ambulanz stationär aufgenommen werden, ebenfalls als nicht-elektiv einzustufen wären. Dies ist in der Tat der Fall. Jedoch, sofern der Patient keinen akut-medizinischen Fall darstellt, wird dieser im Realsystem der elektiven Planung zugeführt und im Zuge dessen regulär zur Aufnahme angemeldet. Im anderen Fall wird dieser notfallbedingt an die Notaufnahmestation überstellt und geht damit, sofern ein weiterer

Kontakt zu kard. Bereichen der Betrachtung erfolgt, als nicht-elektiv von der Notaufnahmestation in die Betrachtung ein. Die direkte nicht-elektive Einweisung aus der kard. Ambulanz ist somit, basierend auf den Abläufen im Realsystem, auch im Modell nicht gegeben.

(c) Auswahl- und Priorisierungsregeln in den Funktions-/OP-Bereichen

Wie bereits für Notfälle definiert, lässt sich die Auswahlproblematik durch eine regelbasierte Priorisierung, z.B. auf Basis der medizinischen Dringlichkeit, umsetzen. Daher wird dies im Folgenden weiter vertieft und die Regeln der Auswahl für elektive und nicht-elektive Patienten im Ist-Modell ergänzend aufgeführt. Es wird im Weiteren differenziert in die Auswahlmethodik auf den Stationen und in den Funktions-/OP-Bereichen. Zunächst werden im Folgenden die Auswahlregeln für die Funktions-/OP-Bereiche aufgestellt:

1. Als Notfall eingestufte Patienten sind allen anderen Patienten vorzuziehen. Sofern keine freie Ressource verfügbar ist, wird die laufende Behandlung/Untersuchung abgeschlossen und der Notfallpatient als nächstes der Ressourcenwarteschlange entnommen.
2. Elektive Patienten werden zum jeweiligen Termin in die entsprechende Ressourcenwarteschlange eingereiht und damit grundsätzlich den nicht-elektiven Patienten (ohne Termin) vorgezogen.
3. Elektive Patienten sind gleich priorisiert, unabhängig davon, von wo die Patienten entsendet wurden (Ambulanz/Station).
4. Nicht-elektive Patienten werden zum Termin (Ersatztermin) in die jeweilige Ressourcenwarteschlange eingereiht und sind damit den elektiven Patienten in der Ressourcenwarteschlange gleichgestellt.
5. Nicht-elektive Patienten (ohne Termin) können untereinander unterschiedlich priorisiert sein. Entsprechend dessen erfolgt die Zuleitung in die Ressourcenwarteschlange im Sinne des Einschlebens. Die Priorisierung innerhalb der nicht-elektiven Patienten ist im Anhang A58 (e) im Detail aufgeführt.
6. Sofern kein Patient zu priorisieren ist oder gleiche Prioritäten vorliegen, wird die FCFS-Regel angewendet und damit der Patient mit der längsten Wartezeit (Zeit in der Ressourcenwarteschlange) ausgewählt (gilt auch innerhalb der Notfälle).

Die Priorisierung zwischen Notfallpatienten, elektiven und nicht-elektiven Patienten erfolgt im Modell über die definierten Pfade, auf denen die Patientenpartikel laufen sowie einer entsprechenden Modellierung innerhalb der Pfade. Hier wird u.a. in Pfade für Notfallpatienten, wo die Partikel mit oberster Priorität versehen werden, und Pfade mit Standardpriorisierung für elektive Patienten und nicht-elektive Patienten

unterschieden. Elektive und nicht-elektive sind im Modell im Ablauf zunächst gleich priorisiert. Die höhere Priorisierung der elektiven Patienten gegenüber den nicht-elektiven ergibt sich aus der obigen Festlegung, dass elektive Patienten zum Termin in die Ressourcenwarteschlange gelangen und nicht-elektive (ohne Termin) nur bei freien Ressourcen, z.B. einer no-show oder bei einer ausreichend großen terminlichen Lücke der Ressourcenwarteschlange zugeführt werden. Sofern sich Stauungen in den Ressourcenwarteschlangen ergeben, z.B. bei Terminen, die länger dauern als die Planwerte vorsehen, ist die Ressource nicht frei und entsprechend wird bei einer no-show im Modell kein nicht-elektiver Patient eingeschoben. Die Auswahlentscheidung in Bezug auf elektive oder nicht-elektive Patienten findet somit der eigentlichen Ressourcenwarteschlange vorgelagert statt. Auch die Zuführung nicht-elektiver Patienten erfolgt vorgelagert über eine Warteliste und einer priorisierten Entnahme aus dieser (siehe Anhang A58 (e) zur Priorisierung). In der Ressourcenwarteschlange selber kann damit grundsätzlich nach dem first-come, first-served Prinzip gearbeitet werden. Es bedarf damit keiner WS-Manipulation. Lediglich Notfallpatienten werden mit der obersten Priorität direkt in die Ressourcenwarteschlange gegeben und damit entsprechend der Anforderung und Priorisierung der Patientenpartikel vorrangig entnommen und abgearbeitet. Auf Basis dieser Festlegungen können in der späteren Implementierung die Simulationsressourcen mit den integrierten Warteschlangen in der Standardausprägung, wie dies der MLDesigner in den Bibliotheken vorhält, genutzt werden. Die Abarbeitung innerhalb der Ressourcenwarteschlangen entspricht einer priorisierten FCFS-Warteschlange (FIFO).

Zum Zweck der Priorisierungen in den Funktions-/OP-Bereichen sind im Modell die in Tab. 123 aufgeführten Parameter hinterlegt.

Parameterwert	Beschreibung
ECHO_AMBULANZ_Priority	Priorisierung der Patienten von den kard. Ambulanz in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO
ECHO_EXTERN_Priority	Priorisierung der Patienten von extern in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO (ECHO_1, ECHO_2, ECHO_3)
ECHO_KARDSTAT_Priority	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO
EKG_AMBULANZ_Priority	Priorisierung der Patienten von den kard. Ambulanz in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im EKG
EKG_EXTERN_Priority	Priorisierung der Patienten von extern in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO (EKGO_1, EKGO_2, EKGO_3)
EKG_KARDSTAT_Priority	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im EKG
HKL_EXTERN_Emergency_Priority	Priorisierung der Notfallpatienten von den Quellen HKL_1 bis HKL_3 in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_EXTERN_Priority	Priorisierung der Patienten von den Quellen HKL_1 bis HKL_3 in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_KARDSTAT_Emergency_Priority	Priorisierung der Notfallpatienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_KARDSTAT_Priority	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL

Tab. 123: Parameter zur Priorisierung innerhalb der Funktions-/OP-Bereiche

(d) Auswahl- und Priorisierungsregeln bei den betrachteten Bettenstationen

Grundsätzlich werden elektive Patienten zum Termin den nicht-elektiven Patienten vorgezogen. Dies trifft auf alle Funktions-/OP-Bereiche zu, da elektive Patienten terminlich geplant wurden und keine medizinische Indikation vorliegt, welche die nicht-elektiven Patienten erlauben würde, die elektiven Anforderungen vom Termin zu verdrängen. Ausnahmen stellen die betrachteten kard. Stationen dar. Im Realsystem gibt es keine dedizierte Bettenplanung, welche Betten entsprechend der geplanten Aufnahmen im Vorfeld reserviert. Auch gibt es keine Terminvergabe für die Bettenbelegung, da die Zeitpunkte unbestimmt sind, zu denen ein Bett für den jeweiligen Patienten verfügbar ist. Lediglich der Aufnahmezeitpunkt (innerhalb des Zeitfensters) wird terminiert, welcher aber nur den Beginn des Aufnahmeprozesses darstellt. Natürlich ist es anzustreben, die Betten möglichst frühzeitig verfügbar zu haben, in Entsprechung der Anzahl elektiver Aufnahmen und der zu erwartenden nicht-elektiven Patienten. Diese Aufgabe kommt dem späteren Optimierungsalgorithmus zu. Um dahin zu gelangen, wird im Ist-Modell weiter von der Unbestimmtheit der Bettenverfügbarkeit ausgegangen, wie dies im Realsystem vorgefunden wurde. Bedingt dadurch, dass nun einem elektiven Patienten kein Bett in Bezug zu einer vorbestimmten Uhrzeit direkt zugeordnet werden kann, geht das wesentliche Auswahlkriterium zwischen elektiven und nicht-elektiven Patienten im Bereich der kard. Stationen verloren. Aus Sicht des Ist-Modells werden die nicht-elektiven Patienten entsprechend dem vorgefundenen mengenmäßigem Umfang und in ihrer zeitlichen Verteilung als Störgrößen, resp. Grundauslastung, in das Modell eingesteuert, um daran ausgerichtet im Späteren eine optimale Planung der elektiven Patienten zu ermöglichen. Zugleich

kann damit z.B. der Zufluss von der Notaufnahme im Modell etabliert werden und damit der Notaufnahme für die Zukunft eine verlässliche Planungsgröße, hinsichtlich in der Planung berücksichtigter Verlegungsmöglichkeiten, bereitstellen. Um diesem Ansatz im Ist-Modell nachzugehen, wird als Auswahlregel definiert, dass nicht-elektive Verlegungen den elektiven Patienten in der Auswahl vorgezogen werden. In der Konsequenz spiegelt sich die Güte der Planung direkt in der Wartezeit der elektiven Patienten auf ein Bett wider und der Optimierungsalgorithmus hat im Späteren die Möglichkeit damit zu arbeiten. Die Priorisierung wird entsprechend in der Modellierung der Pfade umgesetzt. Es ist nicht zu befürchten, dass die nicht-elektiven Verlegungen im Modell Überhand nehmen und die elektiven verdrängen, da bei den eingesteuerten nicht-elektiven Anforderungen von einem im Realsystem gegebenem Umfang ausgegangen wird. Dieser unterliegt nur den im Realsystem gegeben stochastischen Schwankungen. Der Blick auf das spätere Optimierungsverhalten ist hier erforderlich, da die gewählte Priorisierung durchaus das Modellverhalten beeinflussen kann. Daher wird dies bereits im Ist-Modell umgesetzt, um bei der Modellvalidierung und der späteren Bemessung der Modellgenauigkeit mit beachtet zu werden. Spätere Optimierungsergebnisse sind damit gegenüber dem Ist-Modell eindeutig und unterliegen nicht der Ungenauigkeit einer im Nachhinein durchgeführten Modellanpassung, resp. Änderung dieser Auswahlregel.

(e) Priorisierung innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten

Wie bereits ausgeführt wurde, können nicht-elektive Patienten unterschiedlichen Ursprung haben. Im Folgenden wird die Priorisierung innerhalb dieser Gruppe für die kard. Stationen und für die betrachteten Funktions-/OP-Bereiche differenziert aufgeführt sowie auf die Umsetzung im Ist-Modell eingegangen. Die Schilderungen aus dem Realsystem entstammen persönlichen Gesprächen mit den verantwortlichen Ärzten und den Controllingstellen der Referenzeinrichtungen.

Bei der Bettenvergabe auf den kard. Stationen ist ein Patient von der Notaufnahme höher zu priorisieren, als ein Patient von den sonstigen Stationen. Dies wurde damit begründet, dass die Ressource Bett aus Sicht der klinischen Einrichtung auf Basis der zugrunde liegenden Kostenstruktur in der Notaufnahme als wichtiger angesehen wird und damit schneller freigegeben werden soll. Die Intensivstation wird als noch gewichtiger und die HKL-Behandlungsplätze am wichtigsten eingestuft. Dem folgend, wurde die nachfolgende Priorisierung von nicht-elektiven Patienten, im Zulauf auf die kard. Normalstation, aufgestellt und im Modell über Parameter hinterlegt:

- (4) aus dem HKL kommend
- (3) von der Intensivstation kommend
- (2) von der Notaufnahme kommend
- (2) von der Überwachungsstation kommend (nur in Einrichtung 2)
- (1) von sonst. Stationen kommend
- (0) prästationäre oder ambulante Abklärung im Voraus erfolgt

Hierbei gilt, umso höher der Wert, umso höher ist die Priorität innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten. Im Rahmen der aufgestellten Priorisierung wurden Patienten berücksichtigt, welche zuvor im prästationären oder ambulanten Durchlauf die Abklärungen (Voruntersuchungen) durchlaufen haben. Da diese ab dem Folgetag für eine stationäre Aufnahme vorgesehen sind und ggf. eine HKL-Maßnahme am Tag der Aufnahme geplant ist, wird entsprechend zeitnah ein Bett am Aufnahmetag erforderlich¹³⁸. Dieser Sachverhalt kommt im Ist-Modell für die Einrichtung 3 nicht zum Tragen. Da dies aber in Einrichtung 1 praktiziert wird und im Späteren auch für Einrichtung 3 als Optimierungsansatz betrachtet werden soll, wird dies hier modellseitig mitberücksichtigt. Ferner wird für Einrichtung 2 die Überwachungsstation als Quelle nicht-elektiver Anforderungen geführt. Nur Einrichtung 2 verfügte über eine solche Zwischenstation (Intermediate Care).

Wichtig ist in dem Zusammenhang noch anzumerken, dass ein Patient auf den Stationen nicht sein Bett verliert, wenn dieser z.B. zu einer Untersuchung in das HKL verbracht wird. Während dieser Zeit bleiben die Betten auch im Ist-Modell belegt, entsprechend den Gegebenheiten im Realsystem (siehe Unterabschnitt 6.3.2). Anders ist dies bei einer Verlegung, z.B. auf eine Intensiv-/Überwachungsstation. Hierbei wird die Bettenressource auf der Normalstation freigegeben. Im Rücklauf werden die Patienten im Modell wieder entsprechend der obigen Festlegungen als nicht-elektive Anforderungen eingestuft und priorisiert. Auch diese Festlegung entspricht den Gegebenheiten im Realsystem.

Im Folgenden findet sich eine Übersicht der modellseitig für die kard. Stationen hinterlegten Parameter, zum Zweck der Priorisierung bei der Patientenauswahl (siehe Tab. 124):

¹³⁸ Zur Erinnerung: nicht-elektive Patienten werden auf den kard. Stationen elektiven Anforderungen vorgezogen. Das heißt, auch eine neutrale (o) Priorisierung innerhalb der nicht-elektiven Anforderungen wiegt im Modell mehr als eine elektive Anforderung (siehe hierzu Anhang A58 (d)). Derartige Wiederaufnahmen erfolgen wie bereits ausgeführt wurde grundsätzlich elektiv. Darüber hinaus wird modellseitig ein Parameter hinterlegt ab welchem Zeitpunkt im Voraus der Aufnahme für einen solchen Patienten ein Bett reserviert wird.

Parameterwert	Beschreibung
ITS_KARDSTAT_Priority	Priorisierung der Bettenanfragen von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange auf ITS
KARDSTAT_BETT_HKL_1_Priority	Priorität der Zugänge über Quelle HKL_1 bezogen auf die Bettenallokation der kard. Station
KARDSTAT_BETT_Sonstige_Priority	Priorität der Zugänge von sonstigen Stationen bei der Aufnahme bezogen auf die Bettenallokation der kard. Station
KARDSTAT_BETT_ZNA_Priority	Priorität der Zugänge von ZNA bei der Aufnahme bezogen auf die Bettenallokation der kard. Station
KARDSTAT_RVERL_ITS_Priority	Priorisierung der Bettenanfragen bei einer Rückverlegung von ITS in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange der kard. Station
KARDSTAT_RVERL_SONST_Priority	Priorisierung der Bettenanfragen bei einer Rückverlegung von sonst. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange der kard. Station
KARDSTAT_WAUFP_Ward_Prebook_Priority	Priorität der prästationären Zugänge bei der Wiederaufnahme bezogen auf die Priorität bei der Bettenallokation
KARDSTAT_WAUFP_Ward_Priority	Priorität bei der Bettenallokation im Rahmen der Reservierung bei Wiederaufnahme der Patienten nach prästationärer/ambulanter Abklärung

Tab. 124: Parameter zur Priorisierung der Bettenanforderungen

Sofern es sich um eine nicht-elektive Anforderung in den Funktions-/OP-Bereichen handelt, ist die Priorisierung innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten neu zu betrachten. Im Nachfolgenden ist nun die Aufstellung zur Priorisierung der nicht-elektiven Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen aufgeführt:

- (2) von der kard. Ambulanz / von der Notaufnahme (ambulant) kommend
- (1) vom Vortag ausstehende elektive Patienten
- (0) von den kard. Normalstationen kommend
- (0) von den sonst. Bereichen / extern kommend

Auch hier entsprechen die angegebenen Werte mit zunehmendem Wert einer zunehmenden Priorität. Die Überlegungen dahinter sind: Im Bereich der kard. Ambulanz müssen alle am Tag auftretenden (ambulant!) Patienten am selben Tag noch in den betreffenden, nachfolgenden Funktionsbereichen untersucht werden. Es ist also vorstellbar, dass Patientenpartikel aus der kard. Ambulanz im Modell in der Warteschlange einer Ressource der Funktionsbereiche hängen bleiben und erst am nächsten Tag abgearbeitet werden. Um diesem vorzubeugen, ist zu überlegen, die aus der kard. Ambulanz kommenden nicht-elektiven Partikel für die nachfolgenden Funktionsbereiche höher zu priorisieren. Dieser Überlegung folgend sind auch nicht-elektive Patienten aus der Notaufnahme innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven in den Funktionsbereichen höher zu priorisieren. Auch bei diesen (stabilen) Patienten, welche direkt in die Funktionsbereiche gesendet werden (keine Notfälle!), handelt es sich um ambulante Fälle, welche auf der Basis noch am selbigen Tag die angeforderte Maßnahme erhalten sollen. Einen wichtigen Punkt stellen noch die elektiven Patienten

dar, welche am Tag des Termins nicht bearbeitet werden konnten, z.B. wegen einer Vielzahl von Notfällen oder einer Störung. Damit diese nicht über Nacht in der Warteschlange verbleiben und auch die Planung am Folgetag negativ beeinflussen, werden diese mit dem Ende der Öffnungszeiten der Ressourcenwarteschlange entnommen und als nicht-elektive Anforderungen eingestellt. Hierbei erhalten diese im Modell eine entsprechend hohe Priorisierung, um möglichst am Folgetag zeitnah abgearbeitet zu werden.

Die konkrete Umsetzung dessen im Modell erfolgt für Patientenpartikel von sonstigen Bereichen und von der Notaufnahme durch eine vorgeschaltete Anpassung der Priorität auf dem modellierten Pfad, entsprechend der soeben getroffenen Festlegungen. In gleicher Weise erfolgt dies für Anforderungen innerhalb der bereits im Ablauf befindlichen Partikel, die sich zur Laufzeit erster als nicht-elektiv ergeben, z.B. im HKL behandelte Patient aus der Notaufnahme, mit der nun nicht-elektiven Anforderung der Aufnahme auf eine kard. Station. Auch hier wird die definierte Priorität zunächst modellseitig auf dem Pfad eingestellt, bevor der Partikel in den Auswahlprozess in Bezug auf die Bettenressource kommt. Damit ist gewährleistet, dass nicht-elektive Anforderungen, ob neu eingestellt oder sich im Simulationsverlauf erst ergebend, entsprechend der festgelegten Priorisierung eingestuft sind. Es sei noch angemerkt, dass diese Priorisierung ausschließlich innerhalb der Gruppe von nicht-elektiven Patienten Anwendung findet. Es bleibt bei der zuvor getroffenen Festlegung, dass elektive Patienten in den Funktions-/OP-Bereichen zum Termin grundsätzlich den nicht-elektiven Patienten vorzuziehen sind¹³⁹.

Für alle Funktions-/OP-Bereiche wird zunächst die obige Priorisierung im Modell hinterlegt. Je nach Bereich können aber die Zuflüsse variieren. Zum Beispiel gibt es im HKL keine nicht-elektiven Fälle aus der kard. Ambulanz. Auch, wenn diese nicht vorliegen, werden sie zum Zweck einer einheitlichen Priorisierung in allen betrachteten Funktions-/OP-Bereichen hinterlegt.

Im Folgenden ist eine Übersicht der im Modell zum Zweck der Priorisierung nicht-elektiver Anforderungen hinterlegten Parameter (siehe Tab. 125):

¹³⁹ Eine Ausnahme stellten die nicht-elektiven Patienten zum Ersatztermin dar. Diese laufen zum Zeitpunkt des Ersatztermins als elektive Anforderung und sind damit den anderen elektiven Anforderungen in der Priorisierung gleichgestellt (siehe Anhang A55 (d)).

Parameterwert	Beschreibung
ECHO_AMBULANZ_InterferencePriority	Priorisierung der Patienten aus der kard. Ambulanz in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
ECHO_EXTERN_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
ECHO_KARDSTAT_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
EKG_AMBULANZ_InterferencePriority	Priorisierung der Patienten aus der kard. Ambulanz in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
EKG_EXTERN_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
EKG_KARDSTAT_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
HKL_EXTERN_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im HKL
HKL_KARDSTAT_InterferencePriority	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im HKL
InterferencePriority_Flush	Priorisierung für Patienten die geflushet wurden bei Störung / auf den nächsten Tag verschoben wurden bei Ende Öffnungszeit

Tab. 125: Parameter zur Priorisierung in den Funktions-/OP-Bereichen innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Patienten

(f) Umsetzung der Patientenauswahl für elektive und nicht-elektive Patienten im Modell

Elektive und nicht-elektive Patienten müssen im Modell den einzelnen Ressourcenwarteschlange zugeführt werden. Der erste Teil des Auswahlprozesses ist die Bestimmung über die Reihenfolge des Einstellens in die Ressourcenwarteschlange. Dies bedeutet konkret die Verzögerung bis zum Termin bei elektiven Patienten resp. die Verzögerung bis zum Vorziehen oder bis zum elektiven (Ersatz-)Termin bei nicht-elektiven Anforderungen. Den zweiten Teil stellt die Auswahl aus der Ressourcenwarteschlange dar. Im Folgenden wird das konkrete Gesamtkonzept (Spezifikation) der Patientenauswahl für die erfolgte Implementierung im Modell beschrieben.

Für die Koordinierung und Verzögerung der elektiven und nicht-elektiven Partikel sind entsprechende Module konzipiert und werden den jeweiligen Engpassstellen im Modell vorangestellt (siehe Abb. 185 orange eingefärbte Kästen, siehe Anhang A58 (h) zur Implementierung). Für elektive Partikel wurde das Modul hier „Verzögere bis Termin (elektiv)“ benannt. Für nicht-elektive Partikel heißt das angesprochene Modul im Weiteren „Verzögere bis Termin (nicht-elektiv)“. Notfälle sind bei dieser Betrachtung außen vor, da diese mit ihrem Auftreten direkt in die Ressourcenwarteschlange eingesteuert werden, ohne Termin resp. terminbezogener Verzögerung. Ebenso werden Verlegungen auf die kard. Station/Überwachungsstation mangels Terminen kein Verzögerungsmodul vorangestellt.

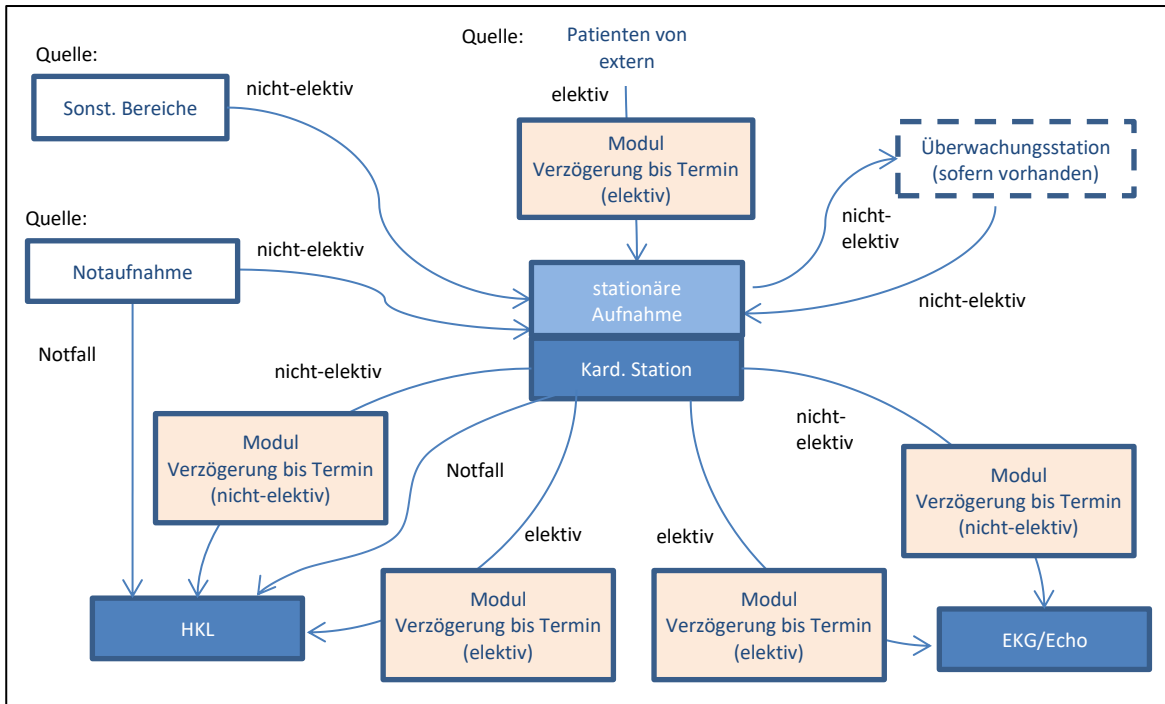


Abb. 185: Skizze zur Umsetzung Patientenauswahl im Modell am Beispiel der kard. Station

Die Spezifikation für die angesprochenen Module und deren Zusammenspiel für elektive und nicht-elektive Patienten ist schematisch in Bezug auf den Funktionsbereich Echo in Abb. 186 dargestellt.

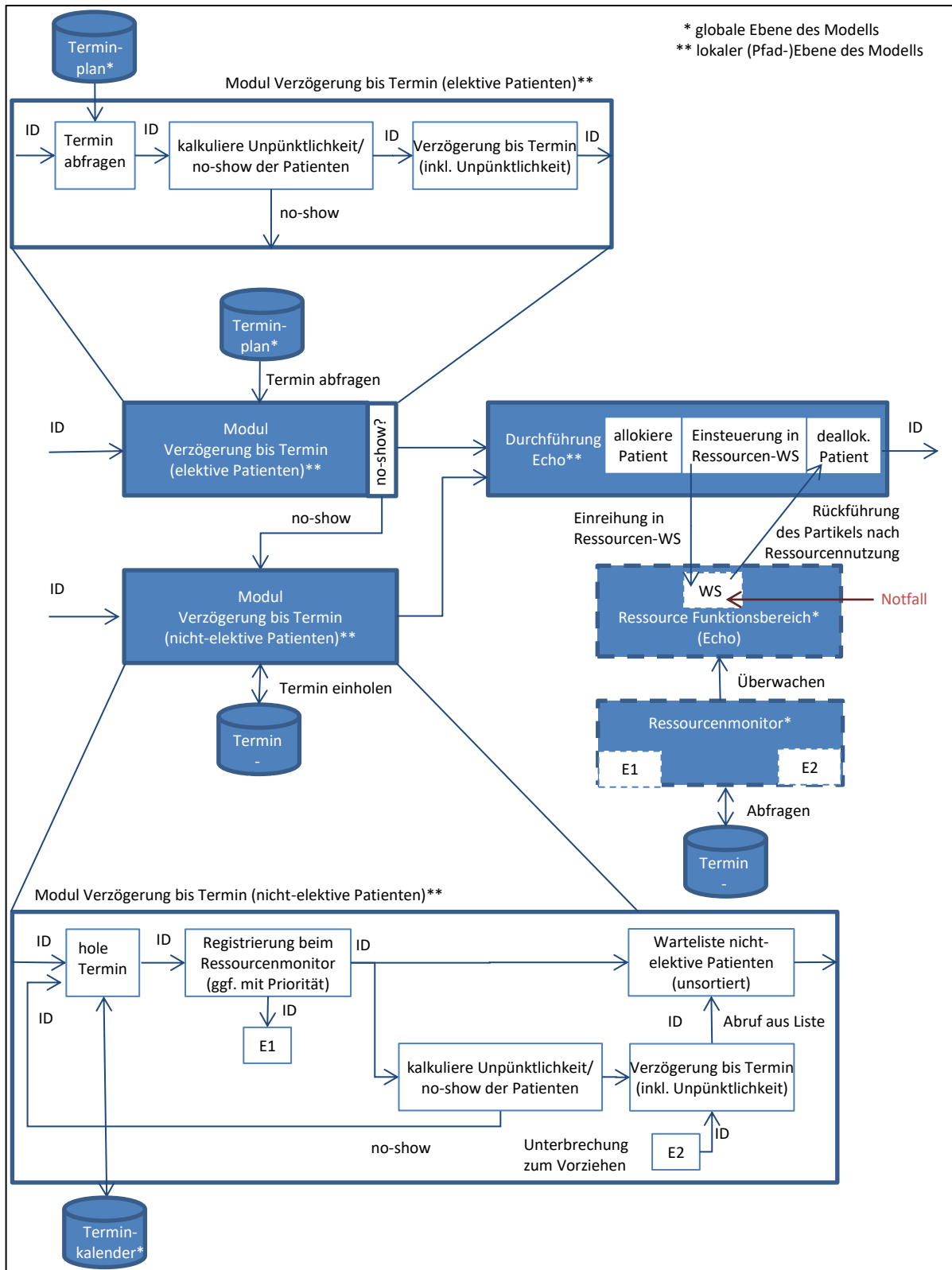


Abb. 186: Module zur Auswahl nicht-elektiver Patienten im Funktionsbereich Echo

Je nachdem, ob es sich um elektive oder nicht-elektiven Patientenpartikel handelt, werden diese in den entsprechenden Modulen bis zum Termin resp. Ersatztermin

verzögert. Zu Erinnerung: es handelt sich im Modell nur um Partikel, welche über ein Identifizierungsmerkmal (ID) einem Patienten zugeordnet werden können. Der Patient selber muss für die spätere Maßnahme noch als Ressource allokiert werden (siehe Anhang A60 zur Umsetzung der Patientenressource). Sofern der Patient zum Zeitpunkt des Termins nicht verfügbar ist, führt dies (unter Berücksichtigung einer definierten Toleranz) zu einem no-show Ereignis. Unpünktlichkeiten und no-show Ereignisse, welche sich nicht direkt aus der Verfügbarkeit der Patientenressource herleiten, werden in den Modulen Verzögere bis Termin, entsprechend den hinterlegten Parametervorgaben (siehe Abschnitt 9.11 (g)), berücksichtigt. Die Verzögerung verlängert oder verkürzt sich entsprechend und der Partikel wird im Anschluss an die Verzögerung nicht der Ressourcenwarteschlange zugeführt (no-show). Den bisherigen Festlegungen entsprechend, wird der Partikel in dem no-show Fall in das Modul „Verzögerung bis Termin (nicht-elektive Patienten)“ geleitet, wo dieser auf alle anderen nicht-elektiven Patienten-Partikel trifft. Anderenfalls wird der elektive Partikel (ggf. zu früh oder zu spät in Bezug auf den Termin) in das Modul „Durchführung Echo“ geleitet, wo die Patientenressource allokiert wird. Hier erfolgt entsprechend der angesetzten Maßnahme eine Zuweisung auf die erforderliche Ressource, z.B. für ein normales Echo oder ein Schluckecho, welches im Modell und in der Realität unterschiedliche Geräte-Ressourcen darstellen. Sofern die jeweilige Ressource dann verfügbar ist, wird der Patientenpartikel um die entsprechende Bearbeitungszeit verzögert, die Ressource wieder freigegeben und der Partikel auf den jeweiligen lokalen Pfad zurückgeführt. Auf Basis der Verwendung von Ressourcenwarteschlangen in ihrer Basisfunktionalität, wie sie der MLDesigner zur Verfügung stellt, kann die dezentrale Ressourcennutzung aus den verschiedenen Ablaufpfaden aufrechterhalten werden. Der Partikel wird damit automatisch von der Ressourcenwarteschlange an den Pfad zurückgegeben, von wo aus dieser gekommen ist. Hier erfolgt abschließend noch die Freigabe der Patientenressource. Für den elektiven Patienten wäre damit die hier beispielhafte Echo-Anforderung im Modell durchgeführt.

In Bezug auf die nicht-elektiven Patienten gestaltet sich die Umsetzung komplizierter. Auf der Ebene der einzelnen Behandlungspfade (lokal) wird im Modell zunächst ein Termin angefragt, damit der Partikel spätestens zu diesem abgearbeitet wird. Anschließend wird der Patientenpartikel mit seiner ID und ggf. der hinterlegten Priorisierung bei dem Überwachungsmodul der Ressource (Ressourcenmonitor) über ein Ereignis (E1) registriert. Jede Instanz des Moduls verfügt über eine Warteliste¹⁴⁰ (WL) für die nicht-elektiven Patientenpartikel. Nachdem die Partikel registriert sind, werden diese an die Warteliste übergeben. Damit sind die Wartelisten der nicht-elektiven

¹⁴⁰ Hierbei handelt es sich um eine von der Ressource unabhängige Warteschlange. Zum Zweck der Abgrenzung wird die Warteschlange der nicht-elektiven Patienten hier als Warteliste bezeichnet.

Patientenpartikel aus Modellsicht dezentral (je Pfad vorhanden). Parallel zum Verweilen in der Warteliste, erfolgt eine Verzögerung bis zum zuvor vereinbarten Termin (Ersatztermin), inkl. eventueller Unpünktlichkeit. Im Anschluss an die Verzögerung werden die Partikel aus der Warteliste abgerufen und an die Ressourcenwarteschlange übergeben. Sofern nicht-elektive Patienten vorgezogen werden können, triggert das Modul Ressourcenmonitor über ein Ereignis (E2) alle zugehörigen Verzögerungsmodule mit der ID des unter Berücksichtigung der Reihenfolge und der festgelegten Prioritäten als nächstes einzuschubenden nicht-elektiven Partikels (gemäß der hinterlegten Priorisierung). Dort, wo der entsprechende Patientenpartikel vorliegt, führt das Ereignis zu dem Abbruch der Verzögerung und initiiert damit den Abruf aus der Warteliste. Der Partikel wird an das Modul „Durchführung Echo“ übergeben, wo dann, wie auch bei den elektiven-Partikeln, die Allokation des Patienten und die Einsteuerung in die Ressourcenwarteschlange erfolgt. Der Partikel wird auch in diesem Fall nach Abarbeitung in der Ressource wieder auf den jeweiligen Pfad zurückgegeben und die Patientenressource dealloziert. Wurde zum Zeitpunkt, zu dem das Ereignis des Ressourcenmonitors zum Abruf eintrifft, der betreffende Partikel bereits abgearbeitet, wird bei dem Triggern kein entsprechender Partikel aus der Warteliste entlassen. Der Ressourcenmonitor registriert die nach wie vor leere Ressource und triggert den nächsten nicht-elektiven Partikel. Im Fall des vorgezogenen Patientenpartikels wird abschließend der eingestellte Termin storniert, um nicht damit ein no-show Ereignis zu provozieren.

Das Modul „Durchführung“ für die jeweiligen Funktions-/OP-Bereiche erhält eine weitere, bisher noch nicht angesprochene, Funktion. Es stellt eine gleichmäßige Auslastung der Ressourcen sicher. Zum Beispiel gibt es im Echo zwei Geräte, nur eines kann für ein zeitaufwendigeres Schluckecho (TEE) eingesetzt werden, beide Geräte können aber für ein normales Echo (TTE) genutzt werden. Entsprechend der angeforderten Maßnahme erfolgt die Zuweisung zu der Warteschlange der jeweils erforderlichen Ressource. Sofern die Ressource aber frei wählbar ist, erfolgt die Zuweisung, wie im Realsystem entsprechend der jeweiligen Auslastung. Hierzu wird ein Pegel als Modul umgesetzt, welcher in Form eines Zählers die eingestellten Anforderungen gegenüberstellt und eine Entscheidungsgrundlage für die Zuordnung zu einer Warteschlange ermöglicht. Hier ein kleines Beispiel für den Bereich Echo:

Beispiel:

Untersuchung Typ1 = 15 Minuten auf Ressource 1 oder 2

Untersuchung Typ2 = 30 Minuten auf Ressource 2

Der Pegel startet mit 0, sofern Ressource 1 beansprucht wird, werden Zählwerte hinzugerechnet, sofern Ressource 2 beansprucht wird, werden Zählwerte abgezogen. Ein

Zählwert entspricht 15 Minuten Zeitaufwand. Wenn der Zählwert kleiner 0 ist, wird bei einer freien Wahl der Partikel der Ressourcenwarteschlange 1 zugeführt, anderenfalls der Ressourcenwarteschlange 2.

Beispielverlauf des Pegels:

Start:	Pegel = 0	
Anforderung Typ 2 (30 Minuten)	Pegel = -2	(auf Ressource 2 = -2)
Anforderung Typ 1 (15 Minuten)	Pegel = -1	(auf Ressource 1 = +1)
Anforderung Typ 1 (15 Minuten)	Pegel = 0	(auf Ressource 1 = +1)
Anforderung Typ 1 (15 Minuten)	Pegel = +1	(auf Ressource 1 = +1)
Anforderung Typ 2 (30 Minuten)	Pegel = -1	(auf Ressource 2 = -2)

Sofern der Pegel bei 0 steht und eine frei zuzuordnende Maßnahme ansteht, wird im Echo tendenziell die Ressource gewählt, welche den geringeren Engpass darstellt – für das Echo ist dies im Modell die Ressource 1 – das Gerät, welches nur für das weniger zeitaufwendigere normale Echo genutzt werden kann. Die Festlegung wird bereichsbezogen im Modell hinterlegt.

Über dies hinaus obliegt dem Pegel die Funktion zu überprüfen, ob eine Ressource, ggf. durch eine Störung oder eine Wartung, beeinflusst ist. Entsprechend dessen werden auflaufende Wartungspartikel, wie Maßnahmenanforderungen, vom Pegel behandelt und auf die betreffende Ressource¹⁴¹ eingelastet. Hieraus ergibt sich aus dem obigen Beispiel eine Belegung der Ressource auch auf Seiten des Pegels und weitere Anforderungen werden nun tendenziell auf den verbleibenden Ressourcen eingelastet, sofern möglich. Störungen haben keinen solchen Partikel, dennoch muss der Pegel in diesem Fall verhindern, dass weitere Anforderungen auf der gestörten Ressource eingelastet werden. Zu diesem Zweck prüft der Pegel vor der Einlastung das bei einer Störung gesetzte Kennzeichen der betreffenden Ressource (siehe hierzu Anhang A57 (c)).

Letztlich ist bei dem Pegel noch darauf zu achten, dass bei deterministischer Abarbeitung und gleichzeitiger Verfügbarkeit von zwei oder mehr Ressourcen immer die erste Ressource seitens des MLDesigners belegt wird. Dies kann unter späteren Auslastungsbewertungen zu Abweichungen führen. Um diesem vorzubeugen, wurde im Pegel eine Permutation „Fischer-Yates-Shuffle“ hinterlegt. Dies ist im Besonderen auch für das HKL und die Stationszuweisung bei späteren Bettenanforderungen von Belang. Auch hier sollte eine möglichst gleichmäßige Verteilung erfolgen, auch unter dem Gesichtspunkt der höher priorisierten, nicht-elektiven Anforderungen z.B. von der Notaufnahme.

¹⁴¹ Wie eine Maßnahme, welche eine spezielle Ressource bedarf.

(g) Regeln zum Vorziehen und Einschieben von Patienten in die bestehende Planung

In den bisherigen Ausführungen wurde das Einschieben nicht-elektiver Patienten angesprochen sowie das Vorziehen elektiver Patienten, z.B. bei zu frühem Auftreten und freier Ressource. Beide Sachverhalte ließen sich im Realsystem beobachten und werden im Ist-Modell umgesetzt. Im Folgenden wird eine Regelbasis aufgestellt, um diese modellseitig abzubilden.

Die Planwerte¹⁴² für Termine sind im Realsystem Schätzwerte auf der Basis von Erfahrungswerten. Auf Grund stochastischer Einflüsse können längere und kürzere Laufzeiten von Maßnahmen auftreten. In Bezug auf den Ablauf in den Funktions-/OP-Bereichen führen länger als planungsseitig berücksichtigt laufende Maßnahmen ursächlich zu Terminverschiebungen und Wartezeiten bei den Patienten. Kürzere Laufzeiten führen hingegen potentiell zu Leerständen bei den Ressourcen, da nachfolgende elektive Patienten i.d.R. erst zum Termin oder kurz zuvor auftreten. Auf der Basis wird im Realsystem die Möglichkeit praktiziert, elektive Patienten unter dem Tag vorzuziehen, resp. nicht-elektive Patienten einzuschieben. Dies ist jedoch beschränkt darin, dass eventuelle Vorbereitungen am Patienten, wie diese z.B. für den Eingriff im HKL erforderlich sind, bereits umgesetzt wurden. Im Modell werden elektive Patienten nur dann vorgezogen, wenn sich diese, z.B. durch ein zu frühes Auftreten, bereits in der Ressourcenwarteschlange befinden. Zur Umsetzung dessen bedarf es keiner weiteren Anpassungen im Ist-Modell. Das implementierte Verkürzen der Verzögerung bis zum Termin erfüllt diesen Zweck.

Nicht-elektive Patienten werden eingeschoben, wenn elektive Patienten ausfallen (no-show), oder sich im Ablauf ergebende Lücken ausreichend groß sind und somit elektive Patienten absehbar nicht verschoben werden müssen. Sprich, der jeweilige Planwert die verfügbare Zeitspanne bis zum nächsten elektiven Termin nicht wesentlich übersteigt. Die Aufgabe, diese Sachverhalte zu überprüfen und ggf. nicht-elektive Patienten in die Ressourcenwarteschlange einzusteuern, kommt dem im Modell implementierten Ressourcenmonitor zu. Wie die einzelnen Prüfschritte im angesprochenen Modul ablaufen, wird nun erläutert.

Es wurde bereits ausgeführt, dass zu spät eintreffende Patienten zu einem no-show Ereignis führen können. Konkret heißt dies, dass bei einer freien Ressource nach einer definierten Zeit, nach dem Beginn eines Terminslots geprüft wird, ob die Ressource belegt ist¹⁴³. Erweist sich dies als negativ, weil ein no-show Ereignis eingetreten ist oder

¹⁴² Siehe Unterabschnitt 6.3.8 zu den Planwerten.

¹⁴³ Kleinere Verzögerungen sind bei Patienten im Modell toleriert. Siehe Abschnitt 9.11 (g) zu den Parameterwerten

keine elektiven Patienten mehr geplant wurden, wird nun, im Modell durch den Ressourcenmonitor initiiert, ein nicht-elektiver Patientenpartikel der Ressourcenwarteschlange zugeführt. Ebenso erfolgt eine Prüfung der Ressource nach der Beendigung einer jeden Maßnahme, um auch den Fall abzudecken, dass eine Maßnahme eher beendet wurde als der Planwert vorsieht. Sofern in diesem Fall die Ressource frei ist, also kein Rückstand bei anderen elektiven Patienten besteht, wird auch in diesem Fall ein nicht-elektiver Patientenpartikel der Ressourcenwarteschlange zugeführt.

Die anstehende Maßnahme bei dem eingeschobenen nicht-elektiven Patienten kann aber eine komplett andere sein, mit Planwerten, welche den vorliegenden nicht genutzten Terminslot im zeitlichen Umfang übersteigen würden. Daher ist grundsätzlich der Planwert der vorzuziehenden Maßnahme zu berücksichtigen. Dieser muss vom zeitlichen Umfang in den vom Modell abzusehenden, verfügbaren Zeitrahmen bis zum nächsten Termin passen. Unter diesen Gesichtspunkten wird aus der Warteliste der nicht-elektiven Patienten der Partikel ausgewählt, welcher in der Reihenfolge unter Berücksichtigung der Priorisierungen als erster in das verfügbare Zeitfenster passt und damit den nachfolgenden Termin voraussichtlich nicht verschiebt. Hierzu wird der Parameter „AccuracyOffFitForInterference“ im Modell je Bereich (EKG, ECHO, HKL) eingesetzt, welcher den zu erreichenden Prozentsatz der Abdeckung des Planwertes festlegt, z.B. 95 %. Der nachfolgende Anwendungsfall mit beispielhaften Werten und einer Abdeckung des Planwertes von 100 % verdeutlicht den Ablauf.

Beispiel:

60 Minuten = verfügbarer Zeitrahmen auf Grund einer no-show und freier Ressource

Patient 1: Priorität = (1); Planwert der angesetzten Maßnahme: 10 Minuten

Patient 2: Priorität = (0); Planwert der angesetzten Maßnahme: 50 Minuten

Patient 3: Priorität = (1); Planwert der angesetzten Maßnahme: 60 Minuten

In Klammern sind die Priorisierungen innerhalb der Gruppe der nicht-elektiven Anforderungen aufgeführt. Die Reihenfolge der Warteliste wäre damit anhand der Patientennummern: 1,3,2. Patient 1 ist Patient 3 auf Basis der geltenden FCFS-Regel bei gleichen Prioritäten vorzuziehen.

Das Auswahlverfahren würde den Patient 1 mit einem Planwert von 10 Minuten $<$ 60 Minuten wählen, da dieser in der Warteliste der erstes passende ist. Unterstellt, dass die Umsetzung der Maßnahme genau 10 Minuten in Anspruch genommen hat, erfolgt eine erneute Auswahl. Patient 3 wäre nun in der Warteschlange vorn, übersteigt im Planwert jedoch die verbleibende Zeit (60 Minuten – 10 Minuten = 50 Minuten). Damit

wird, obwohl niedriger priorisiert, nun Patient 2 der Ressourcenwarteschlange zugeführt. Der Planwert ist passend und dieser Patient ist der nächste in der priorisierten Warteliste der nicht-elektiven Anforderungen.

Dieses Vorgehen unterstellt zugleich jedoch die Annahme, dass die wartenden Patienten zeitnah verfügbar sind. Hiervon wird im Modell ausgegangen¹⁴⁴.

Wie ausgeführt wurde, kann es eine Abweichung, vom verfügbaren Zeitfenster und dem Planwert der jeweiligen Maßnahmenanforderungen geben. Die jeweiligen Werte zu den Abweichungen je Maßnahme und deren Herleitung sind im Abschnitt 9.11 (g) ausgeführt. Im Modell sind zur Parametrisierung des geschilderten Sachverhalts nachfolgende Parameter hinterlegt (siehe Tab. 126):

Parameterwert	Beschreibung
ECHO_AccuracyOfFitForInterference	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um Patienten im ECHO vorzuziehen
ECHO_MinutesLateForNoShow	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im ECHO als no-show gewertet wird.
ECHO_WaitForLatePatients	tolerierte Verspätung der Patienten im ECHO, zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)
EKG_AccuracyOfFitForInterference	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um Patienten im EKG vorzuziehen
EKG_MinutesLateForNoShow	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im EKG als no-show gewertet wird.
EKG_WaitForLatePatients	tolerierte Verspätung der Patienten im EKG, zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)
HKL_AccuracyOfFitForInterference	erforderliche Überlappung des Planwertes und der verfügbaren Zeitspanne bis zum nächsten Termin in Prozent, um Patienten im HKL vorzuziehen
HKL_MinutesLateForNoShow	Minuten ab wann ein verspäteter Patient im HKL als no-show gewertet wird.
HKL_WaitForLatePatients	tolerierte Verspätung der Patienten im HKL zu der noch kein Patient vorgezogen wird (Wartezeit)

Tab. 126: Parameter zur Umsetzung des Einschlebens von Patienten im Ablauf

(h) Implementierung der Patientenauswahl

Im Folgenden wird die Implementierung der Patientenauswahl im Modell nach Lippold [2014, S. 82 ff.] geschildert.

Damit elektive Patienten erst zum Termin in die Ressourcenwarteschlange zur Abarbeitung eingesteuert werden, werden im Modell die elektiven Patientenpartikel

¹⁴⁴ Da dies für Ambulanzpatienten von Grund auf der Fall ist, sofern diese nicht in einer anderen Maßnahme gebunden sind. Stationäre Patienten können hingegen bei Abruf relativ zeitnah in die Funktionsbereiche verbracht werden. Dies erfolgt dann durch das Personal der Stationen oder die Patienten gehen selber in den Funktionsbereich. Eines Transportdienstes bedurfte es in diesen Fällen im Realsystem nicht.

einer Verzögerung bis zum jeweiligen Termin unterzogen. Zu diesem Zweck ist das Modul „DelayToAppointmentElective“ implementiert (siehe Abb. 187).

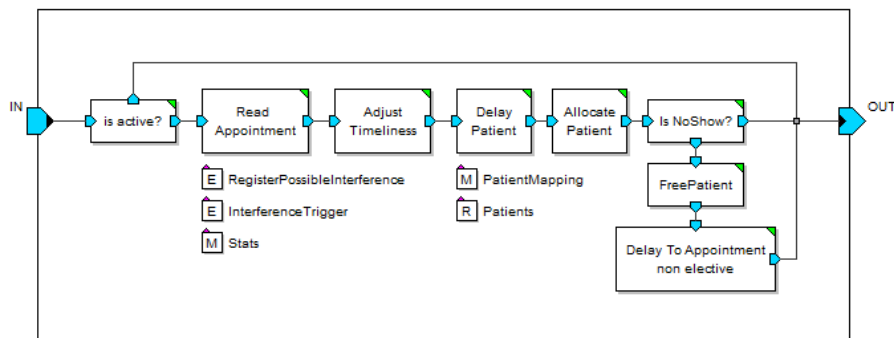


Abb. 187: Modul „DelayToAppointmentElective“ zur Verzögerung elektiver Patientenpartikel (erweitert um das Modul „Allocate Patient“ nach Lippold [2014, S. 86])

Nachdem im Modul auf aktive und inaktive Partikel geprüft wurde, wird der Termin mittels „Read Appointment“ ausgelesen und mittels „Adjust Timeliness“ gemäß einer hinterlegten Verteilung ein zu frühes resp. zu spätes Auftreten generiert. Um die sich hieraus ergebende Zeit wird der Partikel der Patientenforderung im Modul „Delay Patient“ verzögert. Anschließend erfolgt im Modul „Allocate Patient“ die Allokation der Patientenressource. Darauf folgt im Modul „Is NoShow?“ die Auswertung, ob der Patient zu spät auftritt und zu einem no-show Ereignis wird. Die maximal zulässige Verspätung ist hier als Parameterwert hinterlegt. Sofern ein Partikel damit als no-show erkannt wurde, wird dieser Patientenpartikel den nicht-elektiven Anforderungen im Modul „DelayToAppointmentNonElective“ zugeleitet. Siehe [Lippold 2014, S. 86 f.] zu diesem Unterabschnitt. Patienten, welche gar nicht mehr auftreten, sind zu diesem Zeitpunkt nicht mehr enthalten. Diese wurden bereits zu einem früheren Zeitpunkt angesteuert und werden entsprechend hier nicht mehr bis zum Termin verzögert.

Nicht-elektive Patientenforderungen erhalten im Modul „DelayToAppointmentNon Elective“ zunächst einen (Ersatz-)Termin mittels dem bereits im Anhang A55 0 vorgestellten Modul „Make Appointment“ (siehe Abb. 188).

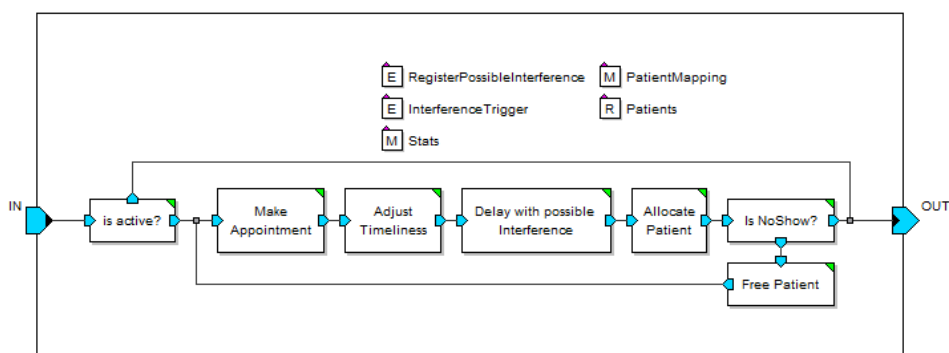


Abb. 188: Modul „DelayToAppointmentNonElective“ zur Verzögerung nicht-elektiver Patientenpartikel (erweitert um das Modul „Allocate Patient“ nach Lippold [2014, S. 86])

Entsprechend werden auch diese Partikel anschließend bis zum Termin verzögert. In Anlehnung an das Modul „DelayToAppointmentElective“ wird auch hier über das Modul „Adjust Timeliness“ ein zu frühes resp. verspätetes Auftreten generiert. Der Baustein „Delay with possible Interference“, welcher nun die Verzögerung durchführt, weicht dahingehend ab, dass nicht-elektive Patientenpartikel bei einer freien Ressource, u.a. bei einem Terminausfall (no-show), in die Ressourcenwarteschlange zur Abarbeitung eingesteuert (vorgezogen) werden können. Dem entsprechend muss die Verzögerung im Modell unterbrochen werden können. Partikel, welche durch Quellen erzeugt wurden und sich zwischen Ports bewegen, können nur schwer aus einem „Delay“ entnommen werden, wenn die Verzögerung läuft. Der MLDesigner sieht jedoch die Möglichkeit vor Partikel über ein Ereignis (Event) zu emittieren. Solche über ein Ereignis eingestellten Partikel können nachträglich aus der Ereignisliste (des Simulationssystems) entfernt werden, bevor der Zielzeitpunkt erreicht ist. Siehe [Lippold 2014, S. 82, 86 f.] zu diesem Unterabschnitt.

Zum Zweck der Unterbrechung einer Verzögerung wurde das Modul „CancelableDelay“ implementiert (siehe Abb. 189).

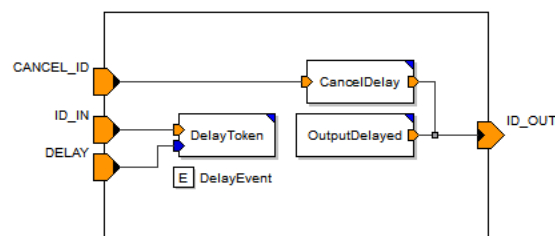


Abb. 189: Modul „CancelableDelay“ zur Umsetzung einer unterbrechbaren Verzögerung [Lippold 2014, S. 82]

Wie zu ersehen ist, weist das Modul „Cancelable Delay“ zwischen den Ports „ID_IN“ und „ID_Out“ keine direkte Verbindung auf. Die zu verzögernden nicht-elektiven Partikel werden mittels „DelayToken“ in die Ereignisliste des Simulations-Schedulers eingestellt. Der Eingangsport „DELAY“ gibt den Termin vor, resp. die Simulationszeit bis wann der Partikel verzögert werden soll. Um einen nicht-elektiven Partikel nun vorzeitig der Ressourcenwarteschlange zuzuführen, wird der betreffende Partikel über das Primitiv „CancelDelay“ aus der Liste des Schedulers entnommen. Das Primitiv „OutputDelayed“ empfängt dem entgegen den Partikel, wenn dieser regulär bis zum Termin verzögert wurde, und leitet ihn an den Ausgabeport weiter (siehe hierzu [Lippold 2014, S. 82 f.]).

Das Modul „Cancelable Delay“ ist in das Modul „DelayWithInterference“ integriert (siehe Abb. 190).

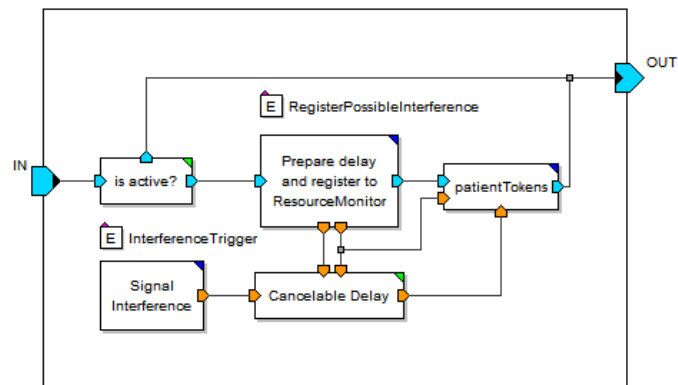


Abb. 190: Modul „DelayWithInterference“ zur Verzögerung nicht-elektiver Patientenartikel [Lippold 2014, S. 83]

Dieses Modul registriert aktive Aufrufe zum Vorziehen eines nicht-elektiven Partikels. Auf der Basis wird der betreffende Partikel zunächst vorbereitet im Primitiv „Prepare delay and register to ResourceMonitor“. Es wird die ID und die Dauer der Verzögerung extrahiert. Darüber hinaus wird der Parameterwert für die Priorisierung des Partikels ausgelesen, welcher je Instanz des Moduls eingestellt wird. Anschließend wird mit diesen Werten das Modul „CancelableDelay“ angefordert. Der Ressourcenmonitor dient der zentralen Überwachung der jeweiligen Ressource und registriert nicht-elektive Patientenartikel (siehe hierzu [Lippold 2014, S. 83 f.]). Über das Ereignis „InterferenceTrigger“ erhält das Modul „DelayWithInterference“ vom Ressourcenmonitor eine Nachricht zum Vorziehen eines bestimmten Partikels. Die übermittelte ID wird vom Primitiv „Signal Interference“ an das Modul „Cancelable Delay“ geleitet. Zurückgegebene Patientenartikel werden im Falle des Vorziehens wie auch dem Ende der Verzögerung an den Ausgabeport „OUT“ geleitet und in die Ressourcenwarteschlange eingesteuert (siehe hierzu [Lippold 2014, S. 84]).

Der Ressourcenmonitor „ResourceMonitor“ (siehe Abb. 191) wurde gemäß der Spezifikation implementiert und steuert bei aktiver, leerstehender Ressource, nicht-elektive Patientenartikel in die Ressourcenwarteschlange ein (siehe hierzu [Lippold 2014, S. 87 ff.]).

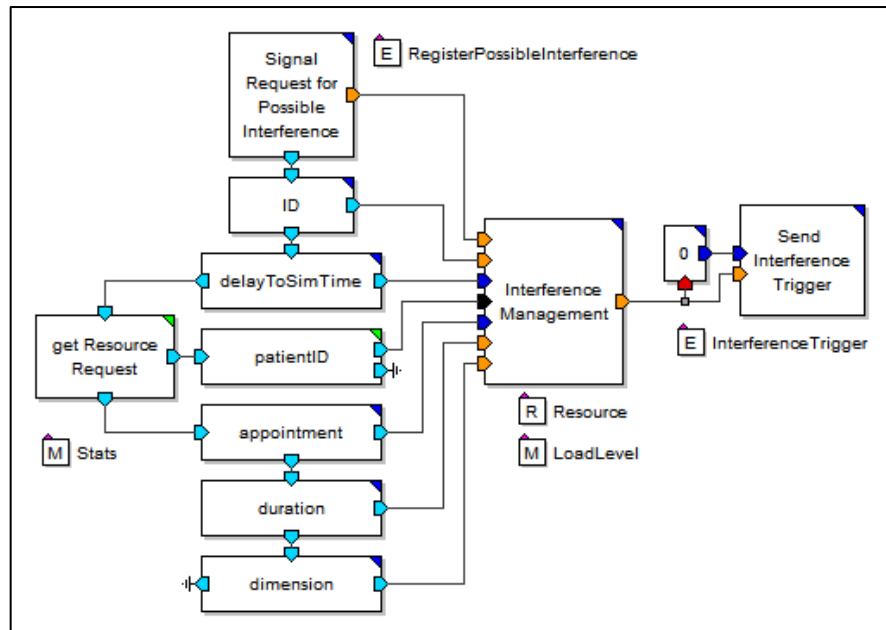


Abb. 191: Implementierung des „ResourceMonitor“ zur Überwachung der beplanten Ressourcen [Lippold 2014, S. 88]

Entgegen der Module für Terminvergabe und Verzögerung der Patientenartikel, welche je Pfad eingebunden werden, arbeitet der Ressourcenmonitor nicht auf der Pfadebene, sondern wird je beplanter Ressource instanziiert und mit dieser verlinkt. Es fällt auf, dass das Modul keine Eingangs- oder Ausgabeports aufweist. Dies ist darin begründet, dass der Ressourcenmonitor allein mit Ereignissen („RegisterPossibleInterference“ und „InterferenceTrigger“) operiert. Über das Ereignis „RegisterPossibleInterference“ treffen nicht-elektive Anforderungen ein. Neben der Patienten-ID werden die betreffende Priorisierung des Partikels, die Dauer der angeforderten Maßnahme, der Zeitpunkt zu dem die Verzögerung regulär endet (die Anforderung verfällt) und die gewünschte Ressource (z.B. HKL3) übermittelt. Die Anforderungen werden in einer Datenbank gespeichert. Siehe [Lippold 2014, S. 88 f.] zu diesem Unterabschnitt.

Der Ressourcenmonitor überwacht nun die verlinkte Ressource. Sofern die Ressource aktiv und nicht belegt ist, wird über einen in der Datenbank hinterlegten Funktion Namens „MINUTES_AVAILABLE_ON_RESSOURCE“ abgefragt, wie groß die Zeitspanne bis zum nächst möglichen Termin ist. Darüber hinaus prüft die Funktion, ob die Ressource aktiv ist, sich nicht in einer Pause befindet, oder geschlossen ist. Damit nun nicht sofort, nachdem die Ressource leer ist, ein nicht-elektiver Patientenartikel eingesteuert wird, wird hier der Parameter „WaitForLatePatients“ einbezogen, welcher die maximale zulässige Wartezeit angibt. Ist nach dem Ablauf dieser Wartezeit die Ressource immer noch leer, wird nun ein nicht-elektiver Patientenartikel eingesteuert. Über den Parameter „AccuracyOfFitForInterference“ wird der Faktor für die Passgenauigkeit der Planwerte der angeforderten Maßnahme und der verbleibenden zeitlichen Lücke einbezogen. Über eine Datenbankabfrage wird in der Warteliste nun,

bezogen auf die der Anforderung hinterlegten Priorität und dem first-come, first-served Prinzip, nach der ersten passenden Patientenanforderung (Patienten-ID) gesucht. Ist diese gefunden, wird die Patienten-ID über das Ereignis „SendInferenceTrigger“ an das Modul „DelayToAppointmentNonElective“ gesendet, der zugehörige Partikel befreit und in die betreffende Ressourcenwarteschlange eingesteuert. Siehe [Lippold 2014, S. 89 f.] zu diesem Unterabschnitt.

Bei der Allokation der Ressourcen sind verschiedene Sachverhalte spezifiziert. Es sollen zum Ende der Öffnungszeit in der Ressourcenwarteschlange verbleibende Patienten entnommen und als nicht-elektive Patientenanforderungen wieder eingestellt werden. Zudem soll ein Lastenausgleich (Pegel) zwischen den Ressourcen realisiert werden, sofern dies die angeforderte Maßnahme zulässt resp. Ausweichressourcen zur Verfügung stehen. Zu diesem Zweck wurde das Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ implementiert (siehe Abb. 192).

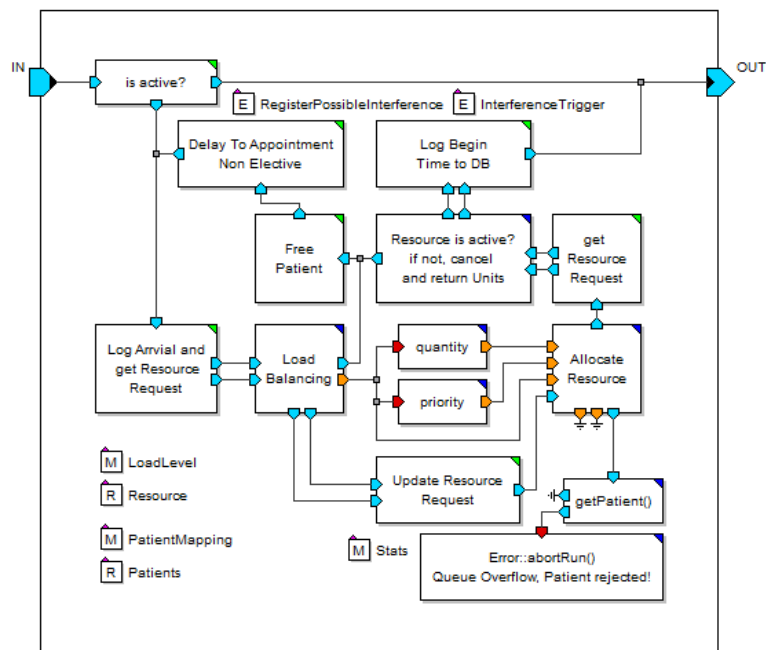


Abb. 192: Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ zur Realisierung der Patientenauswahl (verkürzt um das Modul „Allocate Patient“ [Lippold 2014, S. 90])

Nachdem die Patientenressource bereits im vorgeschalteten Modul „DelayToAppointmentElective“ bzw. „DelayToAppointmentNonElective“ allokiert wurde, wird der Partikel in das Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ geleitet, welches die Lastverteilung (Pegel) realisiert. Das vorliegende Modul prüft, ob die angefragte Ressource aktiv ist. Im Speicher ist dazu ein Wert „state“ hinterlegt. Nur innerhalb der Öffnungszeiten und wenn keine Störung vorliegt, ist der Wert aktiv. Darüber hinaus wird der Wert „level“ abgefragt, welcher die Summe der zur Abarbeitung auf der Ressource eingeplanten Maßnahmen in Minuten (Planwerte) angibt. Sofern die

angeforderte Ressource nicht verfügbar ist (inaktiv) und keine Ausweichressource vorhanden ist, wird der Patientenartikel wieder freigegeben und der Partikel wird als nicht-elektive Anforderung zum Modul „DelayToAppointmentNonElevtive“ geleitet. Sofern die geforderte Ressource verfügbar (aktiv) ist, wird diese gewählt und der Indikator „level“ um den Planwert der angesetzten Maßnahme erhöht. Bei alternativen Ressourcen wird jene Ressource gewählt, welche den kleineren „level“-Wert aufweist, somit die geringere Einlastung hat. Der „level“-Wert kann von den tatsächlichen Maßnahmendauern abweichen. Daher wird der Wert zu jedem Zeitpunkt einer leeren Ressource auf 0 zurückgesetzt. Siehe [Lippold 2014, S. 90 f.] zu diesem Unterabschnitt). Eine Besonderheit tritt auf, im Falle eines gleichen „level“-Wertes für zwei oder mehr möglicher alternativer Ressourcen. Hierbei agiert das Simulationssystem rein deterministisch. Dies führt dazu, dass immer die erste Ressource in der gegebenen Reihenfolge gewählt wird, was im Späteren zu Verschiebungen der Auslastungen führen kann und ggf. nicht mehr der Realität entspricht. Zu diesem Zweck wird ein Fisher-Yates-Shuffle Verfahren für eine zufällige Permutation implementiert. Mit Hilfe dessen kann nun eine Gleichverteilung für diesen Fall erreicht werden.

Mittels des Moduls „AllocateResource“ wird die gewählte Ressource schließlich allokiert. Hierzu werden die Eingabewerte „quantity“ (Anzahl Ressourcen) und „priority“ (Priorität) über Primitive angefordert. Die Werte werden über Parameter, je Instanziierung des Moduls „AllocateQRWithLoadBalancing“, auf Pfadebene gesetzt. Über das Primitive „Resource is active? if not, cancel and return units“ wird im Anschluss geprüft, ob die Ressource noch aktiv ist. Ist dem nicht so, weil zwischenzeitlich das Ende der Öffnungszeiten erreicht wurde oder eine Störung eingetreten ist, wird die Warteschlange geleert und die Partikel den nicht-elektiven Patientenanforderungen zugeführt. Die allokierten Patientenressourcen werden in Folge dessen im Modul „FreePatient“ freigegeben. Mittels eingesetzter Module werden Ereigniszeitpunkte in die Datenbank dokumentiert. Siehe [Lippold 2014, S. 92] zu diesem Unterabschnitt.

Für Notfälle ist der Ablauf ein wenig anders. Notfälle erhalten priorisierten Zugriff auf die Ressourcen (immer oberste Priorität) und sind von der Terminvergabe ausgenommen. Zudem können Notfälle durch eingesetzte Bereitschaftsdienste (z.B. im HKL) auch außerhalb der regulären Öffnungszeiten behandelt werden (sofern keine Störung an der Ressource vorliegt). Um dies zu realisieren wurde ein eigenes Modul implementiert (siehe Abb. 193).

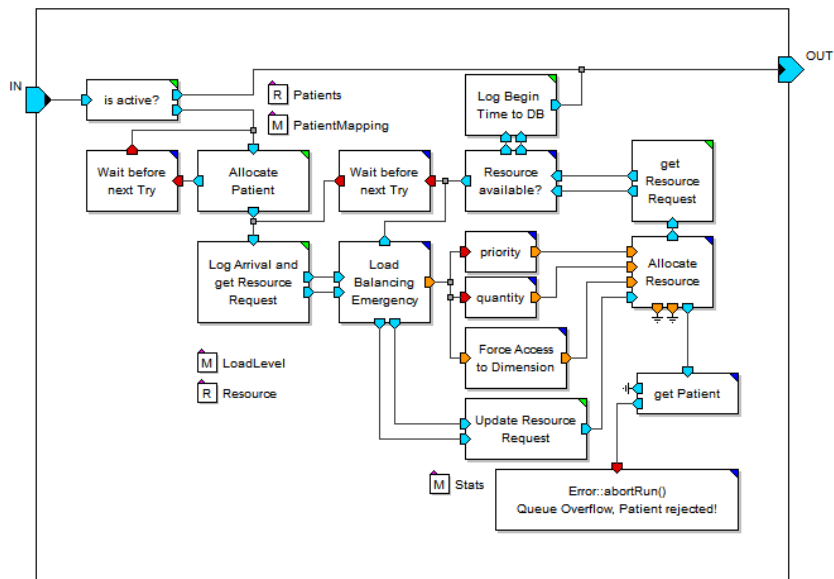


Abb. 193: Modul „AllocateQREmergency“ zur Realisierung der Patientenauswahl [Lippold 2014, S. 94]

Der Aufbau ist an dem Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“ orientiert. Wie gewohnt, wird bei einem aktiven Partikel zunächst der Patient allokiert („AllocatePatient“). Sofern dieser nicht verfügbar ist, wird eine definierte Zeit verzögert („Wait before next Try“) und erneut versucht den Patienten für die Notfallmaßnahme zu allokiieren. In gleicher Weise wird mit der Ressource verfahren, wenn die Ressource gestört ist und keine Ausweichressource vorliegt. Eine Besonderheit stellt hier das Modul „Force Access to Dimension“ dar. Mit Hilfe dessen wird eine Ressource außerhalb der Öffnungszeiten aktiviert, wenn ein Bereitschaftsdienst gegeben ist (sofern keine Störung vorliegt). Ansonsten ist der Verlauf in diesem Modul wie bei dem Modul „AllocateQRWithLoadBalancing“. Siehe [Lippold 2014, S. 93 ff.] zu diesem Unterabschnitt).

Die Deallokation von Ressourcen wird hier nicht vertieft. Details hierzu können Lippold [2014, S. 92 f.] entnommen werden.

A59. Beispiel zum Aufbau der Patientenrohdaten

Tab. 127 beinhaltet beispielhaft die Patientenrohdaten für zwei stationäre Patienten, welche im Folgenden näher erläutert werden.

source	patient_type	step_no	activity_type	activity_kind	dimension	minutes	DelayToNext
STA_1	1100010120	0	KARDSTAT	AUFNM	0	626	0
STA_1	1100010120	1	HKL	CORO			
STA_1	1100010120	2	ECHO	TTE		0	0
STA_1	1100010120	3	ECHO	TTE		0	1
STA_1	1100010120	4	KARDSTAT	LZ			2
STA_4	1100668670	0	KARDSTAT	ZEINW		504	0
STA_4	1100668670	1	ECHO	TTE		0	1
STA_4	1100668670	2	KARDSTAT	LZ			1
STA_4	1100668670	3	ITS	BETT		523	1
STA_4	1100668670	4	KARDSTAT	LZ			3

Tab. 127: Struktur der Patientenrohdaten mit Beispielbelegung für zwei stationäre Patienten – Tabelle „patient_type“

Zunächst ist in der Spalte „source“ die Quelle angegeben, zu welcher der Fall zugeordnet ist. Jeder Patient ist darüber hinaus zur Differenzierung in der Spalte „patient_type“ mit einer eindeutigen ID versehen. Die ID hat einen direkten Bezug auf die zugrunde liegende Fallnummer in den Realdaten und ist hier lediglich um eine zusätzliche Stelle am Ende erweitert. In gleicher Weise wie die zugrunde liegenden SAP-Bewegungsdaten, sind in der Spalte „step_no“ die Patientenbewegungen je Patient fortlaufend nummeriert. Die dargestellte Struktur erlaubt es, alle vorkommenden Konstellationen mit variierender Anzahl Bewegungen in den Patientenrohdaten, gleich ob stationäre oder ambulante Patienten, abzubilden. Der Zugangspunkt ist immer der erste vermerkte Eintrag (step_no 0). In der Spalte „activity_type“ ist der Fach-/Funktionsbereich angegeben auf den sich die Bewegung bezieht. In der Spalte „activity_kind“ wird die Art der Bewegung aufgeführt. In der Spalte „dimension“ ist die Dimension der Ressource zu finden, sofern hier ein spezifisches Ressourcenerfordernis gegeben ist, welches sich im Modell nicht anderweitig determinieren lässt. Sofern der Zugang eine zeitliche Vorgabe (Ankunftszeitpunkt) bedarf, so ist dies in der Spalte „minutes“ vermerkt. Die Angaben sind stets in Minuten ab dem Tageswechsel. Darüber hinaus finden sich im weiteren Patientenverlauf des obigen Beispiels diverse Maßnahmen. Sofern es sich hierbei um einen Notfall handelt, ist in der Spalte „activity-type“ der Eintrag mit dem Zusatz „akut“ versehen. In der Spalte „minutes“ wäre dann wieder ein Ereigniszeitpunkt angegeben zu dem der Notfall im Modell eintritt (Minuten ab dem Tageswechsel). Hierüber werden z.B. Notfälle zur Liegezeit abgebildet oder auch Notfälle von extern kommend, z.B. über die Notaufnahme.

Bei stationären Patienten (wie im Beispiel oben) ist zu der jeweiligen Maßnahme in der Spalte „DelayToNext“ ergänzend angegeben, ob es sich um eine Maßnahme im Rahmen der Voruntersuchungen handelt oder diese in der Restliegezeit durchgeführt wird. Die Dauer für Voruntersuchungen, durch das Aufnahmeprozedere und die

Terminverfügbarkeit der Maßnahmen innerhalb dieser, determiniert den ersten Teil der Liegezeit (siehe hierzu Anhang A62 (d)). Ist die Maßnahme im Rahmen der Voruntersuchung, ist kein Vorgabewert in der Spalte „DelayToNext“ eingetragen. Das Feld bleibt leer. Bis auf die HKL-Maßnahmen zur Liegezeit auf der Station, sind die Voruntersuchungen damit in der Reihenfolge variabel. Den Maßnahmen zur Restliegezeit ist zu Eigen, dass diese den zeitlichen Gegebenheiten und der Reihenfolge im Realsystem entsprechend (als Grundauslastung) im Modell umgesetzt werden. Zu diesem Zweck ist in den Patientenrohdaten in der Spalte „DelayToNext“ ein Wert auf Tagesbasis vermerkt. Dieser bezeichnet den Tag, gerechnet ab dem jeweiligen Beginn der Restliegezeit (Beginn = 0), zu dem die Maßnahme durchgeführt werden soll. Entsprechend erfolgt die Terminanfrage an den Terminkalender zu dem Tag mit dem hier angegebenen zeitlichen Abstand. Die Termine sind somit in der Reihenfolge vorgegeben und determinieren hierüber einen Großteil der Restliegezeit.

Gemäß der Spezifikation im Anhang A62 (d), dort als „Zeitspanne 1“ benannte, kann es nach der letzten Maßnahme eine zeitliche Restliegezeit geben, bis die Entlassung/Verlegung erfolgt. Hierzu ist in der Spalte „DelayToNext“ in Verbindung mit dem Kürzel „LZ“ für Liegezeit in der Spalte „activity_kind“ der Wert in Tagen für die verbleibende Restliegezeit (nach der letzten Maßnahme) angegeben. Im obigen Beispiel bei der step_no 1 ist dies ein Tag. Der Endzeitpunkt der Zeitspanne 1 fällt immer auf den Tageswechsel (24:00 Uhr). Um den Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem der Patient das Bett räumt (Zeitspanne 2), wird über eine Normalverteilung die Zeitspanne determiniert (siehe Tab. 128 zu den Parameterwerten). Die entsprechenden Parameter befinden sich auf der Systemebene.

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
KARDSTAT_ENTL_MIN	550	Minimalwert der Dauer bis Patient das Bett räumt in Minuten
KARDSTAT_ENTL_MAX	990	Maximalwert der Dauer bis Patient das Bett räumt in Minuten
KARDSTAT_ENTL_MEAN	769.2019	Mittelwert der Dauer bis Patient das Bett räumt (Normalverteilung) in Minuten
KARDSTAT_ENTL_VARIANCE	9000.0015	Varianz in der Dauer bis Patient das Bett räumt (Normalverteilung) in Minuten

Tab. 128: Systemparameter für Dauer bis Patient das Bett räumt

Bei prästationären Patienten beinhaltet der Ablauf zusätzlich eine Abwesenheitszeit. Diese determiniert sich aus der Terminverfügbarkeit der nächsten HKL-Maßnahme über eine Anfrage an den Terminkalender und ist i.d.R. nicht mehr als 3 Tage. Ist eine stationäre Wiederaufnahme vorgesehen, ohne geplanter HKL-Maßnahme, wird die Dauer der Abwesenheit im Zuge der Transformation der Basisdaten aus den Realdaten ermittelt und als Wert auf Tagesbasis in den Patientenrohdaten hinterlegt. Dies erfolgt in der Spalte „DelayToNext“ in Tagen und in der Spalte „minutes“ in Minuten.

A60. Umsetzung der Patientenressource

Wie im Rahmen der Modelltransformation festgelegt, werden Patienten zur Abbildung wahlfrei-sequentieller Abläufe im Modell als Ressourcen umgesetzt. Hierbei wird auf eine n -dimensionale Quantity-Ressource des MLDesigners zurückgegriffen. Dabei steht n für die Größe des Ressourcen-Pools. Jede der n -Dimensionen kann einem Patienten eindeutig zugeordnet werden. Um sicherzustellen, dass jeder Patient im Modell nur genau einmal vorhanden ist, wird jede Dimension mit der Kapazität von 1 angelegt. Grundsätzlich ist der Umfang an Dimensionen der Ressource unbegrenzt, wird aber mit Blick auf die Performance des Modells während des Simulationslaufs, in Abhängigkeit von der Ressourcenanforderung, bestimmt. Zum Simulationsstart ist die Dimension der Ressource 0. Sobald eine Patientenressource angefordert wird, erzeugt dies die erforderliche Dimension, welche mit der eindeutigen Kennzeichnung des betreffenden Patienten (ID) versehen wird. Bei einer weiteren Allokation derselben Patientenressource, bevor die Kapazität aus der ersten Anfrage zurückgegeben wurde, wird diese Anforderung abgelehnt. Bei der Rückgabe der Kapazität, wird die Ressource nicht mehr benötigt und die betreffende Dimension zurückgesetzt. Im Zuge dessen wird auch ein Verweis auf einen nicht mehr allokierten Patienten gelöscht. Für denselben Patienten kann im Simulationslauf somit mehrfach eine Dimension angelegt und wieder abgebaut werden. Die Anzahl der geführten Dimensionen fällt damit deutlich kleiner ausfallen als die Gesamtzahl der im Simulationslauf befindlichen Patienten. Die jeweilige Adressierung der Dimension wird in der Datenstruktur des Patienten abgelegt, ist damit zentral gespeichert und jederzeit verfügbar (siehe Anhang 0 (f) zur der angesprochenen Datenstruktur). Die nachfolgende Abbildung zeigt die Implementierung im Modell nach J. Lippold zur Allokation und Deallokation der Patientenressource (siehe Abb. 194).

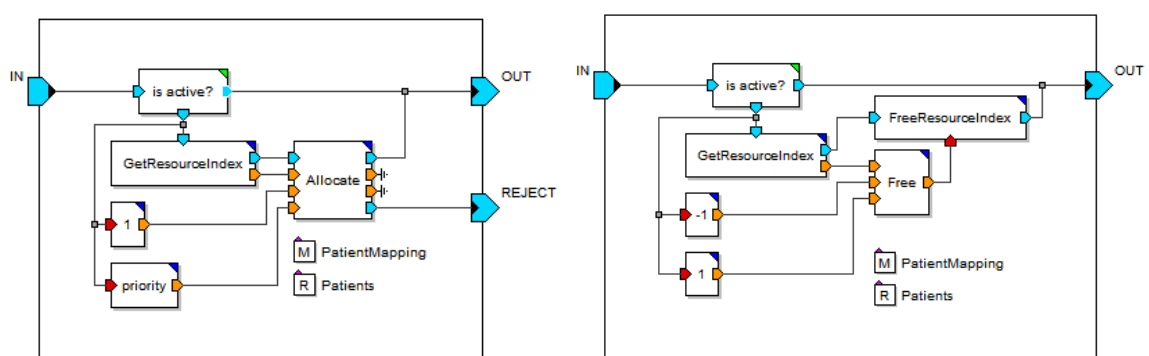


Abb. 194: Module zu Allokation (links) und Deallokation (rechts) der Patientenressource (geringfügig verändert nach Lippold [2014, S. 39])

Die Umsetzung entspricht den Vorgaben des Transformationsansatzes. Das Modul „is active?“ prüft gemäß den Festlegungen, ob der eintreffende Partikel aktiv oder inaktiv ist. Nur aktive Partikel lösen Funktionalität aus (siehe Unterabschnitt 9.6.3, Anhang 0 (c)). „Patients“ bezeichnet die hier verwendete mehrdimensionale Ressource und

„PatientMapping“ den verbundenen zentralen Speicher mit der zur Adressierung erforderlichen Datenstruktur. Das Primitiv „GetRessourceIndex“ ermittelt bereits vorliegende Dimensionen resp. legt eine solche an. Anschließend werden die Primitive „Allocate“ resp. „Free“ ausgeführt. Hierbei handelt es sich um Standardbausteine des MLDesigners zur Allokation und Deallokation von Ressourcenkapazitäten. „FreeRessourceIndex“ gibt schließlich die Dimension einer Ressource im Falle einer Deallokation frei. Ergänzt wurde das Allokationsmodul um den Ausgabeport „REJECT“, welcher abgewiesene Patientenallokationen zurückgibt. Siehe [Lippold 2014, S. 39 f., 90] zu diesem Unterabschnitt).

Mit der vorliegenden Implementierung, kann im Modell die dieselbe Patientenressource gleichzeitig von zwei oder mehr Prozessabschnitten angefragt werden. Die implementierte Patientenressource führt nun im Falle, dass ein Patient der in einem Prozessabschnitt noch in Abarbeitung ist, somit die Patientenressource noch allokiert ist, dazu, dass der Termin des Patienten im zweiten Prozessabschnitt verstreicht, da die Patientenressource nicht gleichzeitig mehrfach allokiert werden kann. Bei elektiven Patienten verfällt damit der Termin, wenn der Patient nicht allokiert werden konnte. Es kommt zu einem no-show Ereignis. Dies entspricht dem gewünschten Modellverhalten.

A61. Überarbeitung und Umsetzung der Ressourcen im Modell

Im Abschnitt der Modelltransformation wurden eEPKs aufgestellt und im Zuge dessen Ressourcen eingebunden. Es wurde ausgeführt, dass Ressourcen, sofern diese nicht synchron allokiert werden sollen, in der definierten Reihenfolge im eEPK eingebunden sein müssen. Unter Umständen ist dies zum Zeitpunkt der Aufstellung der eEPK nicht eindeutig. Oder es ist noch nicht abschließend definiert, welche Ressourcen im Weiteren als Engpass gesehen werden oder in welcher Reihenfolge diese beansprucht werden, sofern mehrere Ressourcen involviert sind. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde ein Umfang an Ressourcen im Modell eingebunden, welche hier nun mit Blick auf die Simulationsziele überarbeitet wurde. Im Zuge dessen ist von der bisher eingebundenen Ressource Transportdienst abstrahiert worden. Aus Sicht des hier verfolgten Simulationsziels wird diese Ressource nicht als Engpassbereich betrachtet. Es erfolgt im Modell zwar eine Verzögerung für die Simulation des Transportes, eine dedizierte Ressource wird an diesen Prozessschritt im Modell jedoch nicht eingebunden. Die Anpassungen erfolgen direkt im Simulationsmodell. Da eine gewisse Abstraktion bereits auf Seiten der eEPK getroffen werden konnte, war der damit verbundene Aufwand zur Nacharbeitung gering.

Die Ressourcen, z. B. für Echokardiografie, Elektrokardiografie, Stationsbetten und dem Herzkatheterlabor, werden durch verschiedene Pfade dezentral beansprucht. Das Transformationskonzept sieht eine zentrale Umsetzung der Ressourcen vor. Entsprechend sind in den transformierten Pfaden Verlinkungen angelegt, welche den dezentralen Zugriff auf die zentrale Ressource ermöglichen (siehe Unterabschnitte 9.6.3, Anhang 0 (d), A51 (e)). Die Implementierung nach J. Lippold sieht eine Umsetzung als n-dimensionale Quantity-Ressourcen vor [Lippold 2014, S. 98; MLDesign Technologies Inc. 2010, S. 269]. Entsprechend wurden die Ressourcen auf Systemebene als solche angelegt und über die bestehenden Verlinkungen mit den Pfaden verknüpft. Somit gibt es auf Systemebene je eine Modellressource für die definierten Engpassressourcen, wobei z.B. verschiedene Herzkatheterlabore oder Echogeräte über die Dimensionen abgebildet werden. Im vorliegenden Fall wäre das HKL1 die Dimension 0, HKL2 die Dimension 1 usw. Jede Dimension wird mit einer voneinander abweichenden, eigenen Kapazität ausgestattet, entsprechend der vorgefundenen Gegebenheiten im Realsystem.

A62. Umsetzung der kard. Stationen und Notfälle innerhalb dieser

Im Folgenden wird die Umsetzung der kard. Stationen erläutert. Hierbei wird auf die spezifischen Gegebenheiten im Realsystem und deren Umsetzungen im Modell eingegangen. Insbesondere betrifft dies:

- Abbildung der Stationen und Stationsressourcen im Modell,
- Umsetzung von Öffnungszeiten und Pausen innerhalb der kard. Stationen,
- Umsetzung der ärztlichen Ressource,
- Umsetzung der Liegezeiten sowie Maßnahmen innerhalb dieser und die
- Umsetzung von Notfällen zur Liegezeit auf den kard. Stationen.

(a) Abbildung der Stationen und Stationsressourcen im Modell

Die Abläufe auf den kard. Stationen sind ein zentraler Bereich im Modell und in Modulen gekapselt (siehe Abb. 195 beispielhaft für den Pfad 1). Die Module verfügen über die erforderlichen Eingangs- und Ausgangsports, um die Patientenpartikel zu empfangen und nach Bearbeitung weiterzuleiten. Die Module und Ports wurden bereits im Rahmen der Modelltransformation erzeugt. Auch die jeweiligen Ressourcen (pflegerische, ärztliche und Bettenressourcen) sind bereits mittels Allokations- und Deallokationspunkten über den Modellimport enthalten.

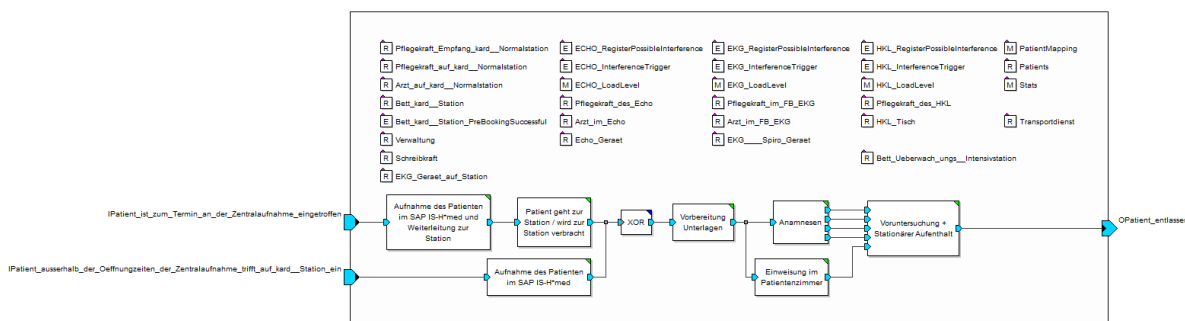


Abb. 195: Modul zur Kapselung der stationären Abläufe auf dem Pfad 1

In der betrachteten klinischen Einrichtung sind zwei kard. Normalstationen vorhanden. Im Modell sind mehrdimensionale Quantity-Ressourcen eingesetzt. Entsprechend einer Parametrisierung werden die im Realsystem erhobene Anzahl an Stationen und die jeweiligen Ressourcenkapazitäten im Modell auf den jeweiligen Dimensionen der bereits vorhandenen Ressourcen hinterlegt. Bei der Abbildung der Stationen im Modell war zu überlegen, ob diese auf der Basis der gleichen Gegebenheiten und Abläufe zusammengefasst werden. In einem solchen Fall würde sich ein Ressourcenpool bilden, welcher von beiden kard. Stationen beansprucht wird. Engpässe innerhalb der Stationen würden sich verwässern und u.U. nicht mehr ausreichend realitätsgetreu sein. Durch eine getrennte Abbildung der kard. Normalstation wäre z.B. eine direkte Zuordnung der Patienten zu den zuständigen Stationsärzten gegeben. Auch Kennzahlen wurden im Realsystem separat je Station erhoben. Die Vergleichbarkeit und Transparenz kann

dahingehend durch die getrennte Abbildung im Modell gewahrt bleiben. Daher wurden die kard. Normalstationen im Modell getrennt abgebildet. Die Dimension spiegelt die jeweilige kard. Station wider. Die Kapazität auf der jeweiligen Dimension repräsentiert die Anzahl der Stationsbetten. In gleicher Weise werden die weiteren Stationsressourcen mit mehrdimensionalen Ressourcen umgesetzt und über die Dimension einer Station zugeordnet. Innerhalb des Modells ist geregelt, dass bei Maßnahmen auf der Station mit der Dimension 1 nur Ressourcen der gleichen Dimension allokiert werden dürfen. Die Zuweisung erfolgt über die jeweiligen Quellen, welche die Patientenpartikel einsteuern und mit einem stationsspezifischen Ressourcenerfordernis versehen. Welcher Patient welcher Station zugeordnet wurde, wird in den Patientendaten dokumentiert und hierüber die zuständige Dimension der betreffenden Ressource (Bett, Pflege, Arzt) angesprochen.

(b) Umsetzung von Öffnungszeiten und Pausen innerhalb der kard. Stationen

Aufnahmen können über die Zentralaufnahme oder direkt über die kard. Stationen erfolgen. Grundsätzlich sind die kard. Stationen durchgängig geöffnet und es kann immer eine stationäre Aufnahme erfolgen. Wohin gehend die Zentralaufnahme in der Verfügbarkeit der Einschränkung von Öffnungszeiten unterliegt, welche im Modell über ein Modul gesteuert und parametrisiert werden. Ist die Zentralaufnahme geschlossen, werden ankommende Patienten an die kard. Stationen zur Aufnahme weitergeleitet. Auf diesem Wege ist es auch möglich die Zentralaufnahme auszuklammern, indem keine Öffnungszeit hinterlegt wird. Damit elektive Patienten nicht über den ganzen Tag hinweg und ggf. auch nachts aufgenommen werden, sind bereits bei der Terminvergabe Restriktionen zu den Aufnahmetermeninen hinterlegt. Etwaige Pausenzeiten der Pflegekräfte oder Ärzte auf den kard. Stationen werden über Verwaltungspfade, in gleicher Weise wie für die Funktions-/OP-Bereiche beschrieben (siehe Anhang A57), im Modell umgesetzt.

(c) Umsetzung der ärztlichen Ressource

Um die konkrete Umsetzung der ärztlichen Ressource auf den kard. Stationen im Modell zu definieren, bedarf es zunächst wieder einer Betrachtung der Gegebenheiten im Realsystem. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht schematisch den typischen Tagesablauf eines Stationsarztes, wie sich dieser im Realsystem darstellt (siehe Abb. 196).

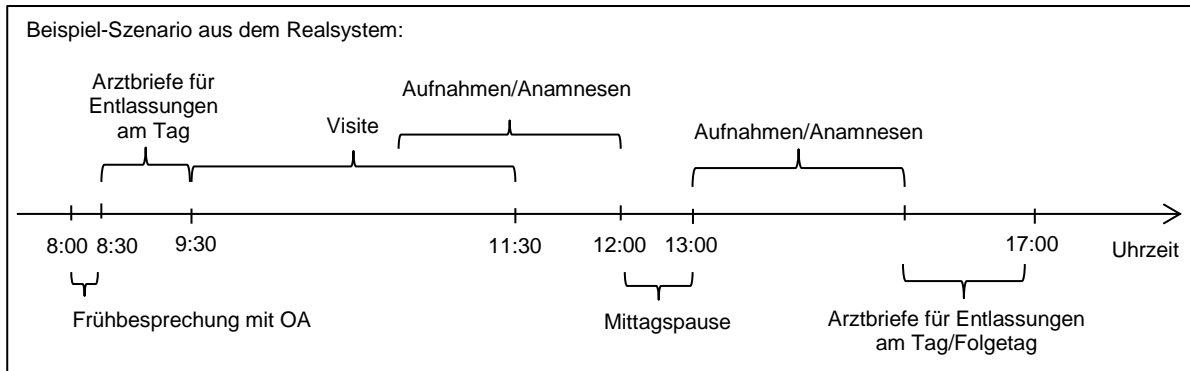


Abb. 196: Typischer Tagesverlauf der ärztlichen Ressource auf einer kard. Station im Realsystem

Der aufgezeigte typische Tagesverlauf variiert in der Zeit, bedingt durch Notfälle auf den Stationen und weitere Tätigkeiten (Nebentätigkeiten), welche ein Arzt auf Station nachkommen muss. Hierbei handelt es sich u.a. um:

- Telefonate,
- Ausbildung (Lehreinrichtung),
- Forschung,
- Konzile,
- Gespräche mit Angehörigen der Patienten,
- Abklärungen mit Hausärzten,
- Ambulanzdienst,
- allgemeine, nicht spezifische Verwaltungstätigkeiten und
- ggf. HKL-Untersuchungen.

Die Abbildung dieser Nebentätigkeiten ist relevant, um im Modell eine realistische Auslastung der ärztlichen Ressourcen zu erhalten. Die Abbildung dessen ist aber schwierig, da die aufgeführten Aktivitäten nicht innerhalb des Modells und den modellierten Behandlungspfaden ausgelöst werden können und die Umfänge im Realsystem nur teilweise erhoben werden konnten. Hinzu kommt, dass eine ärztliche Ressource im Realsystem urlaubsbedingt abwesend sein kann. Da je kard. Station zwei Stationsärzte eingesetzt sind, erfolgt die Kompensation im Realsystem durch den zweiten Arzt. Hierin ist ein deutlicher Unterschied zu den anderen personellen Ressourcen im Modell zu sehen, wo für die Ressourcenkapazität bisher von der regulären Schichtbesetzung ausgegangen werden konnte.

Mit den Ärzten wurde im Realsystem der Umfang der Nebentätigkeiten besprochen und eine Festlegung für das Modell getroffen. Danach ist der Umfang der hier als Nebentätigkeit verstandenen Aktivitäten ca. 50 % der Gesamteinsatzzeit pro Tag. Dies beinhaltet auch die kalkulierten Urlaubsabwesenheiten. Bei dem ärztlichen Pool je Station handelt es sich um vier Personen, wovon zwei Stationsärzte und zwei Ärzte in Ausbildung resp. Studenten im praktischen Jahr sind. Unter diesem Gesichtspunkt

wurde die Festlegung von zwei Ressourcenkapazitäten für die ärztliche Ressource je kard. Station getroffen. In wie fern diese Annahme zutreffend ist, wird im Rahmen der Modellvalidierung ermittelt und ggf. nachjustiert werden. Die dedizierte Abbildung der Nebentätigkeiten entfällt damit im Modell. Es sei darauf hingewiesen, dass die modellrelevanten Tätigkeiten, wie das Anfertigen des Arztbriefes (unter Rücksprache/Kontrolle mit einem Oberarzt) oder im Speziellen die Anamnesen, auch durch die Ärzte in Ausbildung resp. Studenten im praktischen Jahr ausgeführt werden. Entsprechend enthalten die zeitlichen Erhebungen zur Dauer der Aktivitäten in diesem Bereich auch die ggf. ausbildungsbedingt zeitlich länger dauernden Ausprägungen. Bezogen auf die Visite sind alle ärztlichen Ressourcen gemeinsam damit befasst und je Patienten gebunden. Somit ergibt sich auch hieraus, bezogen auf die getroffene Annahme, kein zusätzliches Abbildungserfordernis im Modell.

Die Anforderungen der ärztlichen Ressource für Aufnahmen, Anamnesen und zur Anfertigung der Arztbriefe ergeben sich im Modell durch den im Pfad modellierten Ablauf und werden durch die Patientenpartikel, welche auf diesen laufen, entsprechend im Simulationsverlauf angefordert.

Die Abbildung einer Frühbesprechung, Pausenzeiten, Beginn-Ende-Zeiten und auch der Visiten, welche zeitlich bestimmt sind, werden mit Hilfe von Kontroll- und Verwaltungspfaden, je nach Erfordernis mit/ohne Einbindung der Patientenressource umgesetzt (siehe Abb. 198). Auch hier werden über die Modellparameter die Gegebenheiten des Realsystems zugrunde gelegt.

Die Oberarztbesprechung wird derart umgesetzt, dass auf dem Kontroll- und Verwaltungspfad, zum Zeitpunkt des Beginns der Visite, ein entsprechender Partikel in der Arztressource eingelastet wird. Dieser Partikel bindet damit für die Dauer der Besprechung die Arztressource.

Im Rahmen der Kurvenvisite (ab 09:30 Uhr) wird jeder Stationspatient besprochen und ggf. weitere Maßnahmen oder die Entlassung angeordnet. Anschließend wird die Patientenvisite im Patientenzimmer durchgeführt. Der Kontroll- und Verwaltungspfad für die Abbildung der Kurvenvisite und Patientenvisite ist so aufgebaut, dass dieser zum Zeitpunkt des Beginns der Visitenzeiten (09:30 Uhr) getriggert wird. Zu diesem Zweck wird im Modell zunächst die Anzahl der belegten Bettenressourcen ermittelt. Für jeden Patienten wird nun ein Partikel für die Kurvenvisite in die Ressourcenwarteschlange der Arztressource eingesteuert. Mit Hilfe einer Verteilungsfunktion wird zufällig die jeweilige Dauer generiert. Die Verteilungsfunktion basiert auf den im Realsystem bemessenen Zeitumfängen und ist im Modell auf dieser Basis parametrisiert. Ebenso wird mit der Patientenvisite verfahren. Auch hier wird pro Patient ein Partikel in die

Ressourcenwarteschlange der Arztressource eingesteuert und die jeweilige Dauer über eine Verteilungsfunktion determiniert. Indem die Partikel einzeln je Patient und nicht als Block eingesteuert werden, besteht die Möglichkeit später jederzeit Notfälle einzuschieben. Die Patientenvisite verläuft ohne Allokation eines Patienten. Ist der Patient nicht im Zimmer, fällt im Realsystem die jeweilige Dauer entsprechend kurz aus. Diese Werte sind Teil der durchgeführten Erhebung und können so von der Verteilungsfunktion auch im Modell erzeugt werden. Somit ist die Allokation des Patienten für diesen Fall obsolet.

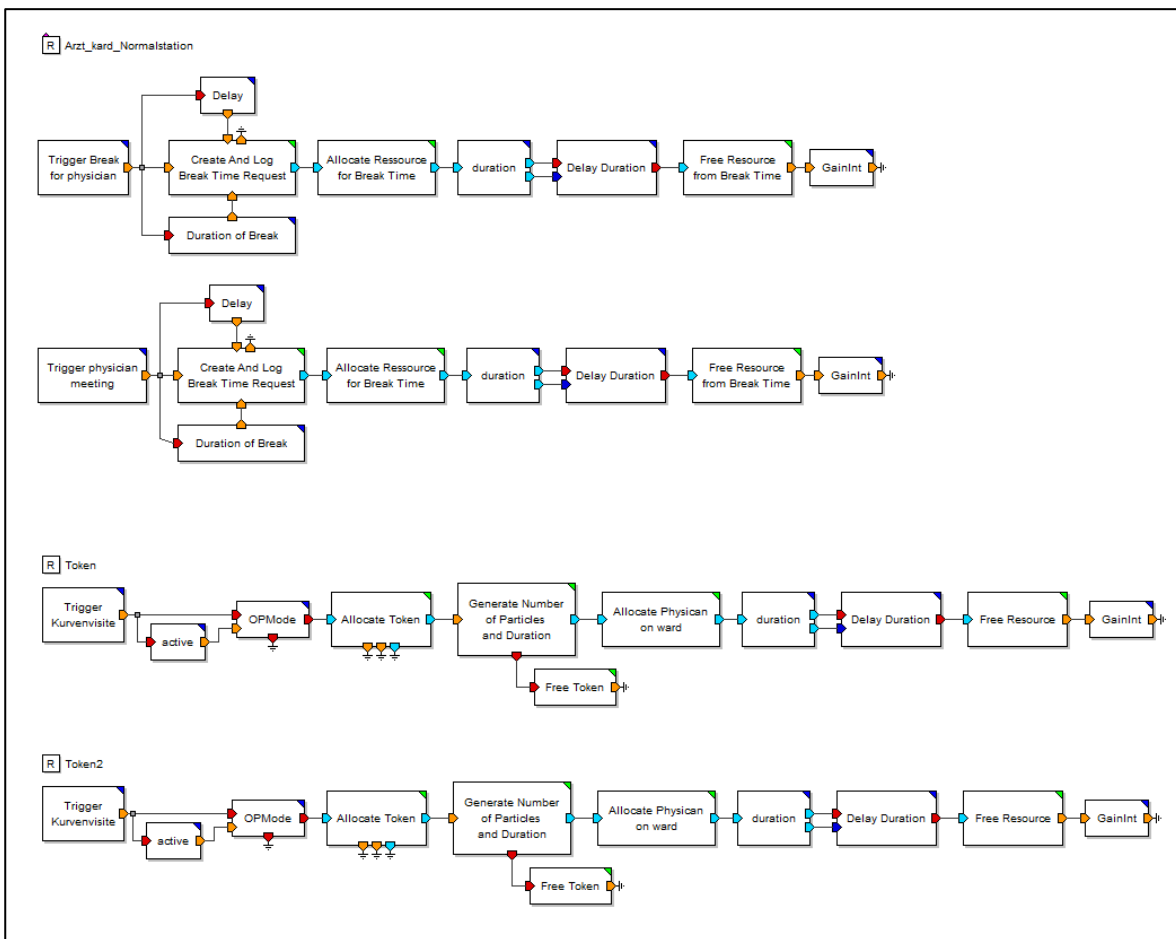


Abb. 197: Ausgewählte Verwaltungspfade der kard. Stationen im Modell

Damit nun die modellrelevanten Aktivitäten der Realität entsprechend im Modell abgearbeitet werden, ist wieder eine Priorisierung erforderlich (Auswahlproblematik). Die hierfür getroffene Priorisierung orientiert sich an den bisherigen Gegebenheiten. Notfälle sind oberste Priorität. Verbleibende Ressourcenanforderungen, wie Aufnahmen und Entlassungen sind gleich priorisiert. Eine Differenzierung in elektiv oder nicht-elektiv gibt es für die Aktivitäten der Stationsärzte auf den kard. Stationen nicht. Damit die Oberarztbesprechung und die Visiten pünktlich stattfinden und sich nicht z.B. durch

Aufnahmen verschieben, werden diese Aktivitäten auf dem entsprechenden Kontroll- und Verwaltungspfad höher priorisiert (siehe Abb. 198).

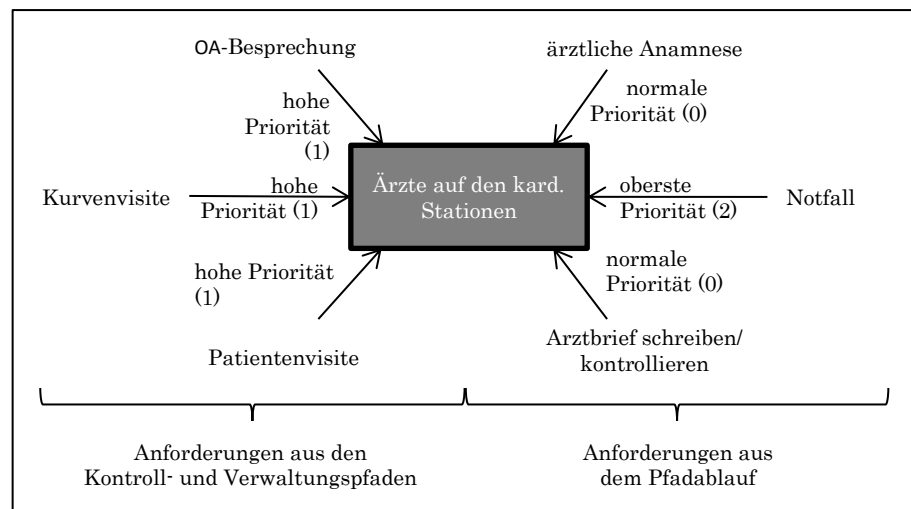


Abb. 198: Priorisierung bei der Auswahlentscheidung der ärztlichen Aktivitäten auf den kard. Stationen

(d) Umsetzung der Liegezeiten sowie Maßnahmen innerhalb dieser

Die Abbildung von Liegezeiten der Patienten auf den betrachteten kard. Stationen gestaltet sich im Modell, unter dem Gesichtspunkt der späteren Optimierung, nicht trivial. Die Liegezeit ist von außen betrachtet zu großen Teilen unbestimmt und bemisst sich im Realsystem u.a. am Zustand der Patienten, den durchzuführenden Maßnahmen und dem subjektiven Ermessen der behandelnden Stationsärzte.

Unabhängig vom Detailablauf, wird im Weiteren die Gesamtliegezeit in zwei Bereiche eingeteilt (siehe Abb. 199): eine Liegezeit, welche sich nach Analyse im Realsystem im Wesentlichen durch den Aufnahmeprozess (inkl. Ruhe-EKG) und der Durchlaufzeit der im Zuge dessen angesetzten Maßnahmen (Voruntersuchungen zur Abklärung), wie Echo-TTE/TEE, EKG-Belastung/Spiro und HKL-Maßnahmen determinieren lässt. In diesem Bereich wird später eine zeitliche Optimierung vollzogen. Darüber hinaus gibt es eine anschließende Liegezeit (Restliegezeit), welche zeitlich variabel ist und deren Länge im Realsystem, aus oben ausgeführten Gründen, eher unbestimmt ist. Damit ist dies zwar abgegrenzt, stellt aber noch keine ausreichende Basis dar, um im Modell abgebildet werden zu können.

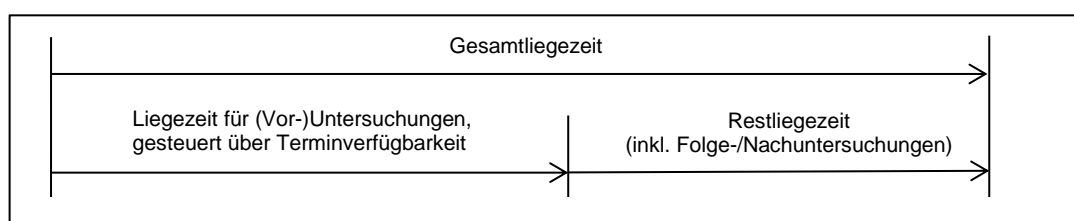


Abb. 199: Differenzierung der Liegezeit auf den kard. Stationen

Zur Abgrenzung der Restliegezeit und deren Abbildung im Modell bedarf es einer näheren Betrachtung. Hierzu sind im Folgenden verschiedene Varianten des möglichen Behandlungsablaufs im zeitlichen Verlauf dargestellt (siehe Abb. 200).

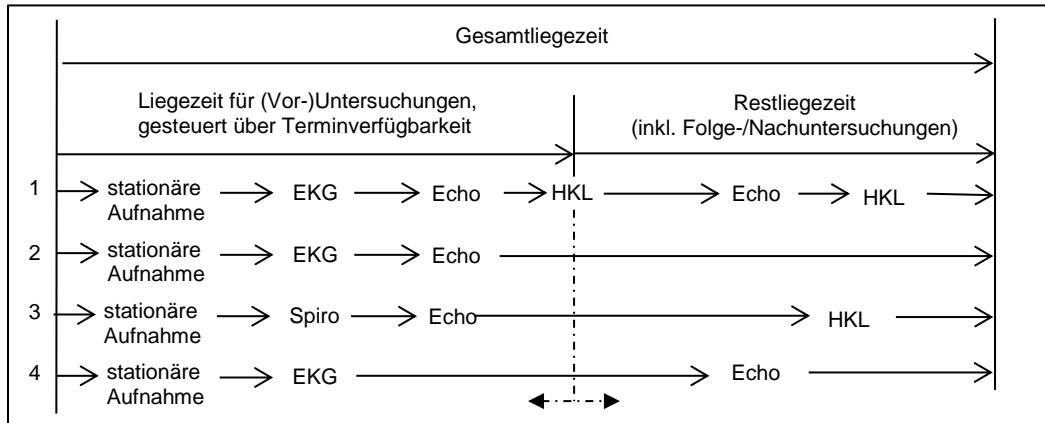


Abb. 200: Varianten des Ablaufs zur Abgrenzung der Restliegezeit

Der Zeitpunkt, zu dem für die Variante 1 in Abb. 200 der erste Teil der Liegezeit endet, ist der Beginn der ersten HKL-Maßnahme. Dies ist darin begründet, dass HKL-Patienten im Rahmen der Abklärung diverse Voruntersuchungen durchlaufen, welche eben mit der HKL-Maßnahme als letzte Maßnahme zur Abklärung resp. als Intervention enden. Zudem ist damit auch die Dauer bis zum HKL-Termin und somit die Terminverfügbarkeit dessen berücksichtigt. Auch auf der Seite der Realdaten (Bewegungsdaten aus dem SAP IS-H*med) lässt sich diese Abgrenzung eindeutig vornehmen, da ein entsprechender Zeitstempel zu diesen Maßnahmen dokumentiert ist. Darüber hinaus gibt es in den Realdaten Patienten, die entweder keine HKL-Maßnahme zur Abgrenzung haben (Variante 2 + 4) oder eine Maßnahme zu einem Zeitpunkt durchlaufen, welche über den eines nächst möglichem Termins hinausgeht (Variante 3 + 4). Auf Grund dessen bedarf es eines weiteren Abgrenzungskriteriums. Hierfür wird ein Zeitwert festgelegt, bis zu welchem die Maßnahmen als Teil der Voruntersuchung/Abklärung gelten. Das zeitliche Ende der Voruntersuchungen fällt dann auf den Zeitpunkt des Beginns der letzten Maßnahme innerhalb dieser zeitlichen Begrenzung.

Zur Bestimmung dieses Zeitwertes zur Begrenzung, bis zu welchem die Maßnahmen als Teil der Voruntersuchung gesehen werden, wird zunächst ein Histogramm auf Tagesbasis aufgestellt. Hieran ist ersichtlich, an welchem Tag des Aufenthaltes welcher mengenmäßige Umfang an Maßnahmen erfolgt (siehe Abb. 201).

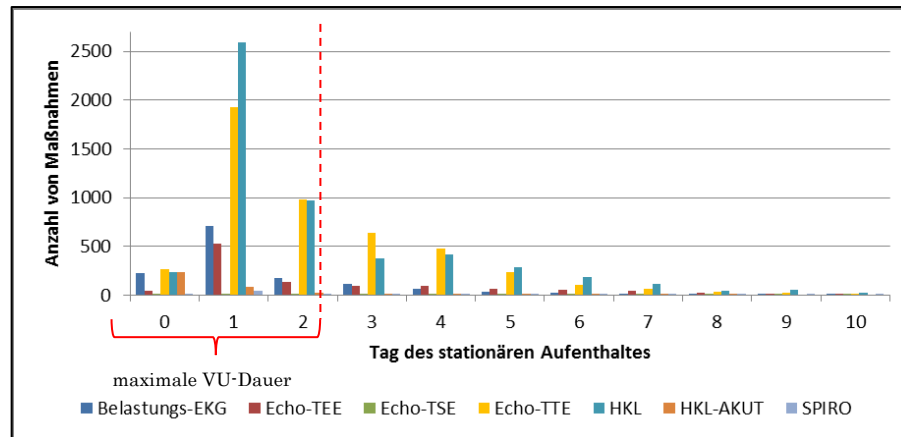


Abb. 201: Übersicht aller Maßnahmen zur Liegezeit bis zum Tag 10 eines Aufenthaltes – Einrichtung 3

In der Grafik bezeichnet 0 den Tag der Aufnahme. Wie erwartet, finden zu diesem verhältnismäßig wenige Maßnahmen statt.

Für den Modellaufbau wird als die zeitliche Begrenzung für die Voruntersuchungsdauer das Ende des zweiten vollen Tages (24:00 Uhr) gewählt (siehe Abb. 201). Innerhalb dessen gelten die Maßnahmen als Voruntersuchungen zur Abklärung. Damit fallen potentiell 78,67 % aller Maßnahmen in den Zeitblock der Voruntersuchungsdauer. Nach einer HKL-Untersuchung durchgeführte Maßnahmen sind nach der hier vorliegenden Abgrenzung immer als Teil der Restliegezeit zu werten. Auch, wenn diese noch innerhalb der eben vorgenommenen zeitlichen Abgrenzung liegen. Daher wird hier bewusst von potentiell gesprochen. Ebenso bleiben jene Patienten unberücksichtigt, welche während eines Aufenthaltes mehrmalig die kard. Stationen aufsuchen. In einem solchen Fall werden die Kriterien nur auf den ersten Aufenthalt auf einer der kard. Stationen angewendet. Schließlich gilt es, die Terminverfügbarkeit für die elektiv stationär aufgenommenen Patienten zu optimieren. Entsprechend wird die Abgrenzung auch nicht für Patienten auf den sonstigen Stationen angewendet. Damit verbleiben 59,88% der Maßnahmen zur Liegezeit auf den kard. Stationen als im Rahmen der Voruntersuchungsdauer.

Modellseitig werden die Maßnahmen zur Voruntersuchung mit dem nächst möglichen Termin angefragt. Maßnahmen in der Restliegezeit werden zu dem Tag der Liegezeit (gemessen ab dem Ende der Voruntersuchungen) angefragt, zu dem diese im Realsystem durchgeführt wurden. Auf diesem Wege wird die Restliegezeit über die durchzuführenden Maßnahmen modellseitig abgebildet.

Wie sich in den Realdaten gezeigt hat, kann es eine zeitliche Differenz geben, zwischen dem Zeitpunkt der letzten Maßnahme und dem Zeitpunkt der Entlassung/Verlegung. Diese zeitliche Differenz wird im Weiteren als „Entlassungszeit“ bezeichnet (siehe Abb.

202). Sie setzt sich zusammen aus der Zeit, welche noch eine reine Liegezeit darstellt (in Tagen), und der Zeit, welche dadurch bedingt ist, wann der Arzt die Entlassung anordnet, dem Patienten dieses mitteilt und der Patient dann schließlich das Stationsbett räumt (Minutenbasis).

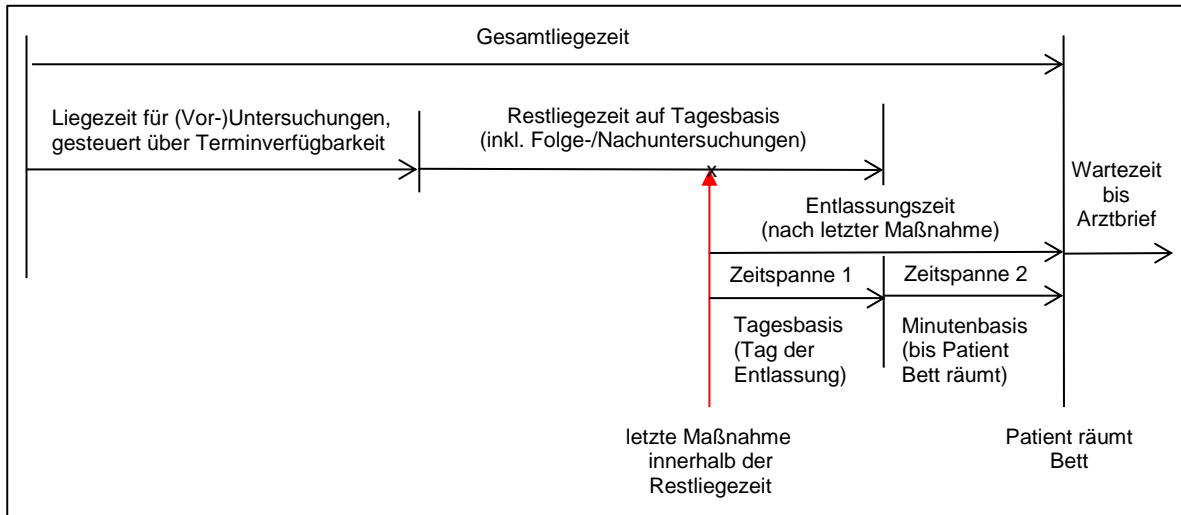


Abb. 202: Ergänzung der Gesamtliegezeit um Entlassungszeit

Zur Abbildung der Entlassungszeit im Modell wird zunächst mit Hilfe der Realdaten (je Patient) die Restliegezeit (auf Tagesbasis) ermittelt. Im Zuge der vorausgehenden Datenaufbereitung wird der Differenzwert (in Tagen) von der letzten durchzuführenden Maßnahme bis zum Tag der Entlassung als Liegezeit in den Patientenrohdaten hinterlegt (siehe Unterabschnitt 9.8.4 zur Struktur der Patientenrohdaten). Aus diesem Wert kann nun im Modell die restliche Liegezeit ermittelt werden. Dies bezeichnet die „Zeitspanne 1“ innerhalb der Restliegezeit und determiniert im Modell den Tag der Entlassung/ Verlegung (siehe Abb. 202). Ist der Ergebniswert 0, erfolgt nun (nach der letzten Maßnahme) ohne weiteres Zögern die Entlassung/Verlegung. Alternativ, wenn der Ergebniswert der Zeitspanne 1 größer ist als 0, wird der Patientenpartikel um diese Zeit verzögert. Da der Ergebniswert als ganzzahliger Wert in Tagen angegeben wird, fällt der Endzeitpunkt immer auf einen Tageswechsel (00:00 Uhr). Um nun die als „Zeitspanne 2“ bezeichnete Dauer zu determinieren, bis der Patient im Modell das Bett räumt und die Bettenressource freigegeben wird, konnte zur Abbildung auf die empirisch im Realsystem erhobenen Werte des entsprechenden Ereigniszeitpunktes zurückgegriffen werden. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht am Histogramm die Erhebungswerte zum Zeitpunkt der Bettenfreigabe (siehe Abb. 203).

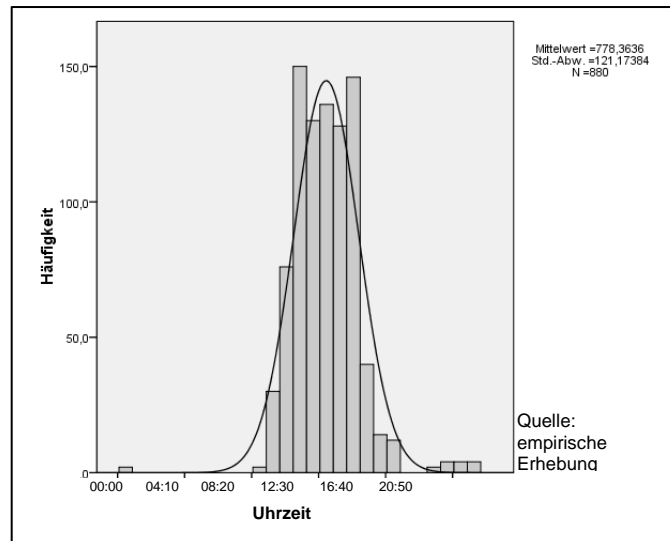


Abb. 203: Histogramm zur Verteilung der Zeitpunkte zu denen die Patienten das Stationsbett räumen (Einrichtung 3)

Im Modell wird zur Abbildung auf eine Normalverteilung abgestellt, welche basierend auf den Erhebungswerten parametrisiert wird.

In der bisherigen Festlegung zur Bestimmung der Liegezeit wird von mindestens einer Maßnahme je Patient in den Funktions-/OP-Bereichen (EKG, Echo und HKL) nach der stationären Aufnahme ausgegangen. Einen Sonderfall stellen Patienten dar, die keinerlei hier gegenständlicher Maßnahmen im gesamten Aufenthalt hatten, z.B. bei internen Verlegungen zur Überwachung. Für diese Patienten gibt es nur eine Restliegezeit und eine Entlassungszeit, welche die Liegezeit auf Tagesbasis (Zeitspanne 1) sowie die Festlegung hinsichtlich der Freigabe der Bettenressource (Zeitspanne 2) umsetzt.

Grundsätzlich könnten sich aus diesem Vorgehen im Modell Entlassungen (nach extern!) auch an Samstagen oder Sonntagen ergeben, welche auf Basis der Häufigkeit des Auftretens nicht mehr der Realität entsprechen würden. Im Realsystem wird versucht, Entlassungen, sofern medizinisch vertretbar, vorzuziehen, um die Anzahl der stationären Patienten am Wochenende so niedrig wie möglich zu halten. Dies auch vor dem Hintergrund der reduzierten personellen Ressourcen am Wochenende. Es ist wahrscheinlicher, dass ein Patient am Freitag entlassen wird, als dass dieser über das Wochenende auf der Station verbleibt und am Montagmorgen entlassen wird. Für das Modell wird angenommen, dass wenn die geplante Entlassung auf einen Samstag fällt, diese auf den Freitag vorgezogen wird. Sofern die Entlassung auf einen Sonntag fällt, wird die Entlassung auf Montag verschoben (vgl. [Mazier et al. 2010, S. 794]). Die Wahrscheinlichkeit hierfür wird im Modell mit 95% angenommen, was sich aus dem Verhältnis von Entlassungen/Verlegungen am Wochenende in Bezug auf Entlassungen/Verlegungen an Wochentagen, wie es sich im Realsystem zeigt, bezieht.

(e) Umsetzung von Notfällen zur Liegezeit auf den kard. Stationen

Ein Notfall kann zu jedem Zeitpunkt zur Liegezeit auf den kard. Stationen auftreten. Die Wahrscheinlichkeit dessen und der Zeitpunkt des Auftretens bestimmen sich durch die hinterlegten und an den Realdaten abgeleiteten Patientenrohdaten. Diese determinieren durch einen entsprechenden Vermerk („akut“), dass ein Notfall eintritt.

Die Einsteuerung von Notfällen übernimmt im Modell das im Anhang A55 0 beschriebene Modul „Aufstellen des Maßnahmenplans“. Das Modul liest die dem ankommenden Partikel zugeordneten Patientenrohdaten aus. Lautet der Eintrag nun z.B. auf eine akute HKL-Maßnahme, wird ein Partikel auf den Notfallzweig gelegt (siehe Anhang A47 – „Verfeinerung: Voruntersuchungen und stationärer Aufenthalt“). Der Partikel wird auf diesem Pfadzweig bis zum in den Patientenrohdaten hinterlegten Zeitpunkt des Notfalls verzögert. Zum jeweiligen Zeitpunkt wird der Patient allokiert und durchläuft den Notfallpfad. Auf diesem Wege ist determiniert, wann und welcher Patient (ablauftechnisch quasi zufällig) als Notfall zur Liegezeit in Erscheinung tritt. Die Zufälligkeit ist gegeben indem der Patientenverlauf mit Erzeugung der Patientenpartikel zufällig aus den Rohdaten gezogen wird. Das heißt, bei jedem Modelldurchlauf kann ein Notfall bei einem anderen Patienten, zu einer anderen Zeit oder gar nicht auftreten.

A63. Umsetzung der Funktions- /OP-Bereiche sowie Notfälle innerhalb dieser

Die betrachteten Bereiche sind in ihrer Umsetzung im Modell in Modulen gekapselt. Die Module verfügen über die erforderlichen Eingangs- und Ausgangsports, um die Patientenpartikel zu empfangen und nach Bearbeitung weiterzuleiten. Auch die jeweiligen Ressourcen sind mittels Allokations- und Deallokationspunkten bereits über den Modellimport enthalten (siehe Abb. 204). Der Funktionsbereich ist abgebildet, wie die schematische Darstellung im Anhang A58 (f) die Abb. 186 für das ECHO es beispielhaft aufzeigt.

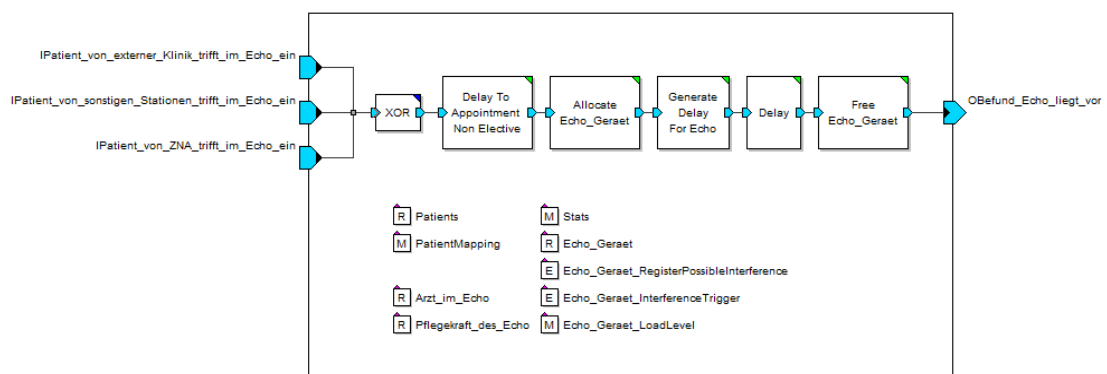


Abb. 204: Implementierung des Funktionsbereiches Echokardiografie als Modul

Auch in den Funktions-/OP-Bereichen können Notfälle auftreten. Im Modell wird dies nur für den Bereich HKL berücksichtigt, da nur hier etwaige Notfälle im Realsystem beobachtet wurden. Notfalleanforderungen, die z.B. von den kard. Stationen kommen, werden modellseitig an das HKL zur Umsetzung einer akuten Maßnahme überstellt. Treten derartige Notfälle oder Komplikationen im HKL auf, kann sich die Maßnahmendauer auf der Basis verlängern. Zeitliche Schwankungen wie durch Komplikationen oder Notfälle sind bereits mit der Maßnahmendauer erhoben und werden über die Verteilungsfunktion zur Bestimmung der Maßnahmendauern berücksichtigt. Darüber hinaus kann auf der Basis der weitere Pfadablauf variieren. Im weiteren Prozessablauf sind Verzweigungen modelliert z.B. aus Sicht des HKLs die anschließende Verlegung auf eine Intensivstation/ Überwachungsstation (siehe Anhang A47 – Verfeinerung „Voruntersuchungen und stationärer Aufenthalt“). Mit einer definierten Wahrscheinlichkeit kann es im HKL zu Komplikationen und Notfällen kommen. Entsprechend dessen werden die Patienten im HKL nach der Maßnahme auf die Überwachungsstation oder die Intensivstation verlegt, anstelle der Rückführung auf die entsendende Normalstation. Hierfür sind in den Patientenrohdaten entsprechende Stationswechsel vermerkt.

A64. Umsetzung der sonstigen Bereiche und Notfälle innerhalb dieser

Grundsätzlich können Patienten im Zuge ihres Aufenthaltes in der Klinik auch nicht-kardiologische Bereiche (hier als sonstige Bereiche bezeichnet) aufsuchen. Sonstige Bereiche werden im Modell kapazitätslos abgebildet und verzögern die Patientenartikel nur zeitlich, um die in den Patientenrohdaten hinterlegte Dauer des Stationsaufenthaltes, bzw. bis die Maßnahmen, welche in Funktions-/OP-Bereichen durchzuführen sind, im Modell entsprechend den Anforderung aus den Patientenrohdaten (auch terminlich) abgearbeitet wurden. Sofern die Patienten im Verlauf noch keinen direkt betrachteten kard. Bereich aufgesucht haben und somit erstmalig auf einen solchen treffen, sind diese als nicht geplante Zugänge (nicht-elektiv) im Modell ausgelegt und werden als Quelle abgebildet. Unterabschnitt 9.7.2 führt bereits hinsichtlich der Zugänge von sonstigen Bereichen aus. Notfälle, welche von den sonstigen Bereichen auf die hier direkt betrachteten Bereiche einfließen, werden über eine dedizierte Quelle (HKL_3) von den regulären Zugängen abgegrenzt und entsprechend im hinterlegten Pfadablauf mit höherer Priorisierung als Notfalleinweisung gekennzeichnet in die Ressourcenwarteschlange des OP-Bereichs eingestellt.

A65. Umsetzung von Wegezeiten im Modell

Für gewöhnlich sind die verschiedenen Bereiche, welche ein Patient im Rahmen des Klinikaufenthaltes durchläuft, örtlich getrennt. Hieraus ergeben sich Wegezeiten. Je nach der Konstitution und medizinischen Erfordernissen kann der Patient im Realsystem allein die Bereiche aufsuchen oder wird mittels eines Transportdienstes dahin verbracht. Etwaige Wege-/Transporterfordernisse sind bereits in der dem Simulationsmodell zugrunde liegenden eEPK berücksichtigt, durch Prozessschritte wie „Patient geht zur Station / wird zur Station verbracht“. Die Wegezeiten der Patienten wurden im Realsystem erhoben (siehe Unterabschnitt 6.3.9) und werden im Simulationsmodell über Parameter hinterlegt. Der Erhebungsumfang beinhaltete Patienten mit und ohne Nutzung des Transportdienstes. Je nach dem, von welchem Bereich zu welchem Bereich der Patient sich bewegt, wird in dem jeweiligen Prozessschritt der Partikel um die jeweilige Dauer verzögert. Die Hinterlegung im Modell erfolgt entweder als Verteilungsfunktion bzw. über Mindestwerte, sodass die modellseitig erzeugten Wegezeit das gesetzte Mindestmaß nicht unterschreiten, z.B. bei modellseitig zum Termin zu früh vorgesehenem Auftreten der Patienten.

A66. Übersicht wesentlicher Tabellen in der zentralen Datenbank

Tabellenname	Beschreibung
<i>activity</i>	Liste aller Aktivitätstypen <i>activity_kind</i> (z.B. Aufnahme, Blutbefund, no-show, etc.) und Zuordnung dieser zu einzelnen Bereichen <i>activity_type</i> (z.B. Echo, kard. Station, etc.)
<i>patient_type</i>	Hält die möglichen Patientenverläufe (Patientenrohdaten) vor, welche aus den Realdaten abgeleitet wurden und aus denen zur Simulationszeit zufällig gezogen wird.
<i>resource</i>	Liste aller Ressourcen, Dimensionszuordnung (mehrdimensionale Ressourcen im Modell) und Größe einer Termineinheit je Ressource
<i>appointment</i>	Liste aller verfügbaren und vereinbarten Termine (Terminkalender) gemäß den Terminrestriktionen wie Öffnungszeiten und Pausenzeiten
<i>calendar_week</i>	Liste mit fortlaufender Nummerierung der Kalenderwochen je Simulations-ID
<i>patient</i>	Dokumentation der Simulation in Form einer Liste der Zuordnung von Patienten <i>patient_id</i> , den Zugangspunkten <i>source</i> und der referenzierten Patiententypen <i>patient_type</i> . Letzteres gibt Auskunft darüber, welcher Verlauf (bezogen auf die Realdaten) zur Simulationszeit zufällig zugewiesen wurde.
<i>patient_activity</i>	Dokumentation der Simulation in Form der Bewegungsdaten. Hier ist jede Bewegung eines Patienten im Simulationslauf mit Zeitangaben und weiteren Merkmalen dokumentiert.
<i>patient_source</i>	enthält für jede Simulation <i>sim_id</i> die Planung (<i>day_of_week + minutes</i>) der Patientenzugänge sämtlicher Zugangspunkte <i>source</i> . Die Planungs-ID <i>id</i> unterscheidet Patienten eines Zugangspunktes.
<i>schedule_template</i>	Template für die Parametrisierung der Terminkalender in den Funktions-/OP-Bereichen (jeder Funktions-/OP-Bereich teils auch je Ressource, besitzen einen eigenen Terminkalender)
<i>simulation</i>	Speichert Nummer des Simulationslaufes und Ergebniswerte/Kennzahlen.

Tab. 129: Übersicht wesentlicher Tabellen in der zentralen Datenbank

A67. Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung der Quellen im Ist-Modell - Zugangsplanung

Parameterbezeichnung	Beschreibung	AMB_1	AMB_2	AMB_3	STA_1	STA_2	STA_3	STA_4	STA_5	STA_6	STA_7
MONDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Montag im Minimum	1	0	0	4	3	2	0	0	0	0
MONDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Montag im Maximum	8	0	0	8	9	9	3	2	0	0
MONDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Montag im Mittel	5.0833	0	0	6.4783	6.4348	4.3478	1.0870	0.5217	0	0
MONDAY_ACTIVE	Quelle am Montag aktiv (1) inaktiv (0)	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
TUESDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Dienstag im Minimum	4	1	0	4	4	0	0	0	0	0
TUESDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Dienstag im Maximum	9	5	0	10	8	6	3	2	0	0
TUESDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Dienstag im Mittel	6.8462	2.8261	0	6.5200	6.2000	3.4231	1.0400	0.5200	0	0
TUESDAY_ACTIVE	Quelle am Dienstag aktiv (1) inaktiv (0)	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0
WEDNESDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Minimum	2	3	0	1	3	1	0	0	0	0
WEDNESDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Maximum	9	7	0	8	8	7	4	2	1	0
WEDNESDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Mittel	6.0000	4.3077	0	6.0400	5.7917	3.6400	1.2400	0.5600	0.0385	0
WEDNESDAY_ACTIVE	Quelle am Mittwoch aktiv (1) inaktiv (0)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
THURSDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Minimum	2	1	0	3	1	1	0	0	0	0
THURSDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Maximum	8	7	0	8	8	7	2	2	1	1
THURSDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Mittel	6.1600	4.2800	0	5.6400	5.3600	3.8400	0.5385	0.4800	0.0800	0.1200
THURSDAY_ACTIVE	Quelle am Donnerstag aktiv (1) inaktiv (0)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
FRIDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Freitag im Minimum	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
FRIDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Freitag im Maximum	9	9	0	5	3	8	4	3	1	1
FRIDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Freitag im Mittel	5.9130	6.3200	0	1.3333	1.0000	4.0400	1.1540	0.7600	0.0800	0.2769
FRIDAY_ACTIVE	Quelle am Freitag aktiv (1) inaktiv (0)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
SATURDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Samstag im Minimum	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SATURDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Samstag im Maximum	0	0	0	1	1	8	3	2	0	0
SATURDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Samstag im Mittel	0	0	0	0.0833	0.385	2.8400	0.9200	0.2400	0	0
SATURDAY_ACTIVE	Quelle am Samstag aktiv (1) inaktiv (0)	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
SUNDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Sonntag im Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUNDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Sonntag im Maximum	0	0	0	3	2	6	2	2	0	0
SUNDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Sonntag im Mittel	0	0	0	0.6800	0.3077	3.2800	0.5600	0.1200	0	0
SUNDAY_ACTIVE	Quelle am Sonntag aktiv (1) inaktiv (0)	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0

Parameterbezeichnung	Beschreibung	EKG_1	EKG_2	EKG_3	ECHO_1	ECHO_2	ECHO_3	HKL_1	HKL2	HKL_3
MONDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Montag im Minimum	0	0	0	0	1	5	0	0	0
MONDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Montag im Maximum	0	8	5	0	10	23	2	7	6
MONDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Montag im Mittel	0	3.9595	2.3043	0	6.1739	13.8696	0.3478	2.917	1.8333
MONDAY_ACTIVE	Quelle am Montag aktiv (1) inaktiv (0)	0	1	1	0	1	1	1	1	1
TUESDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Dienstag im Minimum	0	0	1	0	0	7	0	0	0
TUESDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Dienstag im Maximum	0	4	5	0	9	23	2	6	4
TUESDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Dienstag im Mittel	0	1.7200	2.8846	0	3.4231	15.7200	0.2800	1.6538	1.846
TUESDAY_ACTIVE	Quelle am Dienstag aktiv (1) inaktiv (0)	0	1	1	0	1	1	1	1	1
WEDNESDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Minimum	0	0	0	0	3	7	0	0	0
WEDNESDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Maximum	0	6	5	0	10	25	2	6	5
WEDNESDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Mittwoch im Mittel	0	2.3200	2.8000	0	5.2692	14.9200	0.1538	2.1600	1.6154
WEDNESDAY_ACTIVE	Quelle am Mittwoch aktiv (1) inaktiv (0)	0	1	1	0	1	1	1	1	1
THURSDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Minimum	0	0	0	0	2	9	0	0	0
THURSDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Maximum	0	6	5	0	9	27	2	5	4
THURSDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Donnerstag im Mittel	0	2.0800	2.6000	0	5.0400	16.6000	0.2000	2.2800	1.4231
THURSDAY_ACTIVE	Quelle am Donnerstag aktiv (1) inaktiv (0)	0	1	1	0	1	1	1	1	1
FRIDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Freitag im Minimum	0	0	0	0	0	7	0	0	0
FRIDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Freitag im Maximum	0	6	5	0	8	23	1	5	7
FRIDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Freitag im Mittel	0	1.4800	2.3200	0	2.9200	15.2400	0.0800	2.0000	1.6154
FRIDAY_ACTIVE	Quelle am Freitag aktiv (1) inaktiv (0)	0	1	1	0	1	1	1	1	1
SATURDAY_Quantity_Min	Anzahl der Patienten am Samstag im Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SATURDAY_Quantity_Max	Anzahl der Patienten am Samstag im Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	6
SATURDAY_Quantity_Mean	Anzahl der Patienten am Samstag im Mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13704
SATURDAY_ACTIVE	Quelle am Samstag aktiv (1) inaktiv (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1

A68. Überblick Öffnungs-, Pausen- und Abwesenheitszeiten

Beschreibung	Öffnungszeit / Dienstzeit		(Dienst-) Ende freitags	Pause, dienstliche Abwesenheit		Pause, dienstliche Abwesenheit	
	Beginn	Ende	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Verwaltung							
Zentralaufnahme	7:00	15:30	14:30	-	-	-	-
Terminvergabe	11:00	12:00	-	-	-	-	-
administrative Aufnahme kard. Stationen	11:00	12:00	-	-	-	-	-
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
kard. Ambulanz							
Terminvergabe	07:30	12:30	-	-	-	-	-
Aufnahme kard. Ambulanz	07:30	16:30	-	12:30	13:00	-	-
Pflege Ambulanz	07:30	15:30	-	13:00	13:30	-	-
Ambulanzzarzt	08:00	16:30	-	12:00	12:30	-	-
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
kard. Station 1							
elektive Aufnahmen	07:30	16:30	-	13:30	14:00	-	-
Stationsarzt	07:30	16:30	-	08:00	08:30	12:00	13:00
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
kard. Station 2							
elektive Aufnahmen	07:30	16:30	-	13:30	14:00	-	-
Stationsarzt	07:30	16:30	-	08:00	08:30	12:00	13:00
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
Echokardiografie							
Terminvergabe	07:45	15:30	-	-	-	-	-
Echo-Gerät 1 (normales Echo)	07:30	16:30	16:00	12:00	13:00	-	-
Echo-Gerät 2 (Schluck-/Stressecho)	07:30	16:30	16:00	12:00	13:00	-	-
Echo-Gerät 3 (normales Echo)	08:30	12:30	-	-	-	-	-
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
Elektrokardiografie							
Terminvergabe	08:00	15:00	-	-	-	-	-
Spiro-EKG	07:30	16:00	-	-	-	-	-
Belastungs-EKG	07:30	16:00	-	-	-	-	-
Quelle: Interviews/Schichtpläne							
Herzkatheterlabor							
Terminvergabe (Belegungszeit)	gemäß Laboröffnungszeit						
HKL1	07:30	17:15	-	-	-	-	-
HKL2	08:45	15:30	-	-	-	-	-
HKL3 (EPU)	07:30	17:15	16:00	-	-	-	-
HKL4	Verfügbarkeit Mo., Mi., Fr. halbtags bei Bedarf						
Quelle: Interviews/Schichtpläne							

Tab. 130: Übersicht der Ressourcenparameter und Verfügbarkeiten im Ist-Modell (Einrichtung 3)

A69. Überblick zur Dauer der Maßnahmen und Prozessschritte

Beschreibung	N	Min	Max	Mittelwert	St.Abw.	log.-Normal Fehler 1. Ordnung	Normal Fehler 1. Ordnung	Exponent. Fehler 1. Ordnung
kard. Ambulanz								
Anfertigung Ruhe-EKG inkl. Information über Ablauf	95	3	50	10,1789	7,1130	.059	.000	.000
Durchführung ärztl. Anamnese / Durchsicht der Befunde + Festlegung Maßnahmenplan (Arztgespräch)	76	2	80	15,2895	10,4343	.054	.005	.000
Quelle: Erhebungsbogen kard. Amb. (2012)								
kard. Stationen								
Aufnahme des Patienten im SAP - Verwaltung	40	2	10	3,8000	1,4536	.033	.014	.000
Patient geht zur Station / wird zur Station verbracht*	8	2	10	4,8750	3,0909	.706	.677	.260
Vorbereiten Unterlagen für den stationären Aufenthalt	17	5	16	11,7059	3,3868	.969	.515	.001
Einweisung im Patientenzimmer*	6	2	7	4,5000	1,7607	.459	.646	.334
Anamnese Pflege	12	4	25	8,6667	6,3580	.627	.384	.057
Anfertigung Ruhe EKG	6	3	6	4,8333	1,3292	.540	.512	.106
Anamnese Ärzte inkl. Blutentnahme	8	14	45	26,1250	10,5619	.898	.915	.093
Patient gibt Urinprobe ab*	9	63	260	170,0000	75,9676	.544	.778	.284
Untersuchung Proben im Labor	9	112	596	223,8889	147,1737	.585	.232	.091
Aufstellen des Maßnahmenplans*	23	0	12	3,5217	2,9212	.255	.066	.227
Kurvervisite (Verwaltungspfad)	21	1	6	3,0476	1,6875	.656	.592	.061
Visite (Verwaltungspfad)	15	0	5	1,9333	1,2799	.360	.336	.085
Vorbereitung HKL*	14	5	13	8,7143	3,1238	.667	.504	.007
Transport zum HKL (von Anmeldung des Transportes)	11	5	20	10,9091	4,9891	.920	.168	.003
Diktieren des Arztbriefes	15	9	34	19,4000	8,0870	.487	.815	.024
Arztbrief schreiben (Verwaltung)	20	30	245	103,5000	72,1676	.728	.037	.068
Arztbrief Prüfen und Unterzeichnen*	9	3	12	7,5556	2,9627	.443	.589	.236
* Stichprobe nicht zweigeteilt Quelle: empirische Erhebung (diverse Erhebungsbögen) (2012,2013)								
Echokardiografie								
ECHO-TTE	101	4	83	18,3267	12,0691	.548	.078	.000
ECHO-TEE	24	5	60	21,9167	12,8838	.837	.199	.021
ECHO-TSE*	4	30	45	37,7500	6,6018	.999	.999	.313
Dauer Befund	48	0	55	8,79167	10,3881	.080	.023	.083
Weg von/zu kard. Station 1*	12	2	38	14,9167	11,0244	.500	.450	.107
Weg von/zu kard. Station 2	13	2	11	6,23077	2,8330	.858	.793	.110
* Stichprobe nicht zweigeteilt Quelle: Erhebungsbogen ECHO (2012)								
Elektrokardiografie								
EKG-Belastung	148	2	44	17,0811	7,3072	.069	.028	.000
EKG-Spiro	22	10	45	29,9545	0,4217	.009	.057	.001
Weg von/zu kard. Station 1	15	2	31	10,8000	7,8849	.960	.099	.102
Weg von/zu kard. Station 2	25	1	12	5,6800	2,7496	.828	.510	.007
Quelle: Erhebungsbogen EKG (2012)								
Herzkatheterlabor								
Transport zum HKL (von kard. Station 1)	121	5	98	23,0248	15,2416	.287	.000	.000
Transport zum HKL (von kard. Station 2)	83	4	130	20,4940	14,3708	.308	.003	.000
HKL-Coro inkl. evtl. enthaltener PTCA, Biopsie etc.	97	17	140	65,8144	27,5240	.824	.022	.000
HKL-Re-/Li-Katheter	7	43	85	68,5714	15,1861	.897	.878	.064
HKL-PTCA	9	55	110	82,333	17,5214	.986	.898	.015
HKL-PTA	58	51	270	112,0345	42,8731	.634	.734	.000
HKL-TAVI	4	118	328	188,0000	96,9536	.937	.804	.259
HKL-EPU Stimulation (inkl. evtl. Ablation)	12	58	290	96,4167	62,8251	.376	.054	.008
HKL-Ablation (einfach)	4	70	120	96,5000	25,6970	.804	.810	.160
HKL-Ablation (komplex)	6	69	338	200,1667	102,1478	.922	.991	.588
HKL-MitraClip	3	279	845	473,0000	322,2608	.681	.664	.472
HKL-Sonstige (PFO-/LAA-Okkluder, ICD)	9	56	172	116,1111	38,5436	.658	.936	.110
Quelle: Erhebungsbogen HKL (2012)								

A70. Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung von Prozess- und Maßnahmendauern im Ist-Modell

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
EKG_SPIRO_Mean	3.3346	Dauer der EKG-Spiro Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
EKG_SPIRO_Variance	0.1256	Varianz in der Dauer der EKG-Spiro Maßnahmen (logarithmiert)
EKG_SPIRO_Min	10	Dauer der EKG-Spiro Maßnahmen im Minimum
EKG_SPIRO_Max	45	Dauer der EKG-Spiro Maßnahmen im Maximum
EKG_BELAS_Mean	2.7590	Dauer der EKG-Belastung Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
EKG_BELAS_Variance	0.1836	Varianz in der Dauer der EKG-Belastung Maßnahmen (logarithmiert)
EKG_BELAS_Min	2	Dauer der EKG-Belastung Maßnahmen im Minimum
EKG_BELAS_Max	44	Dauer der EKG-Belastung Maßnahmen im Maximum
ECHO_TSE_Mean	3.6192	Dauer der ECHO-TSE Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
ECHO_TSE_Variance	0.0319	Varianz in der Dauer der ECHO-TSE Maßnahmen (logarithmiert)
ECHO_TSE_Min	30	Dauer der ECHO-TSE Maßnahmen im Minimum
ECHO_TSE_Max	45	Dauer der ECHO-TSE Maßnahmen im Maximum
ECHO_TEE_Mean	2.9393	Dauer der ECHO-TEE Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
ECHO_TEE_Variance	0,3107	Varianz in der Dauer der ECHO-TEE Maßnahmen (logarithmiert)
ECHO_TEE_Min	5	Dauer der ECHO-TEE Maßnahmen im Minimum
ECHO_TEE_Max	60	Dauer der ECHO-TEE Maßnahmen im Maximum
ECHO_TTE_Mean	2.7195	Dauer der ECHO-TTE Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
ECHO_TTE_Variance	0.3886	Varianz in der Dauer der ECHO-TTE Maßnahmen (logarithmiert)
ECHO_TTE_Min	4	Dauer der ECHO-TTE Maßnahmen im Minimum
ECHO_TTE_Max	83	Dauer der ECHO-TTE Maßnahmen im Maximum
HKL_CORO_Mean	4.0937	Dauer der HKL-CORO Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_CORO_Variance	0.1718	Varianz in der Dauer der HKL-CORO Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_CORO_Min	17	Dauer der HKL-CORO Maßnahmen im Minimum
HKL_CORO_Max	140	Dauer der HKL-CORO Maßnahmen im Maximum
HKL_KATH_Mean	4.2043	Dauer der HKL-KATH Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_KATH_Variance	0.0586	Varianz in der Dauer der HKL-KATH Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_KATH_Min	43	Dauer der HKL-KATH Maßnahmen im Minimum
HKL_KATH_Max	85	Dauer der HKL-KATH Maßnahmen im Maximum
HKL_PTCA_Mean	4.3901	Dauer der HKL-PTCA Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_PTCA_Variance	0.0475	Varianz in der Dauer der HKL-PTCA Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_PTCA_Min	55	Dauer der HKL-PTCA Maßnahmen im Minimum
HKL_PTCA_Max	110	Dauer der HKL-PTCA Maßnahmen im Maximum
HKL_PTA_Mean	4.6385	Dauer der HKL-PTA Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_PTA_Variance	0.1374	Varianz in der Dauer der HKL-PTA Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_PTA_Min	51	Dauer der HKL-PTA Maßnahmen im Minimum
HKL_PTA_Max	270	Dauer der HKL-PTA Maßnahmen im Maximum
HKL_TAVI_Mean	5.1494	Dauer der HKL-TAVI Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_TAVI_Variance	0.2157	Varianz in der Dauer der HKL-TAVI Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_TAVI_Min	118	Dauer der HKL-TAVI Maßnahmen im Minimum
HKL_TAVI_Max	328	Dauer der HKL-TAVI Maßnahmen im Maximum
HKL_EPU_Mean	4.4587	Dauer der HKL-EPU Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_EPU_Variance	0.1825	Varianz in der Dauer der HKL-EPU Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_EPU_Min	58	Dauer der HKL-EPU Maßnahmen im Minimum
HKL_EPU_Max	290	Dauer der HKL-EPU Maßnahmen im Maximum
HKL_ABLAE_Mean	4.5419	Dauer der HKL-ABLAE Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_ABLAE_Variance	0.0749	Varianz in der Dauer der HKL-ABLAE Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_ABLAE_Min	70	Dauer der HKL-ABLAE Maßnahmen im Minimum
HKL_ABLAE_Max	120	Dauer der HKL-ABLAE Maßnahmen im Maximum
HKL_ABLAK_Mean	5.1628	Dauer der HKL-ABLAK Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_ABLAK_Variance	0.3705	Varianz in der Dauer der HKL-ABLAK Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_ABLAK_Min	69	Dauer der HKL-ABLAK Maßnahmen im Minimum
HKL_ABLAK_Max	338	Dauer der HKL-ABLAK Maßnahmen im Maximum
HKL_MITRA_Mean	6.0192	Dauer der HKL-MITRA Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_MITRA_Variance	0.3898	Varianz in der Dauer der HKL-MITRA Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_MITRA_Min	279	Dauer der HKL-MITRA Maßnahmen im Minimum
HKL_MITRA_Max	845	Dauer der HKL-MITRA Maßnahmen im Maximum
HKL_SONST_Mean	5.1494	Dauer der HKL-SONST Maßnahmen im Mittel (logarithmiert)
HKL_SONST_Variance	0.1367	Varianz in der Dauer der HKL-SONST Maßnahmen (logarithmiert)
HKL_SONST_Min	56	Dauer der HKL-SONST Maßnahmen im Minimum
HKL_SONST_Max	172	Dauer der HKL-SONST Maßnahmen im Maximum

Anhang

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
AMBULANZ_RUHE_EKG_Mean	2.1691	Dauer der Durchführung des Ruhe-EKGs im Mittel (logarithmiert)
AMBULANZ_RUHE_EKG_Variance	0.2842	Varianz in der Dauer der Durchführung des Ruhe-EKGs (logarithmiert)
AMBULANZ_RUHE_EKG_Min	3	Dauer der Durchführung des Ruhe-EKGs im Minimum
AMBULANZ_RUHE_EKG_Max	50	Dauer der Durchführung des Ruhe-EKGs im Maximum
AMBULANZ_ANMELDUNG_Mean	1.2474	Dauer der Durchführung der Anmeldung im Mittel (logarithmiert)
AMBULANZ_ANMELDUNG_Variance	0.0833	Varianz in der Dauer der Durchführung der Anmeldung (logarithmiert)
AMBULANZ_ANMELDUNG_Min	2	Dauer der Durchführung der Anmeldung im Minimum
AMBULANZ_ANMELDUNG_Max	10	Dauer der Durchführung der Anmeldung im Maximum
HKL_AUFKLAERUNG_Mean	1.6472	Dauer der Durchführung der Aufklärung im Mittel (logarithmiert)
HKL_AUFKLAERUNG_Variance	0.0794	Varianz in der Dauer der Durchführung der Aufklärung (logarithmiert)
HKL_AUFKLAERUNG_Min	4	Dauer der Durchführung der Aufklärung im Minimum
HKL_AUFKLAERUNG_Max	7	Dauer der Durchführung der Aufklärung im Maximum
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_Mean	2.8921	Dauer der Durchführung des Diktierens des Arztbriefes im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_Variance	0.2199	Varianz in der Dauer der Durchführung des Diktierens des Arztbriefes (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_Min	9	Dauer der Durchführung des Diktierens des Arztbriefes im Minimum
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_Max	34	Dauer der Durchführung des Diktierens des Arztbriefes im Maximum
KARDSTAT_SCHREIBKRAFT_BRIEF_Mean	4.4580	Dauer der Durchführung des Schreibens des Arztbriefes im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_SCHREIBKRAFT_BRIEF_Variance	0.3874	Varianz in der Dauer der Durchführung des Schreibens des Arztbriefes (logarithmiert)
KARDSTAT_SCHREIBKRAFT_BRIEF_Min	30	Dauer der Durchführung des Schreibens des Arztbriefes im Minimum
KARDSTAT_SCHREIBKRAFT_BRIEF_Max	245	Dauer der Durchführung des Schreibens des Arztbriefes im Maximum
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_PRUEFEN_Mean	1.9386	Dauer der Durchführung des Prüfens des Arztbriefes im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_PRUEFEN_Variance	0.2107	Varianz in der Dauer der Durchführung des Prüfens des Arztbriefes (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_PRUEFEN_Min	3	Dauer der Durchführung des Prüfens des Arztbriefes im Minimum
KARDSTAT_ARZT_BRIEF_PRUEFEN_Max	12	Dauer der Durchführung des Prüfens des Arztbriefes im Maximum
KARDSTAT_VERLEGEBERICHT_Mean	1.8826	Dauer der Anfertigung des Verlegeberichts im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_VERLEGEBERICHT_Variance	0.2310	Varianz in der Dauer der Anfertigung des Verlegeberichts (logarithmiert)
KARDSTAT_VERLEGEBERICHT_Min	5	Dauer der Anfertigung des Verlegeberichts im Minimum
KARDSTAT_VERLEGEBERICHT_Max	15	Dauer der Anfertigung des Verlegeberichts im Maximum
KARDSTAT_ABRUF_TDIENST_Mean	-1	Dauer Abruf Transportdienst im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ABRUF_TDIENST_Variance	1	Varianz in der Dauer Abruf des Transportdienstes (logarithmiert)
KARDSTAT_ABRUF_TDIENST_Min	0	Dauer Abruf Transportdienst im Minimum
KARDSTAT_ABRUF_TDIENST_Max	1	Dauer Abruf Transportdienst im Maximum
KARDSTAT_VERLEGUNG_TRANSPORT_Mean	-1	Dauer Transport des Patienten zur Verlegestation im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_VERLEGUNG_TRANSPORT_Variance	1	Varianz in der Dauer des Transport des Patienten zur Verlegestation (logarithmiert)
KARDSTAT_VERLEGUNG_TRANSPORT_Min	0	Dauer Transport des Patienten zur Verlegestation im Minimum
KARDSTAT_VERLEGUNG_TRANSPORT_Max	1	Dauer Transport des Patienten zur Verlegestation im Maximum

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
KARDSTAT_ZEINW_Mean	1.4277	Dauer der Einweisung im Stationszimmer im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ZEINW_Variance	0.2031	Varianz in der Dauer der Einweisung im Stationszimmer (logarithmiert)
KARDSTAT_ZEINW_Min	2	Dauer der Einweisung im Stationszimmer im Minimum
KARDSTAT_ZEINW_Max	7	Dauer der Einweisung im Stationszimmer im Maximum
KARDSTAT_ENTLMEDIKATION_Mean	1.7006	Dauer der Vorbereitung und Übergabe der Entlassmedikation im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ENTLMEDIKATION_Variance	0.7248	Varianz in der Dauer der Vorbereitung und Übergabe der Entlassmedikation (logarithmiert)
KARDSTAT_ENTLMEDIKATION_Min	3	Dauer der Vorbereitung und Übergabe der Entlassmedikation im Minimum
KARDSTAT_ENTLMEDIKATION_Max	10	Dauer der Vorbereitung und Übergabe der Entlassmedikation im Maximum
KARDSTAT_ARZT_ENTLGEPRAECH_Mean	1.7006	Dauer Führen des Arztgesprächs im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_ENTLGEPRAECH_Variance	0.7248	Varianz in der Dauer des Führens des Arztgesprächs (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_ENTLGEPRAECH_Min	3	Dauer Führen des Arztgesprächs im Minimum
KARDSTAT_ARZT_ENTLGEPRAECH_Max	10	Dauer Führen des Arztgesprächs im Maximum
KARDSTAT_ARZT_PLAN_Mean	1.0191	Dauer Aufstellung des Maßnahmenplans im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_PLAN_Variance	0.6358	Varianz in der Dauer des Aufstellens des Maßnahmenplans (logarithmiert)
KARDSTAT_ARZT_PLAN_Min	0	Dauer Aufstellung des Maßnahmenplans im Minimum
KARDSTAT_ARZT_PLAN_Max	12	Dauer Aufstellung des Maßnahmenplans im Maximum
VERWALTUNG_Aufnahme_Mean	1.2474	Dauer stationäre Aufnahme im Mittel (logarithmiert)
VERWALTUNG_Aufnahme_Variance	0.0833	Varianz in der Dauer der stationären Aufnahme (logarithmiert)
VERWALTUNG_Aufnahme_Min	2	Dauer stationäre Aufnahmen im Minimum
VERWALTUNG_Aufnahme_Max	10	Dauer stationäre Aufnahmen im Maximum
VERWALTUNG_KARDSTAT_WEG_Mean	1.3975	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Mittel (logarithmiert)
VERWALTUNG_KARDSTAT_WEG_Variance	0.4391	Varianz in der Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht (logarithmiert)
VERWALTUNG_KARDSTAT_WEG_Min	2	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Minimum
VERWALTUNG_KARDSTAT_WEG_Max	10	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Maximum
KARDSTAT_ANAMP_Mean	1.9759	Dauer der Anamnese Pflege im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ANAMP_Variance	0.3513	Varianz in der Dauer Anamnese Pflege (logarithmiert)
KARDSTAT_ANAMP_Min	4	Dauer Anamnese Pflege im Minimum
KARDSTAT_ANAMP_Max	25	Dauer Anamnese Pflege im Maximum
KARDSTAT_ABGABE_URINPROBE_Mean	5.0147	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ABGABE_URINPROBE_Variance	0.3046	Varianz in der Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht (logarithmiert)
KARDSTAT_ABGABE_URINPROBE_Min	63	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Minimum
KARDSTAT_ABGABE_URINPROBE_Max	260	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Maximum
KARDSTAT_URINPROBE_SENDEN_Mean	-1	Dauer Einsenden der Urinprobe im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_URINPROBE_SENDEN_Variance	1	Varianz in der Dauer Einsenden der Urinprobe (logarithmiert)
KARDSTAT_URINPROBE_SENDEN_Min	0	Dauer Einsenden der Urinprobe im Minimum
KARDSTAT_URINPROBE_SENDEN_Max	1	Dauer Einsenden der Urinprobe im Maximum

Anhang

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
KARDSTAT_ANAMA_Mean	3.1914	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_ANAMA_Variance	0.1646	Varianz in der Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht (logarithmiert)
KARDSTAT_ANAMA_Min	14	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Minimum
KARDSTAT_ANAMA_Max	45	Dauer Patient geht/wird zur Station verbracht im Maximum
KARDSTAT_RUHE_EKG_Mean	1.5411	Dauer Anfertigung Ruhe-EKG auf kard. Station im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_RUHE_EKG_Variance	0.0864	Varianz in der Dauer Anfertigung Ruhe-EKG auf kard. Station (logarithmiert)
KARDSTAT_RUHE_EKG_Min	3	Dauer Anfertigung Ruhe-EKG auf kard. Station im Minimum
KARDSTAT_RUHE_EKG_Max	6	Dauer Anfertigung Ruhe-EKG auf kard. Station im Maximum
KARDSTAT_URINBEFUND_Mean	5.3190	Dauer Befundung Urinprobe im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_URINBEFUND_Variance	0.1869	Varianz in der Dauer Befundung Urinprobe (logarithmiert)
KARDSTAT_URINBEFUND_Min	112	Dauer Befundung Urinprobe im Minimum
KARDSTAT_URINBEFUND_Max	596	Dauer Befundung Urinprobe im Maximum
KARDSTAT_BLUTBEFUND_Mean	5.3190	Dauer Befundung Blutprobe im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_BLUTBEFUND_Variance	0.1869	Varianz in der Dauer Befundung Blutprobe (logarithmiert)
KARDSTAT_BLUTBEFUND_Min	112	Dauer Befundung Blutprobe im Minimum
KARDSTAT_BLUTBEFUND_Max	596	Dauer Befundung Blutprobe im Maximum
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Annahme_Mean	-1	Dauer Entgegennahme mitgebrachter Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Annahme_Variance	1	Varianz in der Dauer Entgegennahme mitgebrachter Unterlagen für den stationären Aufenthalt (logarithmiert)
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Annahme_Min	0	Dauer Entgegennahme mitgebrachter Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Minimum
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Annahme_Max	1	Dauer Entgegennahme mitgebrachter Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Maximum
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Mean	2.4036	Dauer Vorbereitung Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Mittel (logarithmiert)
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Variance	0.1553	Varianz in der Dauer Vorbereitung Unterlagen für den stationären Aufenthalt (logarithmiert)
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Min	5	Dauer Vorbereitung Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Minimum
KARDSTAT_UNTERLAGEN_Max	16	Dauer Vorbereitung Unterlagen für den stationären Aufenthalt im Maximum
ECHO_AUFKLAERUNG_Mean	1.6472	Dauer Aufklärung für Echo (TEE/TSE) im Mittel (logarithmiert)
ECHO_AUFKLAERUNG_Variance	0.0794	Varianz in der Dauer Aufklärung für Echo (TEE/TSE) (logarithmiert)
ECHO_AUFKLAERUNG_Min	4	Dauer Aufklärung für Echo (TEE/TSE) im Minimum
ECHO_AUFKLAERUNG_Max	7	Dauer Aufklärung für Echo (TEE/TSE) im Maximum
ECHO_KARDSTAT_MinTripTime	2	Wegezeit ECHO <-> kard. Stationen im Minimum in Minuten
EKG_KARDSTAT_MinTripTime	2	Wegezeit EKG <-> kard. Stationen im Minimum in Minuten
HKL_KARDSTAT_MinTripTime	5	Wegezeit HKL <-> kard. Stationen im Minimum in Minuten

A71. Systemparameter zur Ausgangsparametrisierung der Priorisierungen im Ist-Modell

Parameterbezeichnung	Wert	Erläuterung
BreakTimePriority	1	Priorität des Pausenpartikels in der Abarbeitung in der Ressourcenwarteschlange der Funktions-/OP-Bereiche
ECHO_AMBULANZ_InterferencePriority	3	Priorisierung der Patienten aus der kard. Ambulanz in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
ECHO_AMBULANZ_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den kard. Ambulanz in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO
ECHO_EXTERN_InterferencePriority	2	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
ECHO_EXTERN_Priority	0	Priorisierung der Patienten von extern in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO (ECHO_1, ECHO_2, ECHO_3)
ECHO_KARDSTAT_InterferencePriority	1	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im ECHO
ECHO_KARDSTAT_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO
EKG_AMBULANZ_InterferencePriority	3	Priorisierung der Patienten aus der kard. Ambulanz in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
EKG_AMBULANZ_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den kard. Ambulanz in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im EKG
EKG_EXTERN_InterferencePriority	2	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
EKG_EXTERN_Priority	0	Priorisierung der Patienten von extern in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im ECHO (EKGO_1, EKGO_2, EKG_3)
EKG_KARDSTAT_InterferencePriority	1	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im EKG
EKG_KARDSTAT_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im EKG
HKL_EXTERN_Emergency_Priority	5	Priorisierung der Notfallpatienten von den Quellen HKL_1 bis HKL_3 in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_EXTERN_InterferencePriority	2	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von extern in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im HKL
HKL_EXTERN_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den Quellen HKL_1 bis HKL_3 in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_KARDSTAT_Emergency_Priority	5	Priorisierung der Notfallpatienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
HKL_KARDSTAT_InterferencePriority	1	Priorisierung der nicht-elektiven Patienten von den kard. Stationen in der Warteliste der nicht-elektiven Patienten im HKL
HKL_KARDSTAT_Priority	0	Priorisierung der Patienten von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange im HKL
ITS_KARDSTAT_Priority	0	Priorisierung der Bettenanfragen von den kard. Stationen in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange auf ITS
InterferencePriority_Flush	4	Priorisierung für Patienten die geflush wurden bei Störung / auf den nächsten Tag verschoben wurden bei Ende Öffnungszeit
KARDSTAT_MEETING_Priority	2	Priorisierung der Oberarztbesprechung innerhalb der Aufgaben des Stationsarztes
KARDSTAT_VISITE_Priority	2	Priorisierung der Visite innerhalb der Aufgaben des Stationsarztes
KARDSTAT_BETT_HKL_1_Priority	4	Priorität der Zugänge über HKL_1 bezogen auf die Bettenallokation der kard. Station
KARDSTAT_EXTERN_Ward_Priority	0	Priorität bei der Bettenallokation im Rahmen der Aufnahme von extern (elektiv/Wiederaufnahme)
KARDSTAT_BETT_SONST_Priority	0	Priorität der Zugänge von sonstigen Stationen bei der Aufnahme bezogen auf die Bettenallokation der kard. Station
KARDSTAT_BETT_ITS_Priority	0	Priorität der Zugänge von ITS bei der Bettenallokation auf den kard. Stationen
KARDSTAT_BETT_ZNA_Priority	0	Priorität der Zugänge von ZNA bei der Bettenallokation auf den kard. Stationen
KARDSTAT_RVERL_ITS_Priority	0	Priorisierung der Bettenanfragen bei einer Rückverlegung von ITS in der Abarbeitung der Ressourcenwarteschlange der kard. Station
KARDSTAT_RVERL_SONST_Priority	0	Priorisierung der Bettenanfragen bei einer Rückverlegung von sonst. Stationen auf die der kard. Stationen
KARDSTAT_WAUFP_Ward_Prebook_Priority	1	Priorität der prästationären Zugänge bei der Wiederaufnahme bei der Bettenallokation auf den kard. Stationen
Maintenance_Priority	1	Priorisierung der Wartungspartikel in den Funktions-/OP-Bereichen

A72. Patientenzugänge - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
AMB_1	Mo	122	1	8	5,0833	5,3001	23294	5,07495	-0,0084	-0,16%
AMB_1	Di	178	4	9	6,8462	7,8523	31375	6,83551	-0,0107	-0,16%
AMB_1	Mi	150	2	9	6,0000	6,6085	27464	5,98344	-0,0166	-0,28%
AMB_1	Do	154	2	8	6,1600	6,4677	28274	6,15991	-0,0001	0,00%
AMB_1	Fr	136	2	9	5,9130	6,4493	27056	5,89455	-0,0185	-0,31%
AMB_1	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_1	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_1	KW	690	22	40	30,0025	-	137463	29,94837	-0,0541	-0,18%
AMB_2	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_2	Di	65	1	5	2,8261	2,7541	13112	2,85664	0,0305	1,08%
AMB_2	Mi	112	3	7	4,3077	4,7597	19708	4,29368	-0,0140	-0,33%
AMB_2	Do	107	1	7	4,2800	4,4286	19641	4,27908	-0,0009	-0,02%
AMB_2	Fr	158	1	9	6,3200	7,2912	28926	6,30196	-0,0180	-0,29%
AMB_2	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_2	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_2	KW	425	11	24	17,7338	-	81387	17,73137	-0,0024	-0,01%
AMB_3	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	Di	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	Mi	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	Do	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	Fr	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
AMB_3	KW	0	0	0	0,0000	-	0	0	-	-
ECHO_1	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	Di	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	Mi	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	Do	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	Fr	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_1	KW	0	0	0	0,0000	-	0	0	-	-

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
ECHO_2	Mo	142	1	10	6,1739	6,3040	28452	6,19869	0,0248	0,40%
ECHO_2	Di	89	0	9	3,4231	3,3762	15943	3,47342	0,0503	1,47%
ECHO_2	Mi	137	3	10	5,2692	4,8939	24370	5,30937	0,0402	0,76%
ECHO_2	Do	126	2	9	5,0400	4,9536	23219	5,05861	0,0186	0,37%
ECHO_2	Fr	73	0	8	2,9200	2,8607	13545	2,95098	0,0310	1,06%
ECHO_2	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_2	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_2	KW	505	14	31	22,8262	-	105529	22,99107	0,1649	0,72%
ECHO_3	Mo	319	5	23	13,8696	13,9390	63072	13,74118	-0,1284	-0,93%
ECHO_3	Di	393	7	23	15,7200	16,3704	72195	15,72876	0,0088	0,06%
ECHO_3	Mi	373	7	25	14,9200	14,7563	68337	14,88824	-0,0318	-0,21%
ECHO_3	Do	415	9	27	16,6000	16,7844	76263	16,61503	0,0150	0,09%
ECHO_3	Fr	381	7	23	15,2400	14,8698	69880	15,22440	-0,0156	-0,10%
ECHO_3	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_3	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
ECHO_3	KW	1821	43	102	76,3496	-	349747	76,19760	-0,1520	-0,20%
EKG_1	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	Di	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	Mi	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	Do	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	Fr	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_1	KW	0	0	0	0,0000	-	0	0	-	-
EKG_2	Mo	91	0	8	3,9565	4,1569	18265	3,97930	0,0228	0,58%
EKG_2	Di	43	0	4	1,7200	1,7003	7832	1,70632	-0,0137	-0,80%
EKG_2	Mi	58	0	6	2,3200	2,3904	10726	2,33682	0,0168	0,72%
EKG_2	Do	52	0	6	2,0800	2,0970	9552	2,08105	0,0010	0,05%
EKG_2	Fr	37	0	5	1,4800	1,4855	6897	1,49608	0,0161	1,09%
EKG_2	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_2	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_2	KW	264	6	19	11,5565	-	53242	11,59956	0,0431	0,37%

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
EKG_3	Mo	53	0	5	2,3043	2,3296	10646	2,31939	0,0151	0,65%
EKG_3	Di	75	1	5	2,8846	2,9608	13248	2,88627	0,0017	0,06%
EKG_3	Mi	70	0	5	2,8000	2,9206	12905	2,81155	0,0116	0,41%
EKG_3	Do	65	0	5	2,6000	2,6785	12095	2,63508	0,0351	1,35%
EKG_3	Fr	58	0	5	2,3200	2,4377	10674	2,32549	0,0055	0,24%
EKG_3	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_3	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
EKG_3	KW	298	7	19	12,9089	-	59568	12,97778	0,0689	0,53%
HKL_1	Mo	8	0	2	0,3478	0,3723	1607	0,35011	0,0023	0,66%
HKL_1	Di	7	0	2	0,2800	0,3022	1315	0,28649	0,0065	2,32%
HKL_1	Mi	4	0	2	0,1538	0,1517	742	0,16166	0,0079	5,11%
HKL_1	Do	5	0	2	0,2000	0,2096	944	0,20566	0,0057	2,83%
HKL_1	Fr	2	0	1	0,0800	0,0833	376	0,08192	0,0019	2,40%
HKL_1	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
HKL_1	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
HKL_1	KW	25	0	4	1,0616	-	4984	1,08584	0,0242	2,28%
HKL_2	Mo	55	0	7	2,2917	2,4140	10544	2,29717	0,0055	0,24%
HKL_2	Di	43	0	6	1,6538	1,6160	7708	1,67930	0,0255	1,54%
HKL_2	Mi	54	0	6	2,1600	2,1569	10052	2,18998	0,0300	1,39%
HKL_2	Do	57	0	5	2,2800	2,7089	10485	2,28431	0,0043	0,19%
HKL_2	Fr	50	0	5	2,0000	1,8544	9136	1,99041	-0,0096	-0,48%
HKL_2	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
HKL_2	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
HKL_2	KW	254	7	19	10,3855	-	47925	10,44118	0,0557	0,54%
HKL_3	Mo	44	0	6	1,8333	1,8487	8405	1,83115	-0,0021	-0,12%
HKL_3	Di	49	0	4	1,8846	1,9421	8622	1,87843	-0,0062	-0,33%
HKL_3	Mi	42	0	5	1,6154	1,6121	7471	1,62767	0,0123	0,76%
HKL_3	Do	37	0	4	1,4231	1,4953	6591	1,43595	0,0129	0,90%
HKL_3	Fr	42	0	7	1,6154	1,6218	7504	1,63486	0,0195	1,20%
HKL_3	Sa	37	0	6	1,3704	1,3720	6364	1,38649	0,0161	1,17%
HKL_3	So	25	0	3	1,0000	1,0120	4678	1,01917	0,0192	1,92%
HKL_3	KW	280	5	28	10,7422	-	49635	10,81373	0,0715	0,67%

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
STA_1	Mo	149	4	8	6,4783	6,2990	29808	6,49412	0,0158	0,24%
STA_1	Di	163	4	10	6,5200	6,2654	29726	6,47625	-0,0437	-0,67%
STA_1	Mi	151	1	8	6,0400	7,6612	27517	5,99499	-0,0450	-0,75%
STA_1	Do	141	3	8	5,6400	5,6400	25900	5,64270	0,0027	0,05%
STA_1	Fr	32	0	5	1,3333	1,3434	6223	1,35577	0,0225	1,69%
STA_1	Sa	2	0	1	0,0833	0,0900	382	0,08322	-0,0001	-0,10%
STA_1	So	17	0	3	0,6800	0,6937	3137	0,68344	0,0034	0,51%
STA_1	KW	636	11	34	26,7749	-	122693	26,7305	-0,0444	-0,17%
STA_2	Mo	148	3	9	6,4348	7,2308	29463	6,41895	-0,0159	-0,25%
STA_2	Di	155	4	8	6,2000	6,9756	28264	6,15773	-0,0423	-0,68%
STA_2	Mi	139	3	8	5,7917	6,5354	26453	5,76318	-0,0285	-0,49%
STA_2	Do	134	1	8	5,3600	5,6607	24477	5,33268	-0,0273	-0,51%
STA_2	Fr	25	0	3	1,0000	1,0119	4677	1,01895	0,0190	1,90%
STA_2	Sa	1	0	1	0,0385	0,0412	166	0,03617	-0,0023	-6,05%
STA_2	So	8	0	2	0,3077	0,3109	1450	0,31590	0,0082	2,66%
STA_2	KW	598	14	33	25,1327	-	114950	25,04357	-0,0891	-0,35%
STA_3	Mo	100	2	9	4,3478	4,1365	20107	4,38061	0,0328	0,75%
STA_3	Di	89	0	6	3,4231	3,4368	15958	3,47669	0,0536	1,57%
STA_3	Mi	91	1	7	3,6400	3,7153	16751	3,64946	0,0095	0,26%
STA_3	Do	96	1	7	3,8400	3,9958	17494	3,81133	-0,0287	-0,75%
STA_3	Fr	101	1	8	4,0400	4,1048	18530	4,03704	-0,0030	-0,07%
STA_3	Sa	71	0	5	2,8400	2,8471	13231	2,88257	0,0426	1,50%
STA_3	So	82	0	6	3,2800	3,5600	15048	3,27843	-0,0016	-0,05%
STA_3	KW	659	18	34	25,4109	-	117119	25,51612	0,1052	0,41%
STA_4	Mo	25	0	3	1,0870	1,1834	5040	1,09804	0,0110	1,02%
STA_4	Di	26	0	3	1,0400	1,1326	4858	1,05839	0,0184	1,77%
STA_4	Mi	31	0	4	1,2400	1,2807	5800	1,26362	0,0236	1,90%
STA_4	Do	14	0	2	0,5385	0,5973	2525	0,55011	0,0116	2,16%
STA_4	Fr	29	0	4	1,1154	1,1358	5235	1,14052	0,0251	2,25%
STA_4	Sa	23	0	3	0,9200	0,9278	4281	0,93268	0,0127	1,38%
STA_4	So	14	0	2	0,5600	0,5647	2607	0,56797	0,0080	1,42%
STA_4	KW	152	2	13	6,5009	-	30346	6,61133	0,1104	1,70%

Quelle	Tag	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)				Mittelwerte (justiert)	simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel		n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
STA_5	Mo	12	0	2	0,5217	0,5746	2449	0,53355	0,0118	2,27%
STA_5	Di	13	0	2	0,5200	0,5725	2444	0,53246	0,0125	2,40%
STA_5	Mi	14	0	2	0,5600	0,6263	2618	0,57037	0,0104	1,85%
STA_5	Do	12	0	2	0,4800	0,5226	2270	0,49455	0,0146	3,03%
STA_5	Fr	19	0	3	0,7600	0,7883	3544	0,77211	0,0121	1,59%
STA_5	Sa	6	0	2	0,2400	0,2493	1162	0,25316	0,0132	5,48%
STA_5	So	3	0	2	0,1200	0,1211	554	0,12070	0,0007	0,58%
STA_5	KW	78	0	7	3,2017	-	15041	3,27691	0,0752	2,35%
STA_6	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_6	Di	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_6	Mi	1	0	1	0,0385	0,0397	160	0,03486	-0,0036	-9,45%
STA_6	Do	2	0	1	0,0800	0,0858	362	0,07887	-0,0011	-1,41%
STA_6	Fr	2	0	1	0,0800	0,0858	362	0,07887	-0,0011	-1,41%
STA_6	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_6	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_6	KW	4	0	1	0,1985	-	884	0,19259	-0,0059	-2,98%
STA_7	Mo	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_7	Di	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_7	Mi	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_7	Do	3	0	1	0,1200	0,1350	560	0,12200	0,0020	1,67%
STA_7	Fr	2	0	1	0,0800	0,0857	362	0,07887	-0,0011	-1,41%
STA_7	Sa	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_7	So	0	0	0	0,0000	0,0000	0	0	-	-
STA_7	KW	6	0	2	0,2000	-	922	0,20087	0,0009	0,43%

A73. Patientenzugänge - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis

Quelle	Tag	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)				simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
AMB_1	Mo	118	2	9	5,1304	23294	5,0750	-0,0554	-1,08%	-0,7662	0,8772
AMB_1	Di	170	3	9	6,8000	31375	6,8355	0,0355	0,52%	-0,6530	0,5820
AMB_1	Mi	151	2	9	6,0400	27464	5,9834	-0,0566	-0,94%	-0,6786	0,7917
AMB_1	Do	140	2	10	6,0870	28274	6,1599	0,0729	1,20%	-0,9093	0,7633
AMB_1	Fr	132	1	9	6,0000	27056	5,8946	-0,1055	-1,76%	-0,6811	0,8919
AMB_1	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_1	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_1	KW	684	21	38	29,7391	137463	29,9484	0,2093	0,70%	-2,2176	1,7992
AMB_2	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_2	Di	62	1	6	2,8182	13112	2,8566	0,0384	1,36%	-0,6198	0,5429
AMB_2	Mi	104	1	7	4,3333	19708	4,2937	-0,0396	-0,91%	-0,6272	0,7065
AMB_2	Do	102	1	8	4,2500	19641	4,2791	0,0291	0,68%	-0,7613	0,7032
AMB_2	Fr	152	3	9	6,3333	28926	6,3020	-0,0313	-0,49%	-0,5892	0,6519
AMB_2	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_2	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_2	KW	426	12	26	17,7500	81387	17,7314	-0,0186	-0,10%	-1,4124	1,4497
AMB_3	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	Di	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	Mi	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	Do	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	Fr	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
AMB_3	KW	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Di	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Mi	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Do	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Fr	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_1	KW	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-

Quelle	Tag	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
ECHO_2	Mo	135	1	13	6,1364	28452	6,1987	0,0623	1,02%	-1,0653	0,9407
ECHO_2	Di	85	1	7	3,4000	15943	3,4734	0,0734	2,16%	-0,6593	0,5125
ECHO_2	Mi	132	3	9	5,2800	24370	5,3094	0,0294	0,56%	-0,7418	0,6830
ECHO_2	Do	122	2	10	5,0833	23219	5,0586	-0,0247	-0,49%	-0,7681	0,8176
ECHO_2	Fr	70	0	9	2,9167	13545	2,9510	0,0343	1,18%	-0,7238	0,6551
ECHO_2	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_2	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_2	KW	523	13	31	22,7391	105529	22,9911	0,2520	1,11%	-2,2508	1,7469
ECHO_3	Mo	318	4	23	13,8261	63072	13,7412	-0,0849	-0,61%	-1,9816	2,1514
ECHO_3	Di	399	10	22	15,9600	72195	15,7288	-0,2312	-1,45%	-1,2106	1,6731
ECHO_3	Mi	376	6	25	15,0400	68337	14,8882	-0,1518	-1,01%	-1,3337	1,6372
ECHO_3	Do	399	8	27	16,6250	76263	16,6150	-0,0100	-0,06%	-1,5633	1,5832
ECHO_3	Fr	369	6	25	15,3750	69880	15,2244	-0,1506	-0,98%	-2,0007	2,3019
ECHO_3	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_3	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
ECHO_3	KW	1832	57	100	76,3333	349747	76,1976	-0,1357	-0,18%	-4,7779	5,0493
EKG_1	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	Di	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	Mi	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	Do	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	Fr	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_1	KW	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_2	Mo	90	0	7	3,9130	18265	3,9793	0,0663	1,69%	-0,8208	0,6883
EKG_2	Di	44	0	5	1,7600	7832	1,7063	-0,0537	-3,05%	-0,4417	0,5490
EKG_2	Mi	58	0	6	2,3200	10726	2,3368	0,0168	0,73%	-0,5955	0,5619
EKG_2	Do	50	0	5	2,0833	9552	2,0811	-0,0023	-0,11%	-0,7754	0,7800
EKG_2	Fr	34	0	5	1,4783	6897	1,4961	0,0178	1,20%	-0,6944	0,6588
EKG_2	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_2	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_2	KW	265	5	18	11,5217	53242	11,5996	0,0779	0,68%	-1,5247	1,3691

Quelle	Tag	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
EKG_3	Mo	53	0	7	2,3043	10646	2,3194	0,0151	0,65%	-0,6512	0,6211
EKG_3	Di	68	0	6	2,8333	13248	2,8863	0,0530	1,87%	-0,6496	0,5437
EKG_3	Mi	73	0	6	2,8077	12905	2,8116	0,0038	0,14%	-0,6247	0,6170
EKG_3	Do	66	0	5	2,6400	12095	2,6351	-0,0049	-0,19%	-0,6166	0,6265
EKG_3	Fr	55	0	5	2,2917	10674	2,3255	0,0338	1,47%	-0,6278	0,5601
EKG_3	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_3	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
EKG_3	KW	286	9	17	13,0000	59568	12,9778	-0,0222	-0,17%	-1,1032	1,1476
HKL_1	Mo	8	0	2	0,3478	1607	0,3501	0,0023	0,66%	-0,2347	0,2302
HKL_1	Di	7	0	2	0,2800	1315	0,2865	0,0065	2,32%	-0,2124	0,1994
HKL_1	Mi	4	0	1	0,1600	742	0,1617	0,0017	1,04%	-0,1597	0,1564
HKL_1	Do	5	0	1	0,2083	944	0,2057	-0,0026	-1,27%	-0,1746	0,1799
HKL_1	Fr	2	0	1	0,0800	376	0,0819	0,0019	2,40%	-0,1110	0,1072
HKL_1	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
HKL_1	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
HKL_1	KW	24	0	5	1,0435	4984	1,0858	0,0423	4,06%	-0,5589	0,4742
HKL_2	Mo	52	0	7	2,2609	10544	2,2972	0,0363	1,60%	-0,6646	0,5920
HKL_2	Di	41	0	5	1,6400	7708	1,6793	0,0393	2,40%	-0,5630	0,4844
HKL_2	Mi	55	0	5	2,2000	10052	2,1900	-0,0100	-0,46%	-0,5662	0,5862
HKL_2	Do	54	0	5	2,2500	10485	2,2843	0,0343	1,52%	-0,5873	0,5187
HKL_2	Fr	49	0	4	1,9600	9136	1,9904	0,0304	1,55%	-0,5804	0,5196
HKL_2	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
HKL_2	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
HKL_2	KW	263	4	18	10,5200	47925	10,4412	-0,0788	-0,75%	-1,2870	1,4446
HKL_3	Mo	44	0	5	1,8333	8405	1,8312	-0,0021	-0,12%	-0,5369	0,5413
HKL_3	Di	47	0	5	1,8800	8622	1,8784	-0,0016	-0,08%	-0,5117	0,5149
HKL_3	Mi	39	0	8	1,6250	7471	1,6277	0,0027	0,16%	-0,5181	0,5127
HKL_3	Do	34	0	4	1,4167	6591	1,4360	0,0193	1,36%	-0,4694	0,4308
HKL_3	Fr	40	0	4	1,6000	7504	1,6349	0,0349	2,18%	-0,5379	0,4682
HKL_3	Sa	34	0	5	1,3600	6364	1,3865	0,0265	1,95%	-0,4860	0,4330
HKL_3	So	25	0	4	1,0000	4678	1,0192	0,0192	1,92%	-0,4070	0,3686
HKL_3	KW	278	5	19	10,6923	49635	10,8137	0,1214	1,14%	-1,8882	1,6454

Quelle	Tag	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
STA_1	Mo	148	3	10	6,4348	29808	6,4941	0,0593	0,92%	-0,7736	0,6550
STA_1	Di	151	4	8	6,5652	29726	6,4763	-0,0889	-1,35%	-0,3426	0,5205
STA_1	Mi	150	3	8	6,0000	27517	5,9950	-0,0050	-0,08%	-0,6436	0,6536
STA_1	Do	124	2	9	5,6364	25900	5,6427	0,0063	0,11%	-0,7362	0,7236
STA_1	Fr	32	0	3	1,3333	6223	1,3558	0,0225	1,69%	-0,4824	0,4375
STA_1	Sa	1	0	1	0,0400	382	0,0832	0,0432	108,05%	-0,1517	0,0653
STA_1	So	17	0	3	0,6800	3137	0,6834	0,0034	0,51%	-0,3144	0,3076
STA_1	KW	607	19	34	26,3913	122693	26,7305	0,3392	1,29%	-2,1645	1,4861
STA_2	Mo	149	2	9	6,4783	29463	6,4190	-0,0594	-0,92%	-0,6567	0,7753
STA_2	Di	149	3	8	6,2083	28264	6,1577	-0,0506	-0,81%	-0,4858	0,5870
STA_2	Mi	140	3	9	5,8333	26453	5,7632	-0,0701	-1,20%	-0,5458	0,6861
STA_2	Do	133	1	9	5,3200	24477	5,3327	0,0127	0,24%	-0,7957	0,7703
STA_2	Fr	23	0	4	1,0000	4677	1,0190	0,0190	1,90%	-0,4231	0,3851
STA_2	Sa	1	0	1	0,0385	166	0,0362	-0,0023	-6,05%	-0,0697	0,0743
STA_2	So	8	0	2	0,3200	1450	0,3159	-0,0041	-0,41%	-0,2151	0,2233
STA_2	KW	545	19	30	24,7727	114950	25,0436	0,2709	1,09%	-1,8472	1,3056
STA_3	Mo	105	1	8	4,3750	20107	4,3806	0,0056	0,13%	-0,7023	0,6911
STA_3	Di	90	0	9	3,4615	15958	3,4767	0,0152	0,44%	-0,7277	0,6974
STA_3	Mi	87	1	7	3,6250	16751	3,6495	0,0245	0,67%	-0,6743	0,6254
STA_3	Do	100	0	6	3,8462	17494	3,8113	-0,0349	-0,91%	-0,5941	0,6638
STA_3	Fr	96	0	7	4,0000	18530	4,0370	0,0370	0,93%	-0,7566	0,6825
STA_3	Sa	68	0	9	2,8333	13231	2,8826	0,0493	1,74%	-0,7334	0,6349
STA_3	So	78	0	6	3,2500	15048	3,2784	0,0284	0,87%	-0,6459	0,5890
STA_3	KW	636	18	35	25,4400	117119	25,5161	0,0761	0,30%	-2,3719	2,2196
STA_4	Mo	25	0	3	1,0870	5040	1,0980	0,0110	1,02%	-0,4014	0,3793
STA_4	Di	26	0	3	1,0400	4858	1,0584	0,0184	1,77%	-0,3905	0,3538
STA_4	Mi	31	0	2	1,2400	5800	1,2636	0,0236	1,90%	-0,2719	0,2246
STA_4	Do	12	0	2	0,5217	2525	0,5501	0,0284	5,45%	-0,3052	0,2484
STA_4	Fr	26	0	3	1,0833	5235	1,1405	0,0572	5,28%	-0,4782	0,3638
STA_4	Sa	23	0	4	0,9200	4281	0,9327	0,0127	1,38%	-0,3825	0,3572
STA_4	So	13	0	3	0,5652	2607	0,5680	0,0028	0,49%	-0,3005	0,2950
STA_4	KW	145	3	11	6,5909	30346	6,6113	0,0204	0,31%	-1,4518	1,4110

Quelle	Tag	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
STA_5	Mo	12	0	2	0,5217	2449	0,5336	0,0118	2,27%	-0,2844	0,2608
STA_5	Di	13	0	2	0,5200	2444	0,5325	0,0125	2,40%	-0,2741	0,2492
STA_5	Mi	13	0	2	0,5417	2618	0,5704	0,0287	5,29%	-0,3028	0,2454
STA_5	Do	11	0	2	0,4783	2270	0,4946	0,0163	3,40%	-0,2826	0,2500
STA_5	Fr	19	0	3	0,7600	3544	0,7721	0,0121	1,59%	-0,3418	0,3176
STA_5	Sa	6	0	2	0,2400	1162	0,2532	0,0132	5,48%	-0,2052	0,1789
STA_5	So	3	0	1	0,1250	554	0,1207	-0,0043	-3,44%	-0,1337	0,1423
STA_5	KW	70	0	7	3,1818	15041	3,2769	0,0951	2,99%	-0,8796	0,6894
STA_6	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_6	Di	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_6	Mi	0	0	0	0,0000	160	0,0349	0,0349	n.v.	-	-
STA_6	Do	2	0	1	0,0833	362	0,0789	-0,0044	-5,32%	-0,1037	0,1126
STA_6	Fr	2	0	1	0,0833	362	0,0789	-0,0044	-5,32%	-0,1037	0,1126
STA_6	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_6	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_6	KW	4	0	1	0,1667	884	0,1926	0,0259	15,53%	-0,2705	0,2186
STA_7	Mo	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_7	Di	2	0	1	0,0800	0	0,0000	-0,0800	n.v.	-	-
STA_7	Mi	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_7	Do	2	0	1	0,0833	560	0,1220	0,0387	46,46%	-0,1699	0,0926
STA_7	Fr	1	0	1	0,0400	362	0,0789	0,0389	97,18%	-0,1447	0,0670
STA_7	Sa	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_7	So	0	0	0	0,0000	0	0,0000	-	-	-	-
STA_7	KW	4	0	1	0,1739	922	0,2009	0,0270	15,51%	-0,2190	0,1650

A74. Anzahl Maßnahmen - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis

Ressource	Maßnahme	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)			simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual
ECHO	TEE	556	18	30	23,1667	100141	23,18079	0,0141	0,06%
ECHO	TSE	36	0	3	1,5000	6521	1,50949	0,0095	0,63%
ECHO	TTE	3617	78	177	150,7083	652468	151,03426	0,3259	0,22%
EKG	BELAS	945	20	58	39,3750	169650	39,27083	-0,1042	-0,26%
EKG	SPIRO	170	1	11	7,0833	30891	7,15069	0,0674	0,95%
HKL	ABLAE	49	0	5	2,0417	8956	2,07315	0,0315	1,54%
HKL	ABLAK	39	0	5	1,6957	7375	1,70718	0,0115	0,68%
HKL	CORO	831	25	46	34,6250	150087	34,74236	0,1174	0,34%
HKL	EPU	72	0	6	3,0000	13000	3,00926	0,0093	0,31%
HKL	KATH	62	0	9	2,5833	11230	2,59954	0,0162	0,63%
HKL	MITRA	5	0	3	0,2083	878	0,20324	-0,0051	-2,44%
HKL	PTA	198	0	19	8,2500	36080	8,35185	0,1019	1,23%
HKL	PTCA	58	0	7	2,4167	10453	2,41968	0,0030	0,12%
HKL	SONST	113	1	9	4,7083	20572	4,76204	0,0537	1,14%
HKL	TAVI	10	0	2	0,4167	1829	0,42338	0,0067	1,61%
HKL-AKUT	ABLAE*	2	0	1	0,0417	169	0,03912	-0,0026	-6,12%
HKL-AKUT	ABLAK*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-
HKL-AKUT	CORO	257	5	23	10,2800	44759	10,36088	0,0809	0,79%
HKL-AKUT	EPU*	1	0	1	0,0208	78	0,01806	-0,0028	-13,30%
HKL-AKUT	KATH*	8	0	2	0,1667	751	0,17384	0,0072	4,30%
HKL-AKUT	MITRA*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-
HKL-AKUT	PTA*	15	0	2	0,3125	1409	0,32616	0,0137	4,37%
HKL-AKUT	PTCA*	31	0	3	0,6458	2827	0,6544	0,0086	1,33%
HKL-AKUT	SONST*	26	0	3	0,5417	2470	0,57176	0,0301	5,56%
HKL-AKUT	TAVI*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-
HKL	gesamt	1446	40	76	59,9457	260460	60,29167	0,0960	0,58%
HKL-AKUT	gesamt	292	6	23	12,0208	52463	12,14421	0,1234	1,03%
HKL-gesamt	gesamt	1820	52	84	71,9665	312923	72,43588	0,2194	0,65%

* nicht zweigeteilter Datenbestand

A75. Anzahl Maßnahmen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis

Ressource	Maßnahme	Kennzahlen Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)				simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
		n	Anzahl im Minimum	Anzahl im Maximum	Anzahl im Mittel	n	Anzahl im Mittel	nominal	prozentual	unten	oben
ECHO	TEE	554	16	28	23,0833	100141	23,18079	0,0975	0,42%	-1,4734	1,2785
ECHO	TSE	37	0	3	1,5417	6521	1,50949	-0,0322	-2,09%	-0,4628	0,5271
ECHO	TTE	3548	99	186	147,8333	652468	151,03426	3,2009	2,17%	-13,1491	6,7473
EKG	BELAS	941	27	54	39,2083	169650	39,27083	0,0625	0,16%	-2,7996	2,6746
EKG	SPIRO	168	0	14	7,0000	30891	7,15069	0,1507	2,15%	-1,6416	1,3403
HKL	ABLAE	50	0	5	2,0833	8956	2,07315	-0,0102	-0,49%	-0,5681	0,5885
HKL	ABLAK	43	0	5	1,7200	7375	1,70718	-0,0128	-0,75%	-0,4903	0,5160
HKL	CORO	838	22	47	34,9167	150087	34,74236	-0,1743	-0,50%	-2,8386	3,1872
HKL	EPU	74	1	11	3,0833	13000	3,00926	-0,0741	-2,40%	-0,6119	0,7601
HKL	KATH	63	0	7	2,6250	11230	2,59954	-0,0255	-0,97%	-0,6159	0,6668
HKL	MITRA	5	0	2	0,2083	878	0,20324	-0,0051	-2,44%	-0,1686	0,1788
HKL	PTA	197	1	17	8,2083	36080	8,35185	0,1435	1,75%	-1,9669	1,6799
HKL	PTCA	59	0	6	2,4583	10453	2,41968	-0,0387	-1,57%	-0,5866	0,6639
HKL	SONST	112	1	8	4,6667	20572	4,76204	0,0954	2,04%	-0,9081	0,7173
HKL	TAVI	9	0	2	0,3913	1829	0,42338	0,0321	8,20%	-0,2877	0,2235
HKL-AKUT	ABLAE*	2	0	1	0,0417	169	0,03912	-0,0026	-6,12%	-0,0537	0,0587
HKL-AKUT	ABLAK*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-	-	-
HKL-AKUT	CORO	237	3	17	10,3043	44759	10,36088	0,0566	0,55%	-1,7606	1,6475
HKL-AKUT	EPU*	1	0	1	0,0208	78	0,01806	-0,0028	-13,30%	-0,0356	0,0412
HKL-AKUT	KATH*	8	0	2	0,1667	751	0,17384	0,0072	4,30%	-0,1258	0,1115
HKL-AKUT	MITRA*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-	-	-
HKL-AKUT	PTA*	15	0	2	0,3125	1409	0,32616	0,0137	4,37%	-0,1745	0,1472
HKL-AKUT	PTCA*	31	0	3	0,6458	2827	0,6544	0,0086	1,33%	-0,2429	0,2257
HKL-AKUT	SONST*	26	0	3	0,5417	2470	0,57176	0,0301	5,56%	-0,2543	0,1942
HKL-AKUT	TAVI*	0	0	0	0,0000	0	0	-	-	-	-
HKL	gesamt	1446	40	73	59,9700	260460	60,29167	0,3217	0,54%	-2,1106	1,5721
HKL-AKUT	gesamt	285	5	29	12,0335	52463	12,14421	0,1107	0,92%	-4,1958	4,1124
HKL-gesamt	gesamt	1820	52	84	72,0035	312923	72,43588	0,4324	0,60%	-3,6235	3,7918

* nicht zweigeteilter Datenbestand

A76. Bearbeitungszeiten - Mittelwertvergleiche und Justierungen bezogen auf Teil 1 der Datenbasis

Ressource	Maßnahme/ Prozessschritt	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 1 des Datenbestandes)					Mittel- werte (justiert)	Simulierte Werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergeb. von den Realdaten	
		n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	Mittel- werte (log.)		n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual
AMBULANZ	ARZT	76	2	80	15,2895	2,5534	2,5291	137461	15,2766	-0,0129	-0,08%
AMBULANZ	R-EKG	95	3	50	10,1789	2,1691	2,1637	218850	10,18231	0,0034	0,03%
ECHO	TEE	24	5	60	21,9167	2,9393	2,9820	105984	22,08118	0,1645	0,75%
ECHO	TSE	4	30	45	37,7500	3,6192	3,6537	6916	37,51243	-0,2376	-0,63%
ECHO	TTE	101	4	83	18,3267	2,7195	2,7127	691853	18,28245	-0,0442	-0,24%
EKG	BELAS	148	2	44	17,0811	2,7462	2,7599	180265	17,05319	-0,0279	-0,16%
EKG	SPIRO	22	10	45	29,9545	3,3297	3,4788	32777	30,12445	0,1700	0,57%
HKL	ABLAE	4	70	120	96,5000	4,5419	4,6557	9436	96,08309	-0,4169	-0,43%
HKL	ABLAK	6	69	338	200,1667	5,1628	5,4946	7767	199,92378	-0,2429	-0,12%
HKL	AUFKL	3	4	7	5,3333	1,6472	1,6472	202557	5,3202	-0,0131	-0,25%
HKL	CORO	97	17	140	65,8144	4,0937	4,1243	158547	65,97401	0,1596	0,24%
HKL	EPU	12	58	290	96,4167	4,4587	4,4278	13720	96,07879	-0,3379	-0,35%
HKL	KATH	7	43	85	68,5714	4,2043	4,3595	11854	68,93049	0,3591	0,52%
HKL	MITRA	3	279	845	473,0000	6,0192	6,0220	922	478,41649	5,4165	1,15%
HKL	PTA	58	51	270	112,0345	4,6385	4,6431	37995	112,17442	0,1399	0,12%
HKL	PTCA	9	55	110	82,3333	4,3901	4,3463	11000	82,34582	0,0125	0,02%
HKL	SONST	9	56	172	116,1111	4,6984	4,8346	21550	116,30042	0,1893	0,16%
HKL	TAVI	4	118	328	188,0000	5,1494	5,1580	1913	188,48876	0,4888	0,26%
HKL-AKUT	gesamt	24	30	310	98,5417	1,3000	1,3923	55717	98,20855	-0,3332	-0,34%
KARDSTAT	ANAMA	8	14	45	26,1250	3,1914	3,2153	401940	26,11462	-0,0104	-0,04%
KARDSTAT	ANAMP	12	4	25	8,6667	1,9759	1,8788	401943	8,69578	0,0291	0,34%
KARDSTAT	AUFNM	40	2	10	3,8000	1,2474	1,2789	237643	3,7841	-0,0159	-0,42%
KARDSTAT	BRIEF	15	9	34	19,4000	2,8921	2,9869	403206	19,67831	0,2783	1,43%
KARDSTAT	R-EKG	6	3	6	4,8333	1,5411	1,7553	401933	4,82085	-0,0125	-0,26%
KARDSTAT	VISIK	21	1	6	3,0476	0,9176	1,1303	2083855	3,0387	-0,0089	-0,29%
KARDSTAT	VISIP	15	0	5	1,9333	0,5906	0,5746	2088444	1,93944	0,0061	0,32%

A77. Bearbeitungszeiten - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis

Ressource	Maßnahme/ Prozessschritt	Modellparametrisierung (auf Basis der Realdaten - Teil 2 des Datenbestandes)				simulierte werte nach Justierung		Abweichung der Simulationsergeb. von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)	
		n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual	unten	oben
AMBULANZ	ARZT	75	1	65	15,3733	137461	15,2766	-0,0967	-0,63%	-2,2470	2,4405
AMBULANZ	R-EKG	94	3	33	10,1277	218850	10,18231	0,0546	0,54%	-1,1812	1,0719
ECHO	TEE	23	4	51	21,7391	105984	22,08118	0,3421	1,57%	-4,9364	4,2523
ECHO	TSE	4	30	45	37,7500	6916	37,51243	-0,2376	-0,63%	-10,2659	10,7410
ECHO	TTE	100	5	62	18,4000	691853	18,28245	-0,1175	-0,64%	-2,1499	2,3850
EKG	BELAS	147	5	45	17,2585	180265	17,05319	-0,2053	-1,19%	-0,9477	1,3583
EKG	SPIRO	22	14	45	29,5909	32777	30,12445	0,5335	1,80%	-3,7536	2,6865
HKL	ABLAE	3	70	120	93,3333	9436	96,08309	2,7498	2,95%	-18,2305	12,7310
HKL	ABLAK	5	112	306	203,2000	7767	199,92378	-3,2762	-1,61%	-59,0843	65,6368
HKL	AUFKL	3	4	7	5,3333	202557	5,3202	-0,0131	-0,25%	-0,9965	1,0227
HKL	CORO	97	25	155	65,7732	158547	65,97401	0,2008	0,31%	-5,3591	4,9575
HKL	EPU	12	47	171	96,5833	13720	96,07879	-0,5045	-0,52%	-20,7300	21,7391
HKL	KATH	6	50	85	68,3333	11854	68,93049	0,5972	0,87%	-8,6400	7,4457
HKL	MITRA	3	317	721	504,3333	922	478,41649	-25,9168	-5,14%	-131,5832	183,4169
HKL	PTA	58	22	260	112,0172	37995	112,17442	0,1572	0,14%	-12,4423	12,1279
HKL	PTCA	9	40	160	82,5556	11000	82,34582	-0,2098	-0,25%	-29,6161	30,0356
HKL	SONST	8	88	170	116,5000	21550	116,30042	-0,1996	-0,17%	-19,9053	20,3045
HKL	TAVI	4	126	226	181,7500	1913	188,48876	6,7388	3,71%	-59,2115	33,2340
HKL-AKUT	gesamt	23	28	230	96,8261	55717	98,20855	1,3825	1,43%	-24,8204	22,0555
KARDSTAT	ANAMA	9	11	50	26,3333	401940	26,11462	-0,2187	-0,83%	-4,7813	5,2188
KARDSTAT	ANAMP	13	3	21	8,5385	401943	8,69578	0,1573	1,84%	-2,3824	2,0678
KARDSTAT	AUFNM	39	2	9	3,7436	237643	3,7841	0,0405	1,08%	-0,5434	0,4624
KARDSTAT	BRIEF	15	10	33	19,8000	403206	19,67831	-0,1217	-0,61%	-3,0875	0,7142
KARDSTAT	ENTLG	5	3	7	4,8000	401933	4,82085	0,0209	0,43%	-0,7559	0,6176
KARDSTAT	R-EKG	21	0	12	3,0952	2083855	3,0387	-0,0565	-1,83%	-1,2140	1,3271
KARDSTAT	VISIK	14	0	5	1,9286	2088444	1,93944	0,0108	0,56%	-0,8104	0,7887
KARDSTAT	VISIP	75	1	65	15,3733	137461	15,2766	-0,0967	-0,63%	-2,2470	2,4405

A78. Warte-, Durchlaufzeiten in der kard. Ambulanz - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Erhebungsbogen, Laufzettel)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual	unten	oben
WZ Aufnahme	206	0	13	1,6505	129206	1,6493	-0,0011	-0,07%	-0,4408	0,4431
WZ Erstkontakt	183	1	97	23,3333	129206	23,1361	-0,1973	-0,85%	-3,5841	3,9787
WZ Arzt	73	0	132	19,6712	129204	19,6282	-0,0430	-0,22%	-6,2198	6,3058
WZ Echo	155	0	83	17,8000	102008	17,5416	-0,2584	-1,45%	-3,9312	4,4480
WZ EKG	84	0	92	9,6548	45326	9,6338	-0,0210	-0,22%	-3,4857	3,5277
DLZ gesamt	98	46	330	156,2449	128961	159,5856	3,3407	2,14%	-18,3765	4,4403

A79. Wartezeiten und Terminabweichungen in den Funktions-/OP-Bereichen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Erhebungsbogen, Laufzettel)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual	unten	oben
TA ECHO	-	-	-	-	759130	16,0576	-	-	-	-
TA EKG	-	-	-	-	200541	9,7244	-	-	-	-
TA HKL	-	-	-	-	260460	43,2537	-	-	-	-
WZ ECHO	248	0	195	18,1613	759130	16,5193	-1,6420	-9,04%	-1,7834	5,0673
WZ EKG	372	0	92	12,7043	200541	9,6319	-3,0724	-24,18%	1,3136	4,8311
WZ HKL	506	4	255	48,3360	260460	48,3968	0,0608	0,13%	-5,9878	5,8661
WZ HKL-Akut	-	-	-	-	52463	17,7060	-	-	-	-

A80. Durchlauf- und Liegezeiten auf den kard. Stationen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
	n	Dauer im Minimum (Tage)	Dauer im Maximum (Tage)	Dauer im Mittel (Tage)	n	Dauer im Mittel (Tage)	nominal	prozentual	unten	oben
DLZ (STA_1,2,6,7) Ankunft - Entlassung	1279	1	31	4,5008	223186	4,4811	-0,0196	-0,44%	-0,2223	0,2616
DLZ (STA_1,6) Ankunft - Entlassung	663	1	31	4,6576	115155	4,6309	-0,0267	-0,57%	-0,2716	0,3250
DLZ (STA_2,7) Ankunft - Entlassung	626	0	37	4,3275	108031	4,3215	-0,0060	-0,14%	-0,3357	0,3477
DLZ (STA_3,4,5) Ankunft - Entlassung	909	0	95	6,4158	149900	6,3007	-0,1152	-1,80%	-0,2947	0,5251
RL (STA_1,2,6,7) VU- Ende - Entlassung	1289	0	36	3,5213	223186	3,5034	-0,0180	-0,51%	-0,2098	0,2457
RL (STA_1,6) VU-Ende - Entlassung	663	0	31	3,6787	115155	3,6366	-0,0421	-1,14%	-0,2599	0,3441
RL (STA_2,7) VU-Ende - Entlassung	625	0	30	3,3680	108031	3,3613	-0,0067	-0,20%	-0,3142	0,3275

A81. Voruntersuchungszeit und Räumung Bett auf den kard. Stationen - Mittelwertvergleiche und Konfidenzintervalle bezogen auf Teil 2 der Datenbasis

Bezeichnung	Vergleichswerte aus dem Realsystem (Teil 2 des Datenbestandes)			simulierte Werte (nach Justierung)		Abweichung der Simulationsergebnisse von den Realdaten		Konfidenzintervall der Differenz (95% bei zwei unabh. Stichproben)		
	n	Dauer im Minimum (Minuten)	Dauer im Maximum (Minuten)	Dauer im Mittel (Minuten)	n	Dauer im Mittel (Minuten)	nominal	prozentual	unten	oben
VU (STA_1,2,6,7) Ankunft - VU-Ende	1279	0	3235	1401,5739	223186	1407,1527	5,5788	0,40%	-128,1140	116,9564
VU (STA_1,6) Ankunft - VU-Ende	663	0	3235	1391,7822	115155	1425,3484	33,5662	2,41%	-210,6812	143,5488
VU (STA_2,7) Ankunft - VU-Ende	625	0	3234	1395,8928	108031	1387,7571	-8,1357	-0,58%	-159,5309	175,8024
LZ Räumung Bett	213	570	1020	770,2817	378515	765,0268	-5,2550	-0,68%	-7,6198	18,1297

A82. Implementierung von Verspätungen und no-show Ereignissen bei Aufnahmetermen im Soll-Modell

Zur Umsetzung von Abweichungen im Ankunftszeitpunkt (zu früh/zu spät) oder dem gänzlichen Ausbleiben (no-show), wurde quellspezifisch im Soll-Modell der Parameter „DB_Source_NoShow_Probability“ hinterlegt. Mit diesem wird über die eingestellte Wahrscheinlichkeit das Ausbleiben der Patienten auch im Simulationsmodell realisiert. Darüber hinaus wurde quellspezifisch die Parameter „Timeliness_Max“, „Timeliness_Mean“, „Timeliness_Variance“ implementiert. Über die hinterlegte Verteilungsfunktion kann so ein zu frühes, verspätetes oder pünktliches Auftreten der Patienten im Modell generiert und damit die Planungsergebnisse beeinflusst werden. Dies erfolgt, indem die Verzögerung des Partikels bis zum Termin entsprechend in der zeitlichen Länge verlängert (über den Aufnahmetermin hinaus) oder verkürzt wird. Der Zeitpunkt zu dem die Verzögerung endet, determiniert den konkreten Zeitpunkt des Auftretens, zu dem der Patientenpartikel im Behandlungspfad resp. einer vorgelagerten Ressourcenwarteschlange zugeführt wird (Einsteuerung). Die diesbezüglich vorgenommene Modellerweiterung an den Patientenquellen ist in Abb. 205 (rechts oben) veranschaulicht.

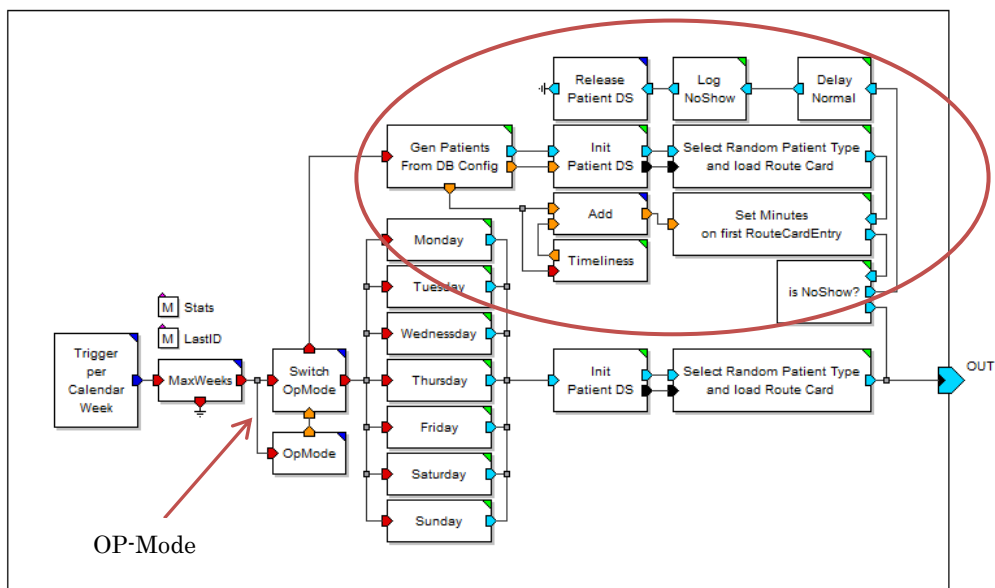


Abb. 205: Modul „PatientSource“ mit Möglichkeit zu no-show und unpünktlichen Patienten

Über das ebenfalls ergänzte Primitiv „Switch OpMode“ kann nun an den Quellen mittels hinterlegtem Parameter „DB_Source_OP_Mode“ zwischen dem Ist- und Sollablauf umgeschaltet werden. Im Ist-Ablauf werden die Zugänge über Verteilungsfunktionen (Parameterwert = „Distribution“) erzeugt. Beim Umschalten auf „DB“ als OP-Mode wird die vom Optimierer erzeugte Zugangsplanung genutzt.

A83. Alternative Terminvergabe für Aufnahmetermine durch den GA

Alternativ zur Vergabe von Aufnahmetermine über die Terminvergaberegeln wird die Möglichkeit vorgehalten, die Termine direkt zu bestimmen. Dies erfolgt in der Art, dass in den jeweiligen Chromosomen der Zugangsplanung (CZ01-CZ03) eine weitere Ebene eingesetzt wird, welche den Zugangstermin repräsentiert (siehe Abb. 206). Die betreffenden Chromosomen werden damit zum multi-component Chromosomen.

Planungs-ID	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tag	Mo.	Mo.	Mo.	Di.	Di.	Di.	Di.	Di.	Di.	Mi.	Mi.	Mi.	Mi.	Do.	Do.	Do.	Fr.	Mo.	Mo.
Termin	615	615	630	675	660	585	585	540	615	630	675	660	585	690	615	585	630	645	660

Abb. 206: Erweiterung des Chromosoms der kard. Stationen um den Zugangstermin

Die Terminausprägung kann, unter Berücksichtigung etwaiger gegebener Einbestellungs- resp. Aufnahmezeiten, jede mögliche Uhrzeit als Ausprägung annehmen. Mit der hier gewählten Umsetzung besteht die Möglichkeit Termine auch mehrfach zu vergeben. In Anlehnung an die Spezifikationen des Simulationsmodells und zur leichteren Handhabung der späteren genetischen Operatoren, werden die Termine als ganzzahliger Wert geführt. Hierbei wird der Zeitpunkt in Minuten beginnend ab dem Tageswechsel genutzt (z.B. 450 = 07:30 Uhr). Darüber hinaus werden dem Algorithmus in der Umsetzung, über die Parameter „Opening_Time_xxx“ und „Closing_Time_xxx“, Minimal- und Maximalwerte sowie der Scale-Wert als eine bereichsspezifische Parametrisierung für die Einbestellungszeiten und die Skalierung (Granularität) innerhalb dieser übergeben. Umso größer hier der Zeitrahmen für die Aufnahmezeiten und umso kleiner die Skalierung gewählt wird, umso freier kann der Algorithmus die Termine vergeben und, auf den gegebenen Gesamtzeitraum bezogen, die optimalen Einbestellungszeiten für die Patienten finden. Für den hier vorliegenden Sachverhalt bezieht sich der Scale-Wert auf den bereits spezifizierten zeitlichen Abstand der Aufnahmetermine von 15 Minuten untereinander. Die nachfolgende Tabelle beinhaltet die Parameter und deren Werte (siehe Abb. 207).

Benennung des Parameters	Parameterwert
Opening_Time_AMB	450
Opening_Time_STA	420
Closing_Time_AMB	750
Closing_Time_STA	930
TimeScale_AMB	15
TimeScale_STA	15

Abb. 207: Parameterausprägungen zur Vergabe der Aufnahmetermine

Somit sind, in der gewählten Umsetzung, die im Abschnitt 10.4 (a) getroffenen Spezifikationen ebenso erfüllt. Für die Funktions- und OP-Bereiche entfallen an dieser Stelle die Einschränkungen, da für diese keine Aufnahmetermine über den Genetischen Algorithmus vergeben werden.

A84. Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Zugangsplanung

Chromosom	Zielstellung	Kennzahl	Optimierung	Bezeichnung	Bezugsgröße
CZ01	Bestimmung der Anzahl elektiver Zugänge der kard. Ambulanz (AMB_1)	Anzahl ambulant aufgenommener, elektiver Patienten	Maximierung	outpatient_count	number_of_weeks
		Durchlaufzeit der elektiven Patienten der kard. Ambulanz	Minimierung	outpatient_los	outpatient_count
		Anzahl elektiver Patienten die nicht am selbigen Tag komplett abgearbeitet werden konnten	Minimierung	outpatient_incomplete	number_of_weeks
CZ02	Bestimmung Anzahl der elektiven Zugänge der kard. Station 1 (STA_1)	Anzahl stationär auf kard. Station 1 aufgenommener, elektiver Patienten	Maximierung	inpatient_1_count	number_of_weeks
		Wartezeit der elektiven Patienten auf ein Stationsbett	Minimierung	inpatient_1_waiting_time	inpatient_1_count
		Anzahl elektiver Patienten die über Nacht auf ein Bett warten mussten	Minimierung	inpatient_1_waiting	number_of_weeks
CZ03	Bestimmung Anzahl der elektiven Zugänge der kard. Station 1 (STA_2)	Anzahl stationär auf kard. Station 2 aufgenommener, elektiver Patienten	Maximierung	inpatient_2_count	number_of_weeks
		Wartezeit der elektiven Patienten auf ein Stationsbett	Minimierung	inpatient_2_waiting_time	inpatient_2_count
		Anzahl elektiver Patienten die über Nacht auf ein Bett warten mussten	Minimierung	inpatient_2_waiting	number_of_weeks
CZ04	Bestimmung Anzahl der elektiven Zugänge im ECHO (EKG_1)	Anzahl im EKG behandelte elektiver Patienten von extern	Maximierung	ext_EKG_count	number_of_weeks
		Wartezeit der elektiven Patienten auf die Ressource	Minimierung	EKG_waiting_time	ext_EKG_count
		Anzahl elektiver Patienten die nicht am selbigen Tag abgearbeitet werden konnten	Minimierung	EKG_incomplete	number_of_weeks
CZ05	Bestimmung Anzahl der elektiven Zugänge im ECHO (ECHO_1)	Anzahl im ECHO behandelte elektiver Patienten von extern	Maximierung	ext_ECHO_count	number_of_weeks
		Wartezeit der elektiven Patienten auf die Ressource	Minimierung	ECHO_waiting_time	ext_ECHO_count
		Anzahl elektiver Patienten die nicht am selbigen Tag abgearbeitet werden konnten	Minimierung	ECHO_incomplete	number_of_weeks
CZ06	Bestimmung Anzahl der elektiven Zugänge im HKL (HKL_1)	Anzahl im HKL behandelte elektiver Patienten von extern	Maximierung	ext_HKL_count	number_of_weeks
		Wartezeit der elektiven Patienten auf die Ressource	Minimierung	HKL_waiting_time	ext_HKL_count
		Anzahl elektiver Patienten die nicht am selbigen Tag abgearbeitet werden konnten	Minimierung	HKL_incomplete	number_of_weeks
CZ07	Bestimmung Anzahl prästationärer Zugänge (STA_6, STA_7, AMB_3)	Anzahl prästationär aufgenommener, elektiver Patienten	Maximierung	preinpatient_count	number_of_weeks
		Durchlaufzeit der prästationären Patienten	Minimierung	preinpatient_los	preinpatient_count
		Anzahl prästationär aufgenommene Patienten die nicht am selbigen Tag abgearbeitet werden konnten	Minimierung	preinpatient_incomplete	number_of_weeks

Tab. 131: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Zugangsplanung (CZ01-CZ07)

A85. Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Terminplanung

Chromosom	Zielstellung	Kennzahl	Optimierung	Bezeichnung	Bezugsgröße
CT01	Bestimmung der Einstellungsregel für die kard. Ambulanz	Wartezeit vor dem Ruhe-EKG	Minimierung	amb_REKG_waiting_time	outpatient_count
		Durchlaufzeit der elektiven Patienten der kard. Ambulanz	Minimierung	outpatient_los	outpatient_count
		Anzahl elektiver Patienten die nicht am selbigen Tag komplett abgearbeitet werden konnten	Minimierung	outpatient_incomplete	number_of_weeks
CT02	Bestimmung der Einstellungsregel für die kard. Stationen	Wartezeit vor der Anamnese Pflege / Arzt	Minimierung	inpatient_anamnese_waiting_time	inpatient_1_count + inpatient_2_count
		Wartezeit der elektiven Patienten auf ein Stationsbett (STA_1+STA_2)	Minimierung	inpatient_1_waiting_time + inpatient_2_wating_time	inpatient_1_count + inpatient_2_count
		Anzahl elektiver Patienten die über Nacht auf ein Bett warten mussten (STA_1+STA_2)	Minimierung	inpatient_1_waiting + inpatient_2_waiting	number_of_weeks

Tab. 132: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Planung von Aufnahmetermeninen (CT01-CT02)

A86. Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness in der Reservierungsplanung

Chromosom	Zielstellung	Kennzahl	Optimierung	Bezeichnung	Bezugsgröße
CR01	Bestimmung Anzahl der Puffer im HKL1	Anzahl behandelter Patienten im OP-Bereich HKL1 inkl. Notfälle	Maximierung	HKL1_count	number_of_weeks
		Terminabweichung der elektiven Patienten im betreffenden OP-Bereich HKL1	Minimierung	HKL1_schedule_deviation	HKL1_count_elective
CR02	Bestimmung Anzahl Reservierungen für Patienten der kard. Stationen im HKL2	Anzahl genutzter Reservierungen im Verhältnis zur Anzahl eingeplanter Reservierungen im HKL2	Maximierung	HKL2_res_used	HKL2_res_planned
		Anzahl eingestellter Reservierungen im HKL2	Maximierung	HKL2_res_planned	-
CR03	Bestimmung Anzahl Reservierungen für Patienten der kard. Stationen im HKL3	Anzahl genutzter Reservierungen im Verhältnis zur Anzahl eingeplanter Reservierungen im HKL3	Maximierung	HKL3_res_used	HKL3_res_planned
		Anzahl eingestellter Reservierungen im HKL3	Maximierung	HKL3_res_planned	-
CR04	Anzahl Reservierungen für ein normales Echo (TTE) im ECHO1	Anzahl genutzter Reservierungen im Verhältnis zur Anzahl eingeplanter Reservierungen im ECHO1	Maximierung	ECHO1_res_used	ECHO1_res_planned
		Anzahl eingestellter Reservierungen im ECHO1	Maximierung	ECHO1_res_planned	-
CR05	Anzahl Reservierungen für ein Schluckecho (TEE) im ECHO2	Anzahl genutzter Reservierungen im Verhältnis zur Anzahl eingeplanter Reservierungen im ECHO2	Maximierung	ECHO2_res_used	ECHO2_res_planned
		Anzahl eingestellter Reservierungen im ECHO2	Maximierung	ECHO2_res_planned	-
CR06	Anzahl Reservierungen für ein Belastungs-EKG/Spiro	Anzahl genutzter Reservierungen im Verhältnis zur Anzahl eingeplanter Reservierungen	Maximierung	EKG_res_used	EKG_res_planned
		Anzahl eingestellter Reservierungen im EKG	Maximierung	EKG_res_planned	-

Tab. 133: Übersicht Kennzahlen zur Berechnung der Chromosomenfitness bei der Reservierungsplanung (CR01-CR06)

A87. Übersicht der Systemparameter im Optimierungsmodell

TimeConstraints:

Bezeichnung	Wert	Beschreibung
OpeningTime_HKL1	450	Beginn der Terminvergabezeit des HKL1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_HKL2	525	Beginn der Terminvergabezeit des HKL2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_HKL3	450	Beginn der Terminvergabezeit des HKL3 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_Echo1	465	Beginn der Terminvergabezeit des ECHO1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_Echo2	465	Beginn der Terminvergabezeit des ECHO2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_EKG	480	Beginn der Terminvergabezeit des EKG (in Minuten ab 00:00 Uhr)
SlotSize_HKL1	15	Größe eines Terminslots im Terminkalender des HKL1
SlotSize_HKL2	15	Größe eines Terminslots im Terminkalender des HKL2
SlotSize_HKL3	15	Größe eines Terminslots im Terminkalender des HKL3
SlotSize_Echo1	15	Größe eines Terminslots im Terminkalender des ECHO1
SlotSize_Echo2	15	Größe eines Terminslots im Terminkalender des ECHO2
SlotSize_EKG	10	Größe eines Terminslots im Terminkalender des EKG
BlockSize_HKL1	1	Anzahl Terminslots einer Reservierung im HKL1
BlockSize_HKL2	5	Anzahl Terminslots einer Reservierung im HKL2
BlockSize_HKL3	9	Anzahl Terminslots einer Reservierung im HKL3
BlockSize_Echo1	1	Anzahl Terminslots einer Reservierung im ECHO1
BlockSize_Echo2	2	Anzahl Terminslots einer Reservierung im ECHO2
BlockSize_EKG	2	Anzahl Terminslots einer Reservierung im EKG
BreakStart_HKL1	0	Beginn der Pausenzeit im HKL1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakStart_HKL2	0	Beginn der Pausenzeit im HKL2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakStart_HKL3	0	Beginn der Pausenzeit im HKL3 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakStart_Echo1	720	Beginn der Pausenzeit im ECHO1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakStart_Echo2	720	Beginn der Pausenzeit im ECHO2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakStart_EKG	0	Beginn der Pausenzeit im EKG (in Minuten ab 00:00 Uhr)
BreakLength_HKL1	0	Länge der Pausenzeit im HKL1 (in Minuten)
BreakLength_HKL2	0	Länge der Pausenzeit im HKL2 (in Minuten)
BreakLength_HKL3	0	Länge der Pausenzeit im HKL3 (in Minuten)
BreakLength_Echo1	60	Länge der Pausenzeit im ECHO1 (in Minuten)
BreakLength_Echo2	60	Länge der Pausenzeit im ECHO2 (in Minuten)
BreakLength_EKG	0	Länge der Pausenzeit im EKG (in Minuten)
ClosingTime_HKL1	1035	Ende der Terminvergabezeit des HKL1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
ClosingTime_HKL2	930	Ende der Terminvergabezeit des HKL2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
ClosingTime_HKL3	1035	Ende der Terminvergabezeit des HKL3 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
ClosingTime_Echo1	930	Ende der Terminvergabezeit des ECHO1 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
ClosingTime_Echo2	930	Ende der Terminvergabezeit des ECHO2 (in Minuten ab 00:00 Uhr)
ClosingTime_EKG	900	Ende der Terminvergabezeit des EKG (in Minuten ab 00:00 Uhr)
OpeningTime_AMB	450	Beginn der Terminvergabezeit der kard. Ambulanz (in Minuten ab 00:00 Uhr), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.
ClosingTime_AMB	750	Ende der Terminvergabezeit der kard. Ambulanz (in Minuten ab 00:00 Uhr), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.
TimeScale_AMB	15	Abstand der Terminvergabezeiten der kard. Ambulanz untereinander (in Minuten), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.
OpeningTime_STA	420	Beginn der Terminvergabezeiten der kard. Stationen (in Minuten ab 00:00 Uhr), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.
ClosingTime_STA	930	Ende der Terminvergabezeiten der kard. Stationen (in Minuten ab 00:00 Uhr), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.
TimeScale_STA	15	Abstand der Terminvergabezeiten der kard. Stationen untereinander (in Minuten), bei Terminvergabe ohne Regelchromosomen.

Anhang

Length Constraints:

Bezeichnung	Wert	Beschreibung
CZ01_MinLength	0	minimale Länge des Chromosoms CZ01
CZ01_MaxLength	30	maximale Länge des Chromosoms CZ01
CZ01_InitLength	25	initiale Länge des Chromosoms CZ01
CZ02_MinLength	0	minimale Länge des Chromosoms CZ02
CZ02_MaxLength	50	maximale Länge des Chromosoms CZ02
CZ02_InitLength	25	initiale Länge des Chromosoms CZ02
CZ03_MinLength	0	minimale Länge des Chromosoms CZ03
CZ03_MaxLength	50	maximale Länge des Chromosoms CZ03
CZ03_InitLength	25	initiale Länge des Chromosoms CZ03
CZ04_MinLength	0	minimale Länge des Chromosoms CZ04
CZ04_MaxLength	0	maximale Länge des Chromosoms CZ04
CZ04_InitLength	0	initiale Länge des Chromosoms CZ04
CZ05_MinLength	0	minimale Länge des Chromosoms CZ05
CZ05_MaxLength	0	maximale Länge des Chromosoms CZ05
CZ05_InitLength	0	initiale Länge des Chromosoms CZ05
CZ06_Length	0	statische Länge des Chromosoms CZ06 (0 = inaktiv)
CZ07_Length	7	statische Länge des Chromosoms CZ07
CR01_Length_Monday	31	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (Mo.)
CR01_Length_TuesdayToThursday	31	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (Di.- Do.)
CR01_Length_Friday	31	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (Fr.)
CR02_Length_Monday	5	Anzahl Gene im Chromosom CR02 (Mo.)
CR02_Length_TuesdayToThursday	5	Anzahl Gene im Chromosom CR02 (Di.- Do.)
CR02_Length_Friday	5	Anzahl Gene im Chromosom CR02 (Fr.)
CR03_Length_Monday	2	Anzahl Gene im Chromosom CR03 (Mo.)
CR03_Length_TuesdayToThursday	2	Anzahl Gene im Chromosom CR03 (Di.- Do.)
CR03_Length_Friday	2	Anzahl Gene im Chromosom CR03 (Fr.)
CR04_Length_Monday	26	Anzahl Gene im Chromosom CR04 (Mo.)
CR04_Length_TuesdayToThursday	26	Anzahl Gene im Chromosom CR04 (Di.- Do.)
CR04_Length_Friday	26	Anzahl Gene im Chromosom CR04 (Fr.)
CR05_Length_Monday	11	Anzahl Gene im Chromosom CR05 (Mo.)
CR05_Length_TuesdayToThursday	11	Anzahl Gene im Chromosom CR05 (Di.- Do.)
CR05_Length_Friday	11	Anzahl Gene im Chromosom CR05 (Fr.)
CR06_Length_Monday	19	Anzahl Gene im Chromosom CR06 (Mo.)
CR06_Length_TuesdayToThursday	19	Anzahl Gene im Chromosom CR06 (Di.- Do.)
CR06_Length_Friday	19	Anzahl Gene im Chromosom CR06 (Fr.)
CR01_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (Sa.)
CR01_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (So.)
CR02_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR02 (Sa.)
CR02_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR02 (So.)
CR03_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR03 (Sa.)
CR03_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR03 (So.)
CR04_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR04 (Sa.)
CR04_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR04 (So.)
CR05_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR05 (Sa.)
CR05_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR05 (So.)
CR06_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR06 (Sa.)
CR06_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR06 (So.)
CR01_Length_Saturday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (Sa.)
CR01_Length_Sunday	0	Anzahl Gene im Chromosom CR01 (So.)

KeyFigure Constraints:

Bezeichnung	Wert	Beschreibung
CZ01_MaxOutpatientLengthOfStay	330	maximal aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Durchlaufzeit der Ambulanzpatienten (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ02_MaxWaitingTime	480	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Wartezeit auf ein Bett bei Patienten der kard. Station 1 (Planung über Chromosom CZ02) (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ03_MaxWaitingTime	480	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Wartezeit auf ein Bett bei Patienten der kard. Station 2 (Planung über Chromosom CZ03) (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ04_MaxWaitingTime	480	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Wartezeit der Patienten auf ein EKG (Planung über Chromosom CZ04) (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ05_MaxWaitingTime	480	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Wartezeit der Patienten auf ein ECHO (Planung über Chromosom CZ05) (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ06_MaxWaitingTime	480	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Wartezeit der Patienten auf ein ECHO (Planung über Chromosom CZ06) (im Mittel je Woche in Minuten)
CZ07_MaxPreInpatientLengthOfStay	500	maximal aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Durchlaufzeit der prästationären Patienten (in Minuten) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR01_MaxPatients	20	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Anzahl an Patienten im HKL1 (im Mittel je Woche)
CR01_MaxScheduleDeviation	100	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Terminabweichung der geplanten Maßnahme
CR02_MaxReservationRatio	1.0	maximales Verhältnis von geplanten Reservierungen zu genutzten Reservierungen im Chromosom CR02
CR02_MaxInpatientBedTime	4317	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Liegezeit der Patienten des kard. Station 1 (Planung über Chromosom CR02) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR03_MaxReservationRatio	1.0	maximales Verhältnis von geplanten Reservierungen zu genutzten Reservierungen im Chromosom CR03
CR03_MaxInpatientBedTime	4317	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Liegezeit der Patienten des kard. Station 2 (Planung über Chromosom CR03) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR04_MaxReservationRatio	1.0	maximales Verhältnis von geplanten Reservierungen zu genutzten Reservierungen im Chromosom CR04
CR04_MaxInpatientBedTime	4317	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Liegezeit der Patienten des kard. Stationen (Planung über Chromosom CR04) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR04_MaxOutpatientLengthOfStay	330	maximal aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Durchlaufzeit der Ambulanzpatienten mit Kontakt zum ECHO1 (im Mittel je Woche in Minuten)
CR05_MaxReservationRatio	1.0	maximales Verhältnis von geplanten Reservierungen zu genutzten Reservierungen im Chromosom CR05
CR05_MaxInpatientBedTime	4317	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Liegezeit der Patienten des kard. Stationen (Planung über Chromosom CR05) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR05_MaxOutpatientLengthOfStay	330	maximal aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Durchlaufzeit der Ambulanzpatienten mit Kontakt zum ECHO2 (im Mittel je Woche in Minuten)
CR06_MaxReservationRatio	1.0	maximales Verhältnis von geplanten Reservierungen zu genutzten Reservierungen im Chromosom CR06
CR06_MaxInpatientBedTime	4317	maximale aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Liegezeit der Patienten des kard. Stationen (Planung über Chromosom CR06) (im Mittel je Woche in Minuten)
CR06_MaxOutpatientLengthOfStay	330	maximal aus den Simulationsergebnissen zu erwartende Durchlaufzeit der Ambulanzpatienten mit Kontakt zum EKG (im Mittel je Woche in Minuten)

Anhang

AppRule Constraints

Bezeichnung	Wert	Beschreibung
Min_BlockSize_1_AMB	1	Minimale Anzahl Patienten, die auf den ersten Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Max_BlockSize_1_AMB	5	Maximale Anzahl Patienten, die auf den ersten Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Scale_BlockSize_1_AMB	1	Skalierungsfaktor für die mögliche Anzahl Patienten die auf den ersten Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Min_BlockSize_n_AMB	1	Minimale Anzahl Patienten, die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Max_BlockSize_n_AMB	3	Maximale Anzahl Patienten, die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Scale_BlockSize_n_AMB	1	Skalierungsfaktor für die mögliche Anzahl Patienten die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz geplant werden können.
Min_Interval_AMB	15	Minimaler Zeitabstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz.
Max_Interval_AMB	30	Maximaler Zeitabstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz.
Scale_Interval_AMB	15	Skalierungsfaktor für den zeitlichen Abstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Ambulanz.
Min_Begin_AMB	450	Beginn der Aufnahmezeit und Vergabe von Aufnahmetermine in der Planung der kard. Ambulanz, in Minuten ab 00:00 Uhr.
Max_Begin_AMB	690	Ende der Aufnahmezeit und Vergabe von Aufnahmetermine in der Planung der kard. Ambulanz, in Minuten ab 00:00 Uhr.
Scale_Begin_AMB	15	Skalierungsfaktor der Aufnahmezeit in der Planung der kard. Ambulanz.
Min_BlockSize_1_STA	1	Minimale Anzahl Patienten, die auf den ersten Aufnahmetermine der kard. Stationen geplant werden können.
Max_BlockSize_1_STA	5	Maximale Anzahl Patienten, die auf den ersten Aufnahmetermine der kard. Stationen geplant werden können.
Scale_BlockSize_1_STA	1	Skalierungsfaktor für die mögliche Anzahl Patienten die auf den ersten Aufnahmetermine der kard. Stationen geplant werden können.
Min_BlockSize_n_STA	1	Minimale Anzahl Patienten, die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Stationen geplant werden können.
Max_BlockSize_n_STA	3	Maximale Anzahl Patienten, die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Stationen geplant werden können.
Scale_BlockSize_n_STA	1	Skalierungsfaktor für die mögliche Anzahl Patienten die auf den weiteren Aufnahmetermine in der kard. Stationen geplant werden können.
Min_Interval_STA	15	Minimaler Zeitabstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Stationen.
Max_Interval_STA	30	Maximaler Zeitabstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Stationen.
Scale_Interval_STA	15	Skalierungsfaktor für den zeitlichen Abstand zwischen den Aufnahmetermine in der kard. Stationen.
Min_Begin_STA	450	Beginn der Aufnahmezeit und Vergabe von Aufnahmetermine in der Planung der kard. Stationen, in Minuten ab 00:00 Uhr.
Max_Begin_STA	690	Ende der Aufnahmezeit und Vergabe von Aufnahmetermine in der Planung der kard. Stationen, in Minuten ab 00:00 Uhr.
Scale_Begin_STA	15	Skalierungsfaktor der Aufnahmezeit in der Planung der kard. Stationen.

Log_Files

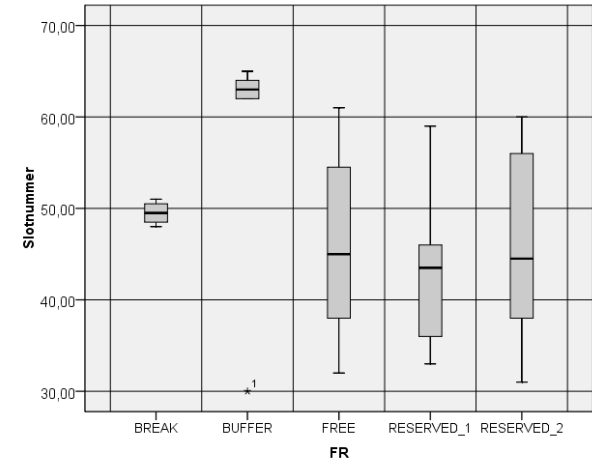
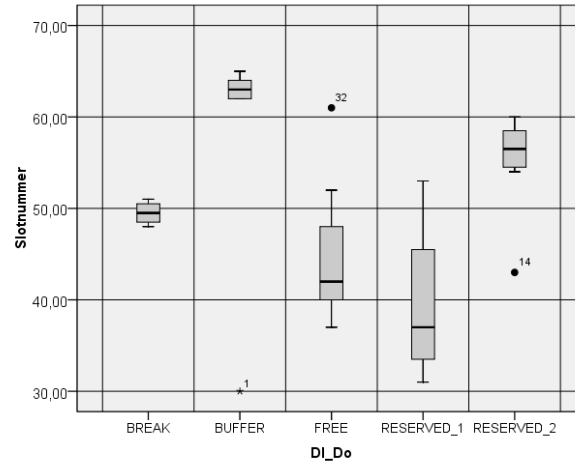
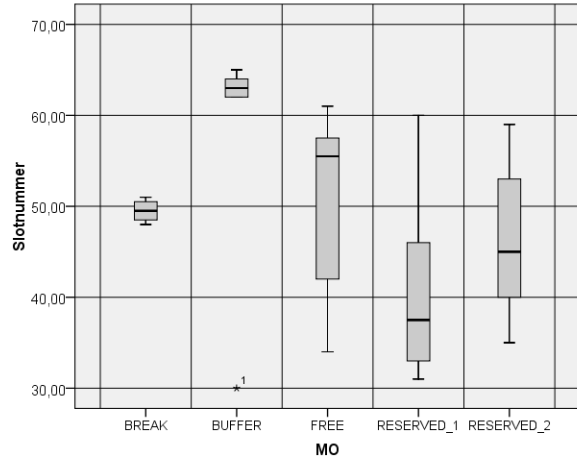
Bezeichnung	Wert	Beschreibung
Sim_ID_FileName	SIM_ID.txt	Textdatei zur Übergabe der Simulations-ID des zu simulierenden Individuums
SEED_FileName	SIM_SEED.txt	Textdatei zur Übergabe des Seed-Wertes für das zu simulierende Individuum
LogFileName	SIM_LogFile.txt	Textdatei zur Dokumentation von allgemeinen Simulationsausgaben
ErrorLog_StartProcess	SIM_LogErrorOnStartProcess.txt	Textdatei zur Dokumentation von nicht korrekt/nicht schnell genug gestarteten externen Simulationen
ErrorLog_noEarningsFigure	SIM_LogErrorNoEarningsFigure.txt	Textdatei zur Dokumentation von nicht korrekt beendeten externen Simulationen, ohne Ertragswert
LogFileName_Seed	SIM_LogSeed.txt	Textdatei zur Dokumentation der Seed-Werte je Individuum
DB_FileName	SIM_DB.txt	Textdatei zur Übergabe der zu verwendenden Sub-Datenbank
WorkingDir	\$MLD_USER/GA_Optimization/_Export_HospitalModel	Arbeitspfad, Speicherort der Textdateien und des exportierten Simulationsmodells

Others:

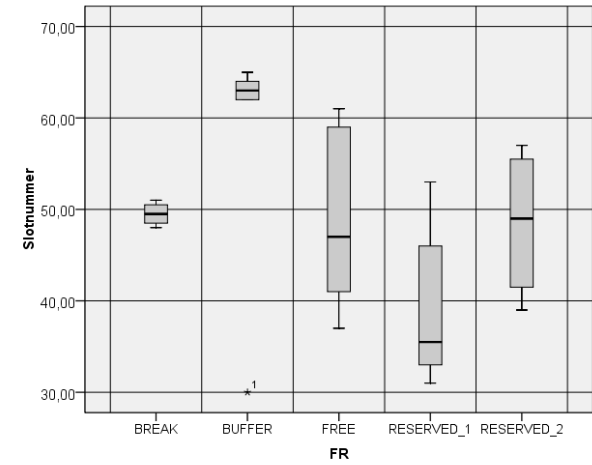
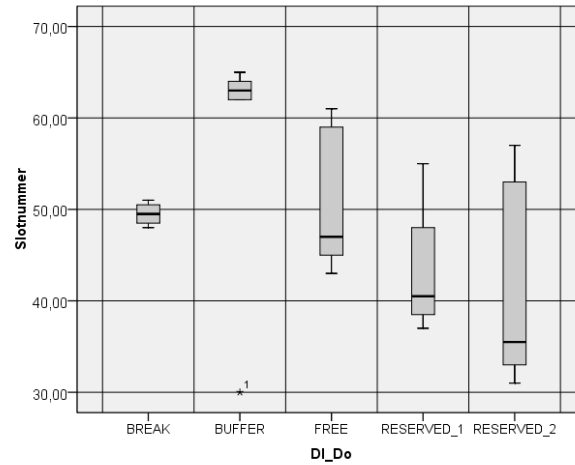
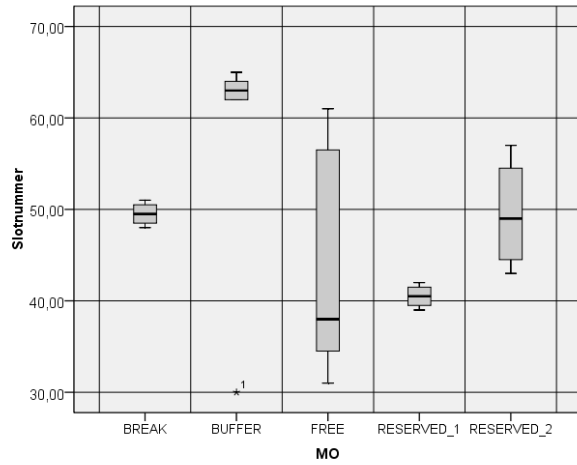
Bezeichnung	Wert	Beschreibung
GlobalSeed	1234567890	Globaler Wert für die Generierung der Zufallszahlenfolge
RunLength	-1	Simulationslänge (-1 = zeitlich unbestimmt), wird in dem Fall durch das Erreichen eines Abbruchkriteriums der Optimierungsschleife determiniert.
maxGenerations	250	Anzahl Generationen bis zum Simulationsende zur Determinierung der Laufzeit
PopulationSize	30	Anzahl Individuen einer Generation
Ranking	TRUE	true = Verwendung der rangbasierten Fitnesszuweisung false = Verwendung der proportionalen Fitnesszuweisung
Verbose	0	0 = keine Textausgabe 1 = detaillierte Textausgabe für Testzwecke 2 = detaillierte Textausgabe mit menschenlesbaren Uhrzeiten
dynamicMutationRate	TRUE	true = dynamische Mutationsrate aktiv; false = statische Mutationsrate aktiv
CrossoverRate	0.75	Wahrscheinlichkeit der Ausführung eines Crossover
MutationRate	0.50	Mutationswahrscheinlichkeit
Elitism	FALSE	true = Anwendung des Elitismus false = keine Anwendung des Elitismus
NumberOfWorkdays	5	Anzahl Werktage im Rahmen der Optimierung Mo.-Fr. = 5; Mo.-Sa. = 6; Mo.-So. = 7;
DataSourceName	xxx_sim	Name der zu (Haupt-)Datenbank
MaxIndividualEarnings	300000	Minimum möglicher Ergebniswerte (Erträge) aus dem Klinikmodell
MinIndividualEarnings	-500000	Maximum möglicher Ergebniswerte (Erträge) aus dem Klinikmodell
activate_CR01_HKL1_BUFFER	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR01 aktiv false = inaktiv
activate_CR02_HKL2_RES	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR02 aktiv false = inaktiv
activate_CR03_HKL3_RES	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR03 aktiv false = inaktiv
activate_CR04_ECHO1_RES	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR04 aktiv false = inaktiv
activate_CR05_ECHO2_RES	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR05 aktiv false = inaktiv
activate_CR06_EKG_RES	TRUE	true = Reservierungsplanung durch Chromosom CR06 aktiv false = inaktiv
RandomInitPopulation	TRUE	true = bei der Initialisierung der Chromosomen werden die Genausprägungen zufällig belegt false = vorgegebene Werte werden verwendet
Array_of_Seeds	1234567890 2345678901 3456789012	Sofern „SeedVariableActive“ auf 0 (inaktiv) gesetzt ist, kann eine hier hinterlegte feste Folge von Seed-Werten genutzt werden.
max_number_of_parallel_sim_runs	14	Anzahl der maximal möglichen parallelen Simulationen
logMutationRates	FALSE	true = aktiviert die Dokumentation der Mutationsraten in der Tabelle mutation_rates false = inaktiv
additional_evaluation_copies	9	Anzahl zusätzlicher Evaluationskopien
EvaluationPeriod	3 7	Zeitintervall zur Auswertung der Simulationsergebnisse, beginnend ab 0.
use_ApptRule_Chromosomes	TRUE	true = Nutzung der Regelchromosomen zur Vergabe von Aufnahmetermeninen aktiv false = Terminvergabe erfolgt direkt über Terminvergabechromosomen.
MinMutationRate	0.001	Minimal mögliche Mutationsrate bei der Anwendung der variablen Mutationsrate
MinMutationRateAtGen	250	Generation zu der die minimale Mutationsrate erreicht wird.
SeedVariableActive	0	1 = zufällige Vergabe von Seed-Werten für jede Simulation des Klinikmodells aktiv 0 = inaktiv, Array_of_Seeds wird genutzt

A88. Boxplots der im Szenario 1 eingestellten Reservierungen in den Terminkalendern der Funktions- /OP-Bereiche

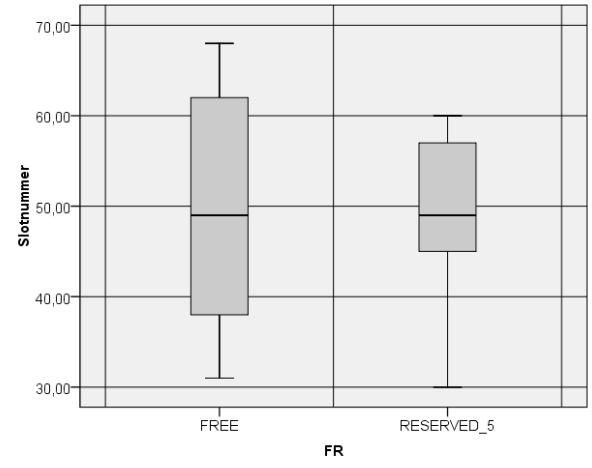
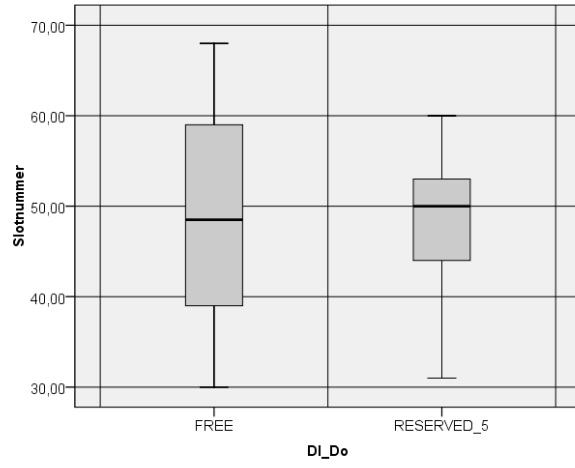
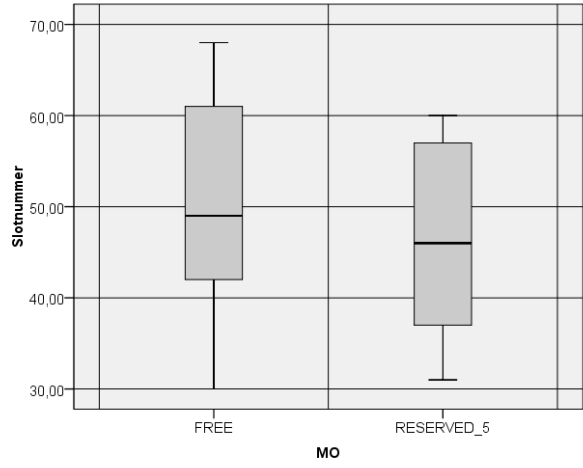
ECHO1



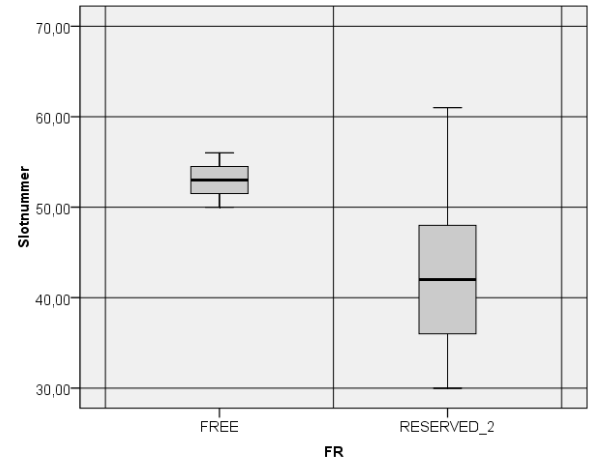
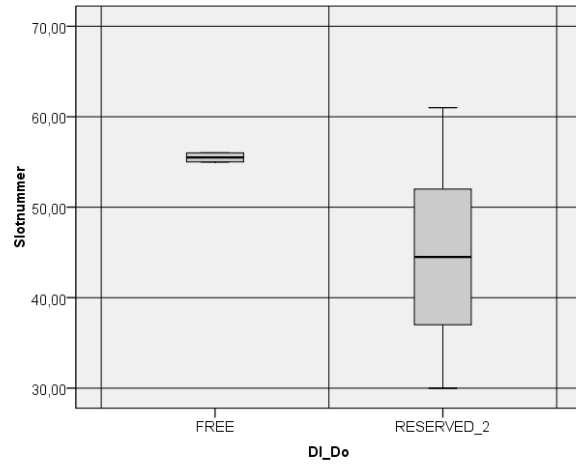
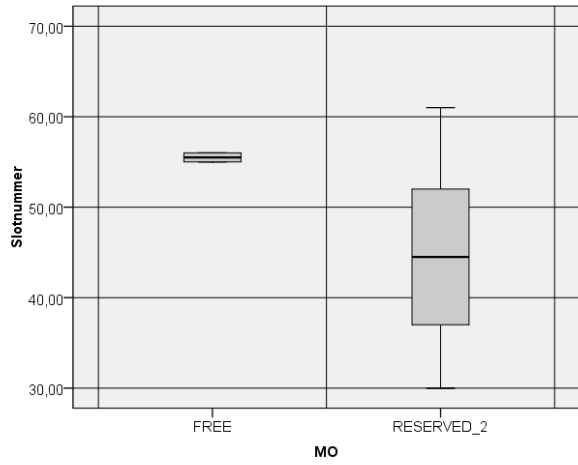
ECHO2



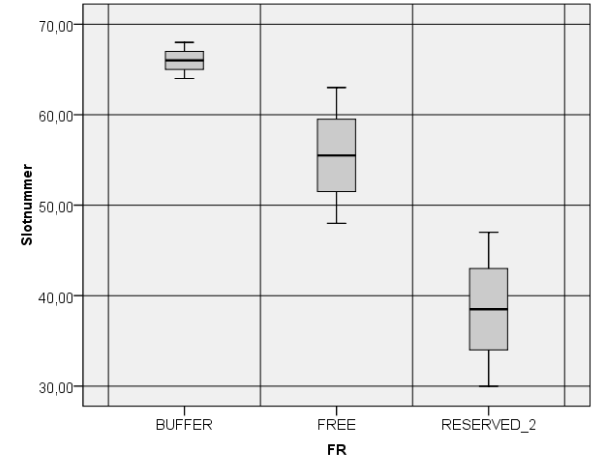
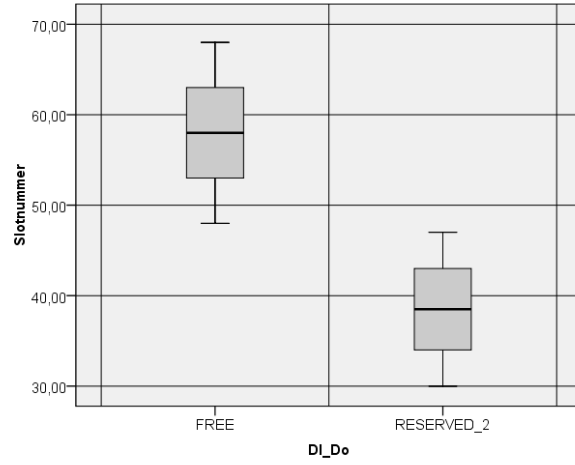
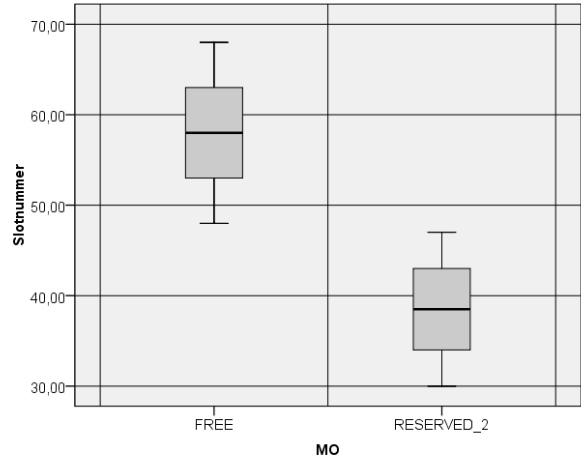
HKL1



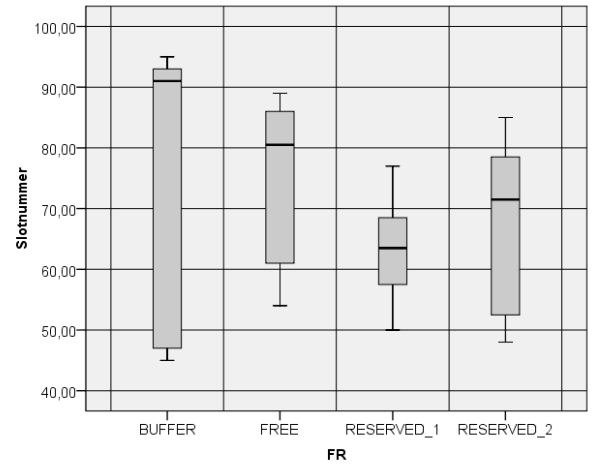
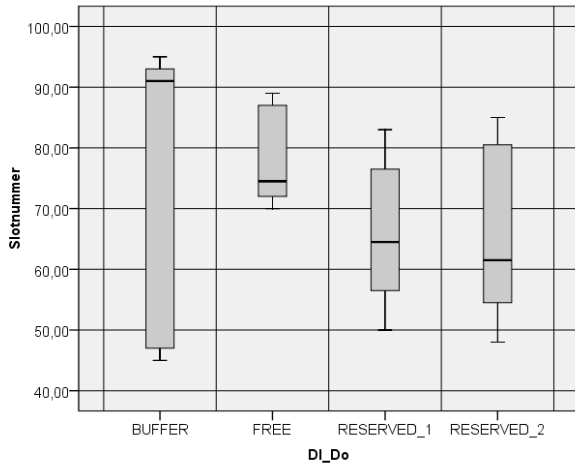
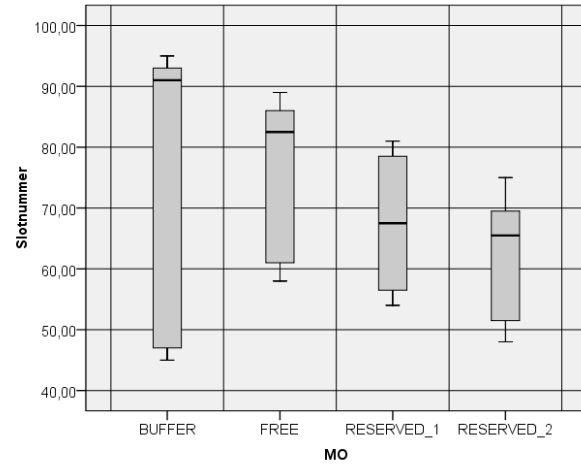
HKL2



HKL3



EKG



A89. Umsetzungsmöglichkeit der Terminplanung im SAP IS-H*med, bezogen auf Terminreservierungen, Planwerte und Puffer

Voraussetzung ist der Einsatz eines SAP IS-H*med. Es wird empfohlen, Neuanlagen und Konfigurationen in einem Testsystem zu tätigen und diese erst nach ausreichenden Tests in das Produktivsystem zu überführen (transportieren). Die jeweiligen SAP-Transaktionscodes sind im Weiteren in Klammern angeführt.

(a) Anlegen der Organisationseinheiten

Im ersten Schritt sind die Organisationseinheiten mit der Transaktion (NB20) anzulegen. Laut Definition sind Organisationseinheiten:

„... funktionale Einheiten des Unternehmens. Je nachdem, wie die Aufgabenverteilung in einem Unternehmen organisiert ist, können dies z.B. Abteilungen, Gruppen oder Projektteams sein.“ [SAP AG 2013]

Im vorliegenden Fall betrifft eine Organisationseinheit jeden terminlich zu planenden (Funktions-/OP-)Bereich, hier z.B. die Echokardiografie oder die Elektrokardiografie.

(b) Anlegen von Räumen und Zuordnen zu einer Organisationseinheit

Mit der Transaktion (NB30) werden im nächsten Schritt Räume angelegt. Diese bezeichnen bauliche Einheiten, welche im Weiteren mit der Transaktion (NB35) einer Organisationseinheit zugeordnet werden.

(c) Anlegen von Planobjekten

In diesem Schritt wird mittels der Transaktion (NR21) jede eigenständig zu beplanende Ressource, z.B. ein HKL-Platz oder ein ECHO-Gerät, als Planobjekt mit dem Bezug Raum und Organisationseinheit angelegt sowie aktiviert (siehe Abb. 208).

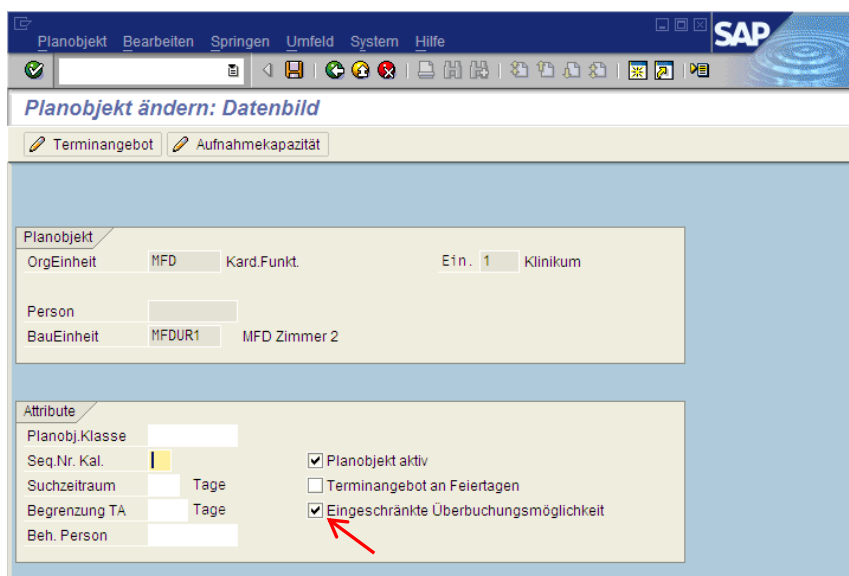


Abb. 208: Anlegen der Planobjekte

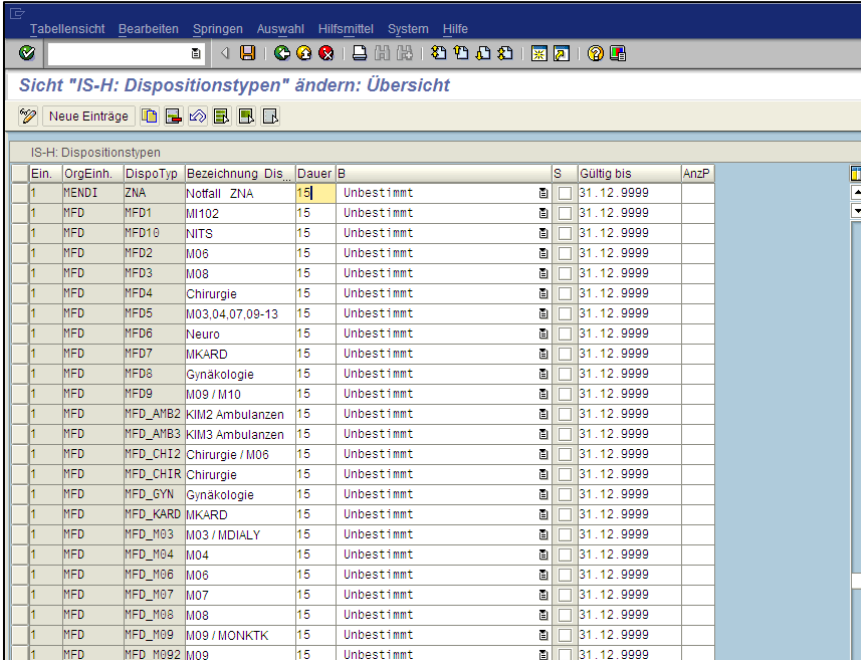
Anhang

Hiermit werden die aufbauorganisatorischen Gegebenheiten als Objekt mit Planungsbezug (Planobjekt) dem SAP-System mittels einer eindeutigen Kennzeichnung bekannt gemacht. Jedem Planobjekt kann im Späteren ein Terminkalender in Form der Plantafel mit Öffnungszeiten, Pausenzeiten und Berechtigungen (Autoritäten) hinterlegt werden.

MFD bezeichnet in Abb. 208 die Organisationseinheit der Echokardiografie. Es wird darauf hingewiesen, dass für eine verlässliche Planung der Haken bei „eingeschränkte Überbuchbarkeit“ gesetzt werden muss (siehe Abb. 208 Pfeil). Nur so ist gewährleistet, dass der verfügbare Terminbestand im Späteren korrekt begrenzt ist.

(d) Dispositionstypen für Besuchstermine anlegen

Damit Besuchstermine in Art, zeitlichem Umfang und Gültigkeitsbereich definiert sind, werden nun im SAP-System mit der Transaktion (ONDT) Dispositionstypen (kurz Dispotypen) angelegt und mit einem eindeutigen Bezeichner versehen. In Einrichtung 3 werden die Dispotypen mit Bezug zu den Organisationseinheiten angelegt (siehe Abb. 209). Hiermit bleibt offen, wann exakt welche Leistung durchgeführt werden soll. Es wird geregelt, welche Organisationseinheit welche Dispotypen in welchem zeitlichen Umfang nutzen kann. Eine weitere Eingrenzung oder gar zeitliche Positionierung der einzelnen Maßnahmen erscheint grundsätzlich auch nicht sinnvoll. Bezüglich der einzustellenden Reservierungen und Puffer ist dies hingegen nicht so. Hier bedarf es einer konkreten zeitlichen Positionierung.



Ein.	OrgEinh.	DispoTyp	Bezeichnung Dis.	Dauer	B	S	Gültig bis	AnzP
1	MENDI	ZNA	Noffall ZNA	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD1	M102	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD10	NITS	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD2	M06	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD3	M08	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD4	Chirurgie	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD5	M03,04,07,09-13	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD6	Neuro	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD7	MKARD	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD8	Gynäkologie	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD9	M09 / M10	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_AMB2	KIM2 Ambulanzen	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_AMB3	KIM3 Ambulanzen	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_CHI2	Chirurgie / M06	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_CHIR	Chirurgie	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_GYN	Gynäkologie	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_KARD	MKARD	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M03	M03 / MDIALY	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M04	M04	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M06	M06	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M07	M07	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M08	M08	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M09	M09 / MONKTK	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	
1	MFD	MFD_M092	M09	15	Unbestimmt	<input type="checkbox"/>	31.12.9999	

Abb. 209: Dispotypen Übersicht im SAP-System

Im vorliegenden Ansatz werden als neue Dispotypen die verschiedenen planungsseitig zu berücksichtigenden Reservierungstypen angelegt und im Zuge dessen einer Organisationseinheit zugeordnet (siehe Tab. 134). Die jeweilige Benennung kann hierbei frei gewählt und den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

OrgEinheit	Dispotyp	Bezeichnung	Dauer
MFD	MFD_AMB_1	Reservierung kurz kard. Ambulanz	15 Minuten
MFD	MFD_AMB_2	Reservierung lang kard. Ambulanz	30 Minuten
MFD	MFD_KST_1	Reservierung kurz kard. Station	15 Minuten
MFD	MFD_KST_2	Reservierung lang kard. Station	30 Minuten

Tab. 134: Beispiele für Dispotypen gemäß Planungskonzept für die Echokardiografie

Im Beispiel für die Organisationseinheit Echokardiografie (MFD) werden in Tab. 134 vier Dispotypen aufgeführt. „MFD_KST_1“ bezieht sich hierbei auf Reservierungen für normales Echo (TTE) für elektive Patienten von den kard. Stationen resp. „MFD_AMB_1“ von kard. Ambulanz. „MFD_KST_2“ bezieht sich auf den zweiten Reservierungstyp im ECHO hinsichtlich einem Schluckecho (TEE) für elektive Patienten von den kard. Stationen resp. „MFD_AMB_2“ von kard. Ambulanz. Die jeweilige zu hinterlegende Dauer entspricht den bei der Optimierung verwendeten Planwerten aus dem Reservierungskonzept (siehe Tab. 67 in Unterabschnitt 11.1.2 (b)). MFD_KST_1 sowie MFD_AMB_1 sind bezogen auf die Echoressource 1. MFD_KST_2 sowie MFD_AMB_2 sind mit Bezug auf die Echoressource 2. Der jeweilige Ressourcenbezug und die berechtigten Bereiche, welche die Reservierungen belegen können, werden im nächsten Schritt festgelegt.

(e) Anlegen der Tages-/Wochen-/Jahresplanung und Einstellen von Puffern

In Bezug auf die Terminreservierungen sind vom Optimierer genaue zeitliche und mengenmäßige Vorgaben gemacht worden. Diese gilt es nun umzusetzen. Über die Transaktion (NR20) zur Änderung der Planobjekte kann ein Tages-/Wochen-/Jahresplan (Terminangebot) für die einzelnen Planobjekte hinterlegt werden. Hierbei werden Planungsvorgaben eingestellt, z.B. wann welche Dispotypen im Terminkalender vorgehalten resp. wann keine Termine eingestellt werden können, z.B. zu den Pausenzeiten.

Die Aufgabe bezogen auf die zu implementierende Planung besteht zunächst darin, ein Tagesprogramm je Wochentag anzulegen. Das Tagesprogramm bezieht sich auf je ein Planungsobjekt (z.B. Echogerät 1). Beim Anlegen des Tagesprogramms sind die jeweiligen Öffnungszeiten anzugeben (siehe Abb. 210 - Umrandung im oberen Bereich gekennzeichnet). Dies grenzt den Zeitraum ein, welcher für Termine zur Verfügung

Anhang

steht. Anschließend wird der verfügbare zeitliche Umfang in Termineinheiten strukturiert. Dazu werden fortlaufend die Beginn- und Endzeiten einer jeden Termineinheit hinterlegt, z.B. von 08:00 – 08:15 Uhr für eine Termineinheit mit 15 Minuten Länge (siehe Abb. 210 – mit Umrandung im unteren Bereich gekennzeichnet).

TBeginn	TEnde	DispoTyp	Dauer	P	Fachl.OE	Beh. OE	Beh. Pers.	FaRI	AnzT	ÜbB	Ein
08:00:00	08:15:00		15	1		MFD			1		1
08:30:00	09:00:00		15	1		MFD			2		1
09:15:00	09:45:00		15	1		MFD			2		1
09:45:00	10:00:00		15	1		MFD			1		1
10:00:00	10:30:00		15	1		MFD			2		1
10:30:00	10:45:00		15	1		MFD			1		1
10:45:00	11:15:00		15	1		MFD			2		1
11:30:00	12:00:00		15	1		MFD			2		1
13:15:00	13:45:00		15	2		MFD			2		1

Abb. 210: Planungsmaske zum Anlegen/Pflegen des Tagesprogramms

Gemäß dem Planungskonzept ist der zeitliche Umfang einer Termineinheit der kleinste gemeinsame Teiler der in dem Planobjekt durchzuführenden Maßnahmen. Entsprechend des Planungskonzeptes werden die Termineinheiten in der jeweiligen Länge je Planobjekt angelegt. Im Ergebnis steht ein Terminkalender in der SAP-Plantafel bereit, welcher mit Beginn und Ende begrenzt und in einzelne Termineinheiten unterteilt ist. Im nächsten Schritt werden im Tagesprogramm in der Spalte „DispoTyp“ einzelne Dispotypen, im Speziellen die Reservierungen in der Terminplanung, zeitlich und mengenmäßig so positioniert, wie diese vom Optimierungsalgorithmus geplant wurden (siehe Abb. 211 durch Kreise gekennzeichnet). Durch die Zuordnung von Dispotypen (mit der hinterlegten Dauer) zu den angelegten Termineinheiten wird definiert, welche Maßnahmen (entsprechend der zeitlichen Länge des Dispotyps) bei der Terminvergabe dem Termin zugeordnet werden können. Auf diesem Wege werden die im Planungskonzept definierten Reservierungen im Tagesprogramm fest als Vorgabewerte eingestellt. Zeiten, die in Abb. 211 durch den Dispotyp „MFD_KARD“ belegt sind, stehen für eine allgemeine

Terminvergabemöglichkeit durch den Funktionsbereich Echokardiografie (im Planungskonzept „FREE“).

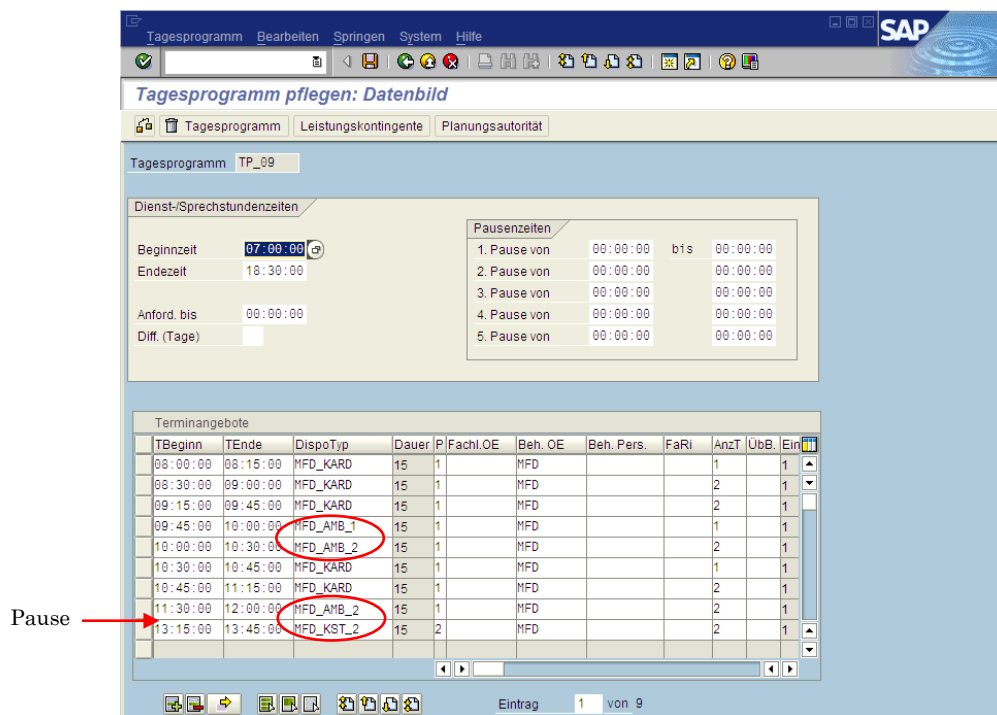


Abb. 211: Planungsmaske zum Anlegen/Pflegen des Tagesprogramms mit hinterlegten Reservierungen

Pausenzeiten werden der Art berücksichtigt, dass in der Aufstellung des Tagesprogramms zu diesen Zeiten keine Dispotypen zugeordnet werden (siehe Abb. 211 in der Zeit von 12:00 – 13:15 Uhr). Entsprechend bilden sich, wie in Abb. 153 dargestellt, helle Bereiche in der Plantafel, welche später nicht durch einen Termin belegt werden können. Ähnlich wie Pausenzeiten sind Puffer als Zeiten zu sehen, zu denen keine Termine eingestellt werden sollen. Entsprechend können Puffer, dem Umfang und der zeitlichen Lage gemäß den planerischen Vorgaben des Optimierungslaufes, in gleicher Weise wie Pausenzeiten eingestellt werden. Alternativ bietet das SAP-System die Möglichkeit, die Pausenzeitenvorgaben, wie in Abb. 211 im oberen Bereich ersichtlich, abzubilden (max. 5 Pausen). Dies wird aber dem möglichen Umfang an Pausen und Puffern nicht gerecht und wird auch im Realsystem von der Referenzeinrichtung nicht zur Abbildung von Pausenzeiten genutzt. Im Ergebnis dieses Schrittes steht ein Terminkalender in der SAP-Plantafel bereit, welcher mit Beginn und Ende begrenzt, in einzelne Termineinheiten strukturiert sowie durch die Vorgabe von Reservierungen, Puffern und Pausenzeiten angereichert ist.

Abschließend können die angelegten Wochentage noch zu Wochen und die Wochen zu Jahresplanungen vervollständigt werden. Es können durch individuelle Tages-

Anhang

/Wochenpläne auch Abweichungen, z.B. zu Ostern oder zwischen den Jahren, abgebildet werden (siehe Abb. 212).

Monat	KW	WProgr.	Monat	KW	WProgr.	Monat	KW	WProgr.	TPProgr.
Januar	01	WP_MFD09	Januar	02	WP_MFD09	Januar	03	WP_MFD09	TPMFDNEU
	04	WP_MFD09	Januar	05	WP_MFD09	Januar	06	WP_MFD09	TPMFDZDI
	07	WP_MFD09	Januar	08	WP_MFD09	Januar	09	WP_MFD09	TPMFDZDO
	10	WP_MFD09	Januar	11	WP_MFD09	Januar	12	WP_MFD09	TPMFDZFR
	13	WP_MFD09	Januar	14	WP_MFD09	Januar	15	WP_MFD09	TPMFDZMI
	16	WP_MFD09	Januar	17	WP_MFD09	Januar	18	WP_MFD09	TPMFDZMO
	19	WP_MFD09	Januar	20	WP_MFD09	Januar	21	WP_MFD09	TP_09
	22	WP_MFD09	Januar	23	WP_MFD09	Januar	24	WP_MFD09	
	25	WP_MFD09	Januar	26	WP_MFD09	Januar	27	WP_MFD09	
	28	WP_MFD09	Januar	29	WP_MFD09	Januar	30	WP_MFD09	
	31	WP_MFD09	Januar	32	WP_MFD09	Januar	33	WP_MFD09	
	34	WP_MFD09	Januar	35	WP_MFD09	Januar	36	WP_MFD09	
	35	WP_MFD09	Januar	36	WP_MFD09	Januar	37	WP_MFD09	
	37	WP_MFD09	Januar	38	WP_MFD09	Januar	39	WP_MFD09	
	39	WP_MFD09	Januar	40	WP_MFD09	Januar	41	WP_MFD09	
	41	WP_MFD09	Januar	42	WP_MFD09	Januar	43	WP_MFD09	
	43	WP_MFD09	Januar	44	WP_MFD09	Januar	45	WP_MFD09	
	45	WP_MFD09	Januar	46	WP_MFD09	Januar	47	WP_MFD09	
	47	WP_MFD09	Januar	48	WP_MFD09	Januar	49	WP_MFD09	
	49	WP_MFD09	Januar	50	WP_MFD09	Januar	51	WP_MFD09	
	51	WP_MFD09	Januar	52	WP_MFD09	Januar	53	WP_MFD09	

Abb. 212: Übersicht Jahresplanung

(f) Festlegung der Berechtigungen

Über den Button „Planungsautorität“ in der Transaktion zur Pflege des Tagesprogramms kann nun definiert werden, welche Organisationseinheiten die im Tagesprogramm hinterlegten Reservierungen resp. Dispotypen verwenden und somit über die Plantafel mit Terminen belegen dürfen. Hierzu wird mittels Angabe der betreffenden Zeit (Beginn/Ende) definiert, welche Organisationseinheit eine Belegung vornehmen darf (siehe Abb. 213). Damit die Berechtigung einer Organisationseinheit, z.B. kard. Stationen oder kard. Ambulanz, mit einer voreingestellten Reservierung korreliert, müssen die jeweiligen Zeiten deckungsgleich sein. Das heißt, wird eine Reservierung für elektive Patienten der kard. Stationen im Funktionsbereich ECHO für die Zeit von 9:00 – 9:15 Uhr eingestellt, muss die Planungsautorität ebenfalls von 9:00 – 9:15 Uhr für die Organisationseinheit der kard. Stationen eingestellt sein (siehe Abb. 213 umrandete Felder).

Es wird empfohlen, dass die Terminvergabebehoheit bei dem jeweiligen betreffenden (Funktions-/OP-)Bereich verbleibt, so dass dieser ggf. noch Änderungen oder Korrekturen an der Planung vornehmen kann. Dies erfolgt im Beispiel der Abb. 213,

indem die Organisationseinheit MFD Planungsautorität von 7:00 – 18:30 Uhr erhält. Natürlich kann dies bei Bedarf auch restriktiver gehandhabt werden.

Planend..	Bezeichnung	Begi..	Ende..	E..
MANGIO	Sprechstd.Angiologie	08:00	08:15	<input type="checkbox"/>
MANGIO	Sprechstd.Angiologie	08:30	09:00	<input type="checkbox"/>
MANGIO	Sprechstd.Angiologie	09:15	09:45	<input type="checkbox"/>
KAMB	Kard.Ambulanz	09:45	10:00	<input type="checkbox"/>
KAMB	Kard.Ambulanz	10:00	10:30	<input type="checkbox"/>
MANGIO	Sprechstd.Angiologie	10:45	11:15	<input type="checkbox"/>
KAMB	Kard.Ambulanz	11:30	12:00	<input type="checkbox"/>
KST1	Kard.Station1	13:15	13:45	<input type="checkbox"/>
KST2	Kard.Station2	13:15	13:45	<input type="checkbox"/>
MENDO	Inn.Medizin IIIEndokrinol.Spr.	13:45	14:00	<input type="checkbox"/>
MFD	Kard.Funkt.diagn.Echokard.	07:00	18:30	<input type="checkbox"/>
KAMB	Ambulanz Immunologie	08:00	08:15	<input type="checkbox"/>
MI2PMCAR	Ambulanz Immunologie	09:15	09:45	<input type="checkbox"/>

Abb. 213: Festlegung der Berechtigungen zur Terminbelegung

Hinsichtlich welcher Maßnahme nun welcher Reservierung zugeordnet werden darf, wurde bereits ausgeführt, dass sich dieses durch die zeitliche Länge der jeweiligen Reservierung determiniert. Grundsätzlich ist es zulässig auch verschiedene Maßnahmen einem Reservierungstyp in der Belegung zuzuordnen, speziell im HKL, wo es eine Vielzahl verschiedenster Maßnahmen gibt. Wichtig ist nur, dass die jeweiligen Planwerte zur Länge der eingestellten Reservierung passen. Dies ist ein Sachverhalt, welcher von den planenden Stellen berücksichtigt und eingehalten werden muss. Weiterhin ist im Umsetzungskonzept keine Handhabe vorgehalten, welche das Patientengut und damit die definierte Art der Patienten betrifft, die die einzelnen Reservierungen beanspruchen dürfen. Die Festlegung im Planungskonzept zielt auf elektive Patienten der kard. Stationen und der kard. Ambulanz ab im zeitlichen Rahmen der Abklärung. Auch dieser Sachverhalt muss von den planenden Stellen auf den kard. Stationen resp. der kard. Ambulanz berücksichtigt und verbindlich eingehalten werden, um die im Simulationsmodell ermittelten Planungsergebnisse auch im Realsystem zu erreichen.