

Gestaltung von Logistiksystemen in der Fertigungsindustrie

Ein typologisch orientierter Ansatz

- Dissertation -

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum politicarum (Dr. rer. pol.)

vorgelegt an der

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

der

Technischen Universität Ilmenau

von

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Steffen Schulz

Erstgutachter Univ.-Prof. Dr. rer. oec. habil. em. Herfried M. Schneider
Zweitgutachter Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Rainer Souren

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Dezember 2011

urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012000357

Danksagung

Ich möchte mich an diesen Stellen bei allen bedanken, die auf verschiedenste Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere bei:

- Herrn Univ.-Prof. Dr. oec. habil. em. Herfried M. Schneider für die fachliche Anleitung und die engagierten Diskussionen, die mir immer wieder den Blick für wesentliche Sachverhalte geöffnet haben,
- Herrn Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Rainer Souren für die Übernahme des Koreferates, seine Hinweise und Ratschläge,
- Herrn Dr. rer. pol. Thomas Rücker und Herrn Dr. rer. pol. Holm Fischäder für den offenen Gedankenaustausch und die Impulse die sie mir für diese Arbeit gegeben haben,
- Herrn Dipl.-Kfm. Jürgen Wels, Herrn Dipl.-Ing. Karsten Seidl und Herrn Dipl.-Ing. (BA) Kai Maring für die zuteil gewordene Unterstützung, die kritischen Diskussionen und die gewährten Freiheiten während meiner Tätigkeit bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG,
- Herrn Dipl.-Ing. (FH) Volker Guckenhan für seinen Zuspruch und für die Ermutigung dieses Projekt zu beginnen und
- meiner Familie für den Rückhalt und die Unterstützung.

Steffen Schulz

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	8
Verzeichnis der im Text verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen.....	11
1. Einführung.....	15
1.1 Logistik in der Fertigungsindustrie	15
1.2 Problemfelder bei der Gestaltung von Logistiksystemen und daraus resultierende Forschungsfragen	18
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	19
1.4 Aufbau der Arbeit.....	20
2. Eigenschaften von Logistiksystemen	22
2.1 Logistiksysteme in der Fertigungsindustrie	22
2.1.1 Abgrenzung der Logistiksysteme von den Produktionssystemen.....	22
2.1.2 Beschreibende Größen eines Logistiksystems	23
2.2 Anforderungen an Logistiksysteme in modernen Unternehmen.....	25
2.2.1 Marktbedingungen der Fertigungsindustrie und ihre Implikation in die Anforderungen an die Logistik	25
2.2.2 Beschreibung der Anforderungen	30
2.3 Operationalisierung der Anforderungen.....	35
2.3.1 Ableitung von Kennzahlen mittels DLZ-Relationen	35
2.3.2 Visualisierung der Maßzahlen.....	43
2.3.3 Berücksichtigung von Kostenaspekten	45
2.4 Kennlinienverläufe der Kennzahlen.....	46
2.4.1 Schlankheit.....	46
2.4.2 Robustheit	54
2.4.3 Flexibilität	61
3. Entwicklung einer Typologie für Logistiksysteme.....	71
3.1 Bildung von Typologien.....	71
3.1.1 Typenbildung in der Soziologie	71
3.1.2 Typologien in den Ingenieur- und den Wirtschaftswissenschaften	77
3.1.3 Methodik zur Bildung von Typologien.....	83
3.1.4 Typologien mit Bezug zur Logistik	85
3.2 Entwicklung einer Typologie von Logistiksystemen.....	95
3.2.1 Zielstellung der Typenbildung	95
3.2.2 Auswahl der Merkmale zur Beschreibung der Logistiksysteme.....	97
3.2.3 Bildung der kompensativen Verbundmerkmale	132
3.2.4 Ableitung von Logistiksystemtypen	139

4. Anwendung der durchlaufzeitbasierten Kennzahlen in Logistiksystemen ...	144
4.1 Einfluss der Merkmale der Logistiksystemtypen auf den Wertebereich der Kennzahlen.....	144
4.2 Gestaltung realer Logistiksysteme	149
4.3 Anwendung des Vorgehensmodells in Beispielfällen.....	153
4.3.1 Beispiel einer Greenfield-Planung	153
4.3.2 Beispiel einer Brownfield-Planung	166
4.3.3 Schlussfolgerungen zur Anwendung der Typologie	172
4.4 Bildung des Zielsystems realer Logistiksysteme	173
5. Resümee und Ausblick.....	179
5.1 Möglichkeiten und Nutzen logistikgerechter Fabrikgestaltung	179
5.2 Potenziale bei der Auslegung von Logistiksystemen.....	182
Anhang	183
A) Dokumentation der Logistiksystemtypen.....	183
B) Maschinenbelegung Pow-R-Arm	200
Literaturverzeichnis.....	203

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Fertigungstiefe in der Automobilindustrie	16
Abbildung 2:	Institutionelle Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	20
Abbildung 3:	Aufbau der Arbeit	21
Abbildung 4:	Subsysteme des Systems Fabrik	22
Abbildung 5:	Entwicklung des Produktprogramms von Audi	26
Abbildung 6:	Die Megatrends und die Implikationen auf die Marktbedingungen	27
Abbildung 7:	Spannungsfeld der Logistikanforderungen	29
Abbildung 8:	Schlankheit	37
Abbildung 9:	Robustheit	39
Abbildung 10:	Szenarien der Änderung der Umweltbedingungen	40
Abbildung 11:	Flexibilität	42
Abbildung 12:	Vergleichende Darstellung der Performance mehrerer Subsysteme	44
Abbildung 13:	Vergleichende Darstellung der Performance im Zeitverlauf	44
Abbildung 14:	Ideale Leistungskennlinie in Abhängigkeit vom <i>WIP</i>	47
Abbildung 15:	Verlauf der idealen Kennlinien	47
Abbildung 16:	C-Norm-Funktion für verschiedene Werte von <i>C</i>	49
Abbildung 17:	Verlauf der realen (normierten) Leistungskennlinie	49
Abbildung 18:	Transformationsschritte der Durchlaufzeitkennlinie	51
Abbildung 19:	Verlauf der realen Kennlinien	53
Abbildung 20:	Verlauf der idealen und der realen Kennlinie der Schlankheit	54
Abbildung 22:	Koordinatensystem für die Bestimmung von <i>R</i> bei gegebenem α	56
Abbildung 23:	Grafische Darstellung des Verlaufs von $\Phi(x)$ und $\phi(x)$	57
Abbildung 24:	Veranschaulichung der Eintrittswahrscheinlichkeit als Fläche unter der Dichtefunktion für zwei Fälle	58
Abbildung 25:	Grafische Darstellung des Verlaufs von $\alpha(x)$ und $\alpha'(x)$	58
Abbildung 26:	Ableitung des Anstiegs vom Niveau des Servicegrades	59
Abbildung 27:	Bestimmung der notwendigen Prozessstabilität	60
Abbildung 28:	Wirkung sich ändernder Umweltbedingungen auf die Bestand-Robustheit-Relation	63
Abbildung 29:	Auswirkungen von Δu auf <i>B</i> und σ_{DLZ}	65
Abbildung 30:	Mögliche Wirkungen einer Umweltveränderung auf die Leistungskennlinien	66

Abbildung 31: Wirkung Veränderung von DLZ_{Opt}	67
Abbildung 32: Wirkung der Veränderung des Anstiegs der DLZ	69
Abbildung 33: Verlauf der realen und idealen Kennlinien der Leistung, der Durchlaufzeit und der Schlankheit.....	70
Abbildung 34: Zusammenhang Veränderung L , DLZ und WIP	70
Abbildung 35: Prinzipieller Aufbau einer Mehrfeldertafel mit 2 Dimensionen	74
Abbildung 36: Stufenmodell empirisch begründeter Typenbildung.....	77
Abbildung 37: Grundstruktur des betriebstypologischen Modells nach Schomburg....	81
Abbildung 38: Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Bestimmungsgrößen und den Merkmalen	82
Abbildung 39: Darstellung eines Typs in einem morphologischen Kasten (links) und als Stack (rechts).....	85
Abbildung 40: Fabriktypengliederung nach Betrachtungsebenen	90
Abbildung 41: Unterschiedliche Perspektiven hinsichtlich einer Fabrik.....	91
Abbildung 42: Positionierung eines Fabrikkonzepts	91
Abbildung 43: Sieben eine Fabrik charakterisierende Merkmale	92
Abbildung 44: Merkmalsausprägungen verschiedener Fabriken.....	93
Abbildung 45: Typologie von Hochleistungsfabriken	94
Abbildung 46: Abgrenzung der einzelnen Handlingsstufen	99
Abbildung 47: Erforderliche Handlingsaufwendungen für verschiedene Versorgungskonzepte	100
Abbildung 48: Darstellungsformen von Materialflusststrukturen.....	102
Abbildung 49: Strukturgrundtypen	105
Abbildung 50: Verschiedene Zustände der Desintegration/Vernetzung.....	107
Abbildung 51: Bestimmung der Materialflusskomplexität anhand eines Beispiels....	107
Abbildung 52: Vergleich der Längen der Lebenszyklen von verschiedenen Fabrikobjekten	112
Abbildung 53: Evolution der Montage-Logistikflächenstruktur.....	113
Abbildung 54: Archetypen von Layoutanordnungen.....	114
Abbildung 55: BMW-Werk Leipzig	116
Abbildung 56: Aufbauprinzip verschiedener Fertigungsorganisationsformen	118
Abbildung 57: Kontinuum der Merkmalsausprägung und Abstufung.....	122
Abbildung 58: Abgrenzung der Ausprägungen der Fertigungsstruktur.....	123
Abbildung 59: Produktstruktur.....	125

Abbildung 60: Beschaffungsart.....	126
Abbildung 61: Zusammenhang zwischen der Fertigungs- und der Produktstruktur...	127
Abbildung 62: Zusammenhang zwischen der Fertigungs- und der Produktstruktur sowie der Beschaffungsmenge	128
Abbildung 63: Minimaler Stichprobenumfang in Abhängigkeit von der Grundgesamtheit G bei $\alpha = 0,05$	139
Abbildung 64: Verlauf und Ergebnis der logischen Herleitung der Typen von Logistiksystemen	141
Abbildung 65: Exemplarische Ableitung von LS 1, 2, 3 und 4	141
Abbildung 66: Phasen der Planung und Realisierung von Logistiksystemen.....	151
Abbildung 67: Technisches Prinzip des Pow-R-Arm	154
Abbildung 68: Der Pow-R-Arm No. 301 und eine Schnittdarstellung	154
Abbildung 69: Zusammenbau-Graph.....	157
Abbildung 70: Materialflussschema der Pow-R-Arm-Fabrik.....	161
Abbildung 71: Funktionsschema der untersuchten Fabrik.....	167
Abbildung 72: Zielsystem der Logistik.....	174
Abbildung 73: Veränderung des Schwerpunkts des Zielsystems der Logistik.....	175
Abbildung 74: Gewichtung der Ziele in Abhängigkeit von dem Entkopplungspunkt	176
Abbildung 75: Verschiedene Formen der Visualisierung	178
Abbildung 76: Beispiele für den Systemtypen LS14 und LS16	192

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Szenarien Flexibilität	40
Tabelle 2: Einige charakteristische Werte für $\alpha(x)$	59
Tabelle 3: Vergleichende Gegenüberstellung des Vorgehens von Kluge und Große-Oetringhaus	84
Tabelle 4: Betriebstypologie als morphologischer Kasten.....	87
Tabelle 5: Produktionstypologie und beispielhafte Ausprägung nach Schulte, Koch, Baumeister.....	88
Tabelle 6: Übersicht zur Produktionstypologie.....	89
Tabelle 7: Ausprägungen für das Merkmal Handlingsstufen.....	99
Tabelle 8: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Steuerungssicht	108
Tabelle 9: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungssicht für <i>Fertigungssegmente</i>	109
Tabelle 10: Ausprägungen für das Merkmal Materialflusskomplexität	110
Tabelle 11: Ausprägungen für das Merkmal Lagerorganisation.....	112
Tabelle 12: Ausprägungen für das Merkmal Layout	115
Tabelle 13: Ausprägungen für das Merkmal Bestandsreichweite.....	117
Tabelle 14: Ausprägungen für das Merkmal Fertigungsorganisation.....	118
Tabelle 15: Wirkung von Organisationsformen auf die Logistik	119
Tabelle 16: Ausprägungen für das Merkmal Prozesswiederholung	121
Tabelle 17: Ausprägungen für das Merkmal Erzeugnisspektrum.....	122
Tabelle 18: Ausprägungen der Fertigungsstruktur nach Schomburg (1980, S. 85) und Büdenbender (1991, S. 50)	124
Tabelle 19: Ausprägungen der Fertigungsstruktur.....	128
Tabelle 20: Ausprägungen für das Merkmal Bedarfsauslöser	129
Tabelle 21: Ausprägungen für das Produktionsprogramm	129
Tabelle 22: Ausprägungen für den vorherrschenden Einsatzfaktor.....	130
Tabelle 23: Zusammenfassung der Merkmale	131
Tabelle 24: Korrelations- und Intensitätsmatrix	132
Tabelle 25: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_2	133
Tabelle 26: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_5	133
Tabelle 27: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_9	134

Tabelle 28: Kompulsive Verbundmerkmale C ₂ /C ₉	134
Tabelle 29: Kompulsive Verbundmerkmale C ₆ /C ₇	135
Tabelle 30: Kompulsive Verbundmerkmale C ₆₇ /C ₈	135
Tabelle 31: Kompulsive Verbundmerkmale C ₂ /C ₆	136
Tabelle 32: Kompulsive Verbundmerkmale C ₃ /C ₄	136
Tabelle 33: Kompulsive Verbundmerkmale C ₈ /C ₁₀	137
Tabelle 34: Kompulsive Verbundmerkmale C ₈ /C ₁₁	137
Tabelle 35: Kompulsive Verbundmerkmale C ₇ /C ₁₀	137
Tabelle 36: Kompulsive Verbundmerkmale C ₆ /C ₁₀	138
Tabelle 37: Kompulsive Verbundmerkmale C ₆ /C ₁₁	138
Tabelle 38: Dokumentation des Logistiksystemtyps 1 (LS 1) im typologischen Grundmuster.....	142
Tabelle 39: Zusammenfassung der Ausprägungen der Logistiksystemtypen.....	143
Tabelle 40: Einfluss der Merkmale auf die Kennzahlen.....	145
Tabelle 41: Einfluss der Merkmalsausprägungen auf die Logistiksystemkennzahl.....	148
Tabelle 42: Zeitlicher Horizont der Veränderbarkeit der Merkmalsausprägungen.....	149
Tabelle 43: Stückliste des Pow-R-Arm.....	156
Tabelle 44: Bearbeitungsformen je Bauteil.....	159
Tabelle 45: Morphologisches Schema der Pow-R-Arm Vorstudie.....	160
Tabelle 46: Ergebnis der Maschinenbedarfsplanung.....	163
Tabelle 47: Beschreibung des Logistiksystems der Fabrik zur Herstellung des Pow-R-Arm.....	165
Tabelle 48: Ist- und Ziel-Ausprägung der Merkmale des Logistiksystems für die Vorfertigung.....	169
Tabelle 49: Logistikkonzept der Vorfertigung.....	172
Tabelle 50: Dokumentation des Logistiksystemtyps 2 (LS 2) im typologischen Grundmuster.....	183
Tabelle 51: Dokumentation des Logistiksystemtyps 3 (LS 3) im typologischen Grundmuster.....	184
Tabelle 52: Dokumentation des Logistiksystemtyps 4 (LS 4) im typologischen Grundmuster.....	185
Tabelle 53: Dokumentation des Logistiksystemtyps 5 (LS 5) im typologischen Grundmuster.....	186
Tabelle 54: Dokumentation des Logistiksystemtyps 6 (LS 6) im typologischen Grundmuster.....	187

Tabelle 55: Dokumentation des Logistiksystemtyps 7 (LS 7) im typologischen Grundmuster.....	188
Tabelle 56: Dokumentation des Logistiksystemtyps 8 (LS 8) im typologischen Grundmuster.....	189
Tabelle 57: Dokumentation des Logistiksystemtyps 9 (LS 9) im typologischen Grundmuster.....	190
Tabelle 58: Dokumentation des Logistiksystemtyps 10 (LS 10) im typologischen Grundmuster.....	191
Tabelle 59: Dokumentation des Logistiksystemtyps 11 (LS 11) im typologischen Grundmuster.....	193
Tabelle 60: Dokumentation des Logistiksystemtyps 12 (LS 12) im typologischen Grundmuster.....	194
Tabelle 61: Dokumentation des Logistiksystemtyps 13 (LS 13) im typologischen Grundmuster.....	195
Tabelle 62: Dokumentation des Logistiksystemtyps 14 (LS 14) im typologischen Grundmuster.....	196
Tabelle 63: Dokumentation des Logistiksystemtyps 15 (LS 15) im typologischen Grundmuster.....	197
Tabelle 64: Dokumentation des Logistiksystemtyps 16 (LS 16) im typologischen Grundmuster.....	198
Tabelle 65: Dokumentation des Logistiksystemtyps 17 (LS 17) im typologischen Grundmuster.....	199
Tabelle 66: Berechnung der benötigten Anzahl Fertigungsanlagen – Teil I	201
Tabelle 67: Berechnung der benötigten Anzahl Fertigungsanlagen – Teil II	202

Verzeichnis der im Text verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen

Abkürzungen

AtO	Assembly to Order
BMW	Bayerische Motorenwerke Aktiengesellschaft
CA	Kalifornien
CNC	Computerized Numerical Control
DLZ	Durchlaufzeit
EOP	End of Production
EtO	Engineer to Order
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
ifa	Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Leibniz Universität Hannover
IMVP	International Motor Vehicle Program
i.O.	in Ordnung
IT	Informationstechnik
IuK	Informations- und Kommunikationstechnik
JIT	Just in Time
JIS	Just in Sequenz
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LED	lichtemittierende Diode
LHM	Ladehilfsmittel
MA	Massachusetts
MEK	Materialeinzelkosten
MGK	Materialgemeinkosten
MI	Michigan
MK	Materialkosten
MTM	Method Time Measurement
MtO	Make to Order
MtS	Make to Stock
NC	Numerical Control
NH	New Hampshire
n.i.O.	nicht in Ordnung
NJ	New Jersey
NY	New York
OH	Ohio
PPS	Produktionsplanung und – steuerung
SCM	Supply Chain Management
SOP	Start of Production
TPS	Toyota-Produktionssystem
WA	Warenausgang
WE	Wareneingang

Lateinische Symbole

A_B	Anteil fremdbezogener Bedarfspositionen
A_T	Anzahl möglicher Kombinationen von Merkmalen
A_S	Anzahl sinnvoller Kombinationen von Merkmalen
B	Bestand (allgemein)
B_S	Sicherheitsbestand
B_V	Bestandsvorhalt
B_Z	Leerbestand
C_i	Merkmal i
c_j	Merkmalsausprägung j
DI	Desintegrationsgrad
DLZ	Durchlaufzeit
DS	Durchsatz
F	Flexibilität
G	Grundgesamtheit
i	Zählvariable
j	Zählvariable
K	Kosten (allgemein)
L	Schlankheit
m	Anstieg
MF_i	Materialflussknoten
n	Anzahl Merkmalsausprägungen
N	Anzahl Materialflussknoten
N_A	Losgröße p.a.
N_{In}	Menge des Input je Zeiteinheit
N_{MA}	Anzahl Fertigungsanlagen/Maschinen
N_{Out}	Menge des Outputs je Zeiteinheit
N_{Pos}	Anzahl Stücklistenpositionen
N_{ST}	Anzahl Stücklistenstufen
N_W	Anzahl Losauflagen p.a.
p	Wahrscheinlichkeit
p_F	Fehlerrate bzw. Fehlerwahrscheinlichkeit
P_{MA}	Ausbringung einer Fertigungsanlage/Maschine
q	Anzahl der Merkmale C
R	Robustheit
RK	Richtungskoeffizient
S	System

T	Zeitraum
T_B	Bearbeitungszeit
T_W	Wartezeit
t_x	Zeitpunkt x
T_x	Zeitraum x mit $T_x = T_{ij} = t_{x_j} - t_{x_i}$
U	Umweltbedingung
u_i	Rahmenbedingung i
v_{DLZ}	Variationskoeffizient der Durchlaufzeit mit $v_{DLZ} = \frac{\sigma_{DLZ}}{E(DLZ)}$
WIP	Work in Process
x_l	Mindestbestand

Griechische Symbole

v	Verfügbarkeit
$\varphi(X)$	Verteilungsfunktion von X
$\Phi(X)$	Dichtefunktion von X
$\sigma(X)$	Standardabweichung von X
σ_{DLZ}	Standardabweichung der Durchlaufzeit
μ_x	Mittelwert von x
α	Servicegrad
α_l	Streckfaktor der Leistungskennlinie
β	Streckfaktor der DLZ-Kennlinie
η	Auslastung
λ	Abarbeitungsrate
Ψ	Gesamtheit der Materialflussintensitäten
ψ_{ij}	Materialflussintensität zwischen MF_i und MF_j

Allgemeine Indizes und Symbole

X_{Ist}	Istwert von X
X_{Max}	Maximalwert von X
X_{Min}	Minimalwert von X
X_{Opt}	Optimalwert von X
X_Z	Zielwert von X
$D^2(X)$	Varianz von X
$E(X)$	Erwartungswert von X
ΔX	Differenz zweier Einzelwerte von X

Dimensionsangaben

%	Prozent
a	Jahr (annus)
d	Tag
Fzg	Fahrzeuge
h	Stunde
kg	Kilogramm
m ² , km ²	Quadratmeter / Quadratkilometer
MA	Mitarbeiter
s	Sekunde
Stck	Stück

Notationen

Hinweis: Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten mathematischen Notationen sind angelehnt an Bronstein et al. 2008.

(i,j)	offenes Intervall mit $(i,j) := \{x \in \mathbb{R} \mid i \leq x \leq j\}$
$[i,j]$	abgeschlossenes Intervall mit $[i,j] := \{x \in \mathbb{R} \mid i < x < j\}$

1. Einführung

Diese Arbeit stellt die Grundlagen, die Entwicklung und die Ergebnisse eines Forschungsprojekts dar, das sich der Gestaltung von Logistiksystemen in der Fertigungsindustrie unter solchen Aspekten widmet, die bisher noch nicht systematisch untersucht wurden. Ein Schwerpunkt der vorhandenen Literatur zur Gestaltung von Logistiksystemen liegt in der Diskussion von Problemstellungen im Rahmen einer Fabrikneuplanung. Dabei fehlen Methoden zur Klassifizierung von *bestehenden* Logistiksystemen und geeignete Maßzahlen zur Beschreibung des Anforderungsprofils.

In dieser Arbeit wird ein Kennzahlensystem eingeführt und ein Klassifizierungsansatz für Logistiksysteme vorgestellt. Auf deren Grundlage werden abschließend Gestaltungsempfehlungen für verschiedene Typen von Logistiksystemen abgeleitet.

1.1 Logistik in der Fertigungsindustrie

Die Fertigungsindustrie ist ein wichtiger Industriezweig und trägt einen bedeutenden Anteil zum Wachstum der weltweiten Produktion bei. Dieses Wachstum ist vor allem auch mit der Verfügbarkeit von Produkten (Halbzeuge, Komponenten, Endprodukte) verbunden. Auch die wirtschaftlichen Bedingungen für Unternehmungen haben sich in den letzten Jahren sehr verändert, wobei wesentliche Trends folgende Faktoren waren und sind (vgl. u. a. Arndt 2008, S. 8 ff.; Hofmann, Nothardt 2009, S. 1 f.):

- Globalisierung der Märkte
- Wertorientierung der Unternehmen¹, was zu Effizienzdruck und zu einer Konzentration auf Kernkompetenzen führt
- individualisierte Produkthanforderungen
- zunehmende Bedeutung der Zeit als Wettbewerbsfaktor im Kontext verkürzter Produktlebenszyklen
- Informations- und Kommunikationstechnologien.

Die Konzentration auf die Kernkompetenzen hat eine sinkende Fertigungstiefe der Unternehmen im Allgemeinen und der jeweiligen Unternehmensstandorte im Besonderen

¹ Unter Wertorientierung wird die „Ausrichtung aller Aktivitäten eines Unternehmens auf die Steigerung des Unternehmenswertes“ (Schnetzler et al. 2007, S. 91) verstanden. Der Grundgedanke kommt aus der Finanzwelt. Es wurden verschiedenen Konzepte zur Umsetzung einer wertorientierten Unternehmensführung entwickelt (vgl. Prockl 2008, S. 95 f.). Diese Ansätze wurden für das Logistikmanagement adaptiert um den Beitrag der Logistik zum Unternehmenserfolg zu optimieren (vgl. Sennheiser, Schnetzler 2008, S.24 ff.).

(siehe Abbildung 1) zur Folge (vgl. Reinhart, Bredow 2008, S. 832). Dies bedingt einen steigenden Umfang der Austauschbeziehungen zwischen den verschiedenen Unternehmen und den einzelnen Unternehmensstandorten.

Zugleich wächst die Zahl potenzieller Austauschpartner durch die zunehmende Internationalisierung der Beschaffungs- und Absatzmärkte. Das kann zu mehr Komplexität der Austauschbeziehungen führen, die durch die Logistik erst ermöglicht werden (vgl. Hofmann, Nothardt 2009, S. 1 f.; Koether 2006, S. 21; Grant et al. 2006, S. 7).

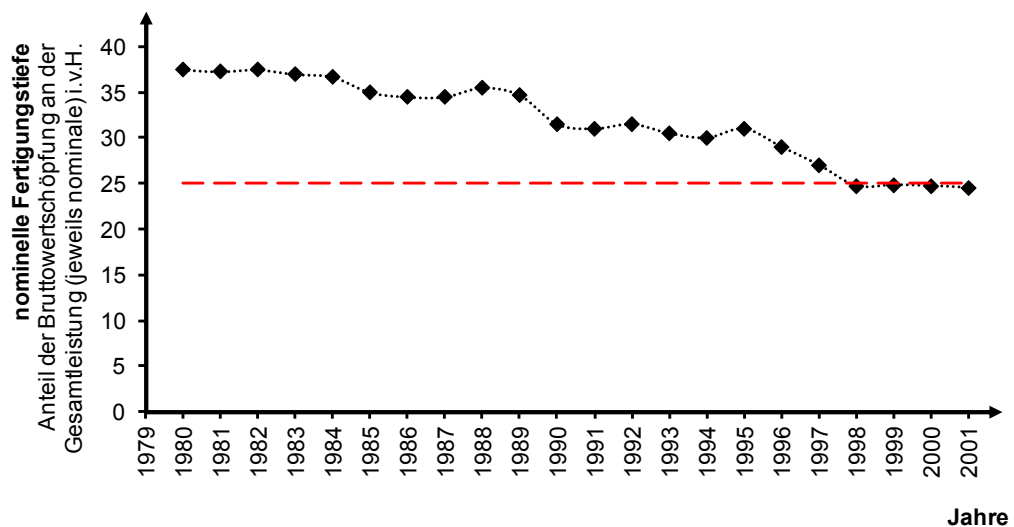


Abbildung 1: Entwicklung der Fertigungstiefe in der Automobilindustrie²

Neben dieser eher makroökonomischen Bedeutung der Logistik kommt noch ein einzelwirtschaftlicher Aspekt hinzu. Nach Bretzke ist die allgemeinste Definition „Logistik ist die bedarfsorientierte Herstellung von Verfügbarkeit“ (Bretzke 2008, S. 1). Die Verfügbarkeit eines Produkts ist Bedingung dafür, dass es einen Nutzen stiftet (vgl. Bretzke 2008, S. 1 f.; Grant et al. 2006, S. 7). Der Nutzen eines Produkts setzt sich aus vier Dimensionen zusammen (vgl. Grant et al. 2006, S. 7 f.):

- dem Gestaltnutzen („form utility“)
- dem Nutzen aus dem Recht an dem Gut („possession utility“)
- dem Zeitnutzen („time utility“)
- dem Ortsnutzen („place utility“).

Pfohl fügt als fünfte Nutzenart den Informationsnutzen hinzu (vgl. Pfohl 2010, S. 20 f.). Für den Zeit- und Ortsnutzen eines Produkts sowie partiell auch für den Informations-

² Modifiziert nach VDA 2008, S. 78.

nutzen ist die Logistik zuständig (vgl. Grant et al. 2006, S. 7 f.; Pfohl 2010, S. 21). Inhaltlich ist dies die gleiche Aussage wie die weiter oben genannte Definition von Bretzke. Plowman fasste diese Funktionen der Logistik in einem einfachen Leitsatz – der als die 5 R der Logistik bekannt geworden ist – zusammen: „the right items needed for consumption or production to the right place at the right time and in the right condition at the right cost“ (Gecowets 1979, S. 5 zit. nach Lambert, Stock, Ellram 1998, S. 11). In der neueren Literatur wurden diese 5 R ergänzt, so dass man heute auch von den 6 R³ oder 8 R⁴ der Logistik spricht (vgl. u. a. ten Hompel, Schmidt 2008, S. 16; Jetzke 2007, S. 11).

In den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts war die Antwort auf die Herausforderungen des schärfer werdenden internationalen Wettbewerbs die Einführung von Konzepten und Methoden zur Optimierung der Fertigung nach dem Vorbild des Toyota-Produktionssystems (vgl. u. a. Becker 2005, S. 23 ff.). Die Produktion wurde durch Kaizen-Maßnahmen, Poka-Yoke-Lösungen immer weiter verbessert. In den letzten Jahren hat sich der Fokus über die Produktion hinaus auf die Optimierung der Logistiksysteme ausgeweitet (vgl. u. a. Meyer, Lücke 2005, S. 267; Dombrowski, Vollrath 2008, S. 512). Ursache für diese Entwicklung ist zum einen, dass die Logistik ein entscheidender Wettbewerbsfaktor für Unternehmen wurde (vgl. Nyhuis, Pachow-Fraunhofer 2008, S. 296 f.; Meißner, Günthner 2009, S. 280), und zum anderen, dass die Potenziale der Konzepte und Methoden, die zur Optimierung der Produktionsbereiche eingeführt wurden, erst mit einer adäquaten Gestaltung des Logistiksystems vollständig genutzt werden können (vgl. Wu 2002, S. 19; Klug 2010, S. 253). Der Ansatz, über die Versorgungskette ein Gesamtoptimum mit Hilfe der Methoden des Toyota-Produktionssystems zu erreichen, wird als „schlanke Logistik“ bzw. „lean logistics“ bezeichnet (vgl. Jones, Hines, Rich 1997, S. 170 f.; Meißner, Günthner 2009, S. 281; Baudin 2005, S. 28 ff.). Das betrifft insbesondere die Intralogistik der Fabriken, aber auch die Transportlogistik zwischen den einzelnen Knoten der Supply Chain.

Bei der Gestaltung von Logistiksystemen können zwei Fälle unterschieden werden (vgl. Abel 2007, S. 296):

- die Auslegung von Logistiksystemen beim Neubau von Fabriken (so genannte Greenfield-Problematik)

³ Die *richtige Qualität* ist bei ten Hompel und Schmidt das sechste R (vgl. ten Hompel, Schmidt 2008, S. 16).

⁴ Die *richtigen Daten* und das *richtige Wissen* sind das siebente und achte R (vgl. Jetzke 2007, S. 11).

- die Auslegung bzw. Optimierung von Logistiksystemen in bestehenden Fabriken (so genannte Brownfield-Problematik)

Die Greenfield-Planung ist dabei das Ideal, da auf der „grünen Wiese“ nicht die aus bestehenden Strukturen/Systemen für die Gestaltung der Logistiksysteme folgenden Restriktionen vorhanden sind (vgl. Abel 2007, S. 296; Grundig 2009, S. 18). Bei der Brownfield-Planung sind demgegenüber vielfältige Restriktionen (z.B. materielle Gegebenheiten wie Werklayout und Gebäude, aber auch weiche Faktoren wie eingesetztes PPS-System, Organisation usw.) zu berücksichtigen, wodurch diese Planungsaufgabe komplexer ist (vgl. Abel 2007, S. 296; Grundig 2009, S. 18 f.). Die Brownfield-Planung ist vor allem aus Kostengesichtspunkten der häufigere Anwendungsfall (vgl. Jensen, Hotz 2006, S. 91).

1.2 Problemfelder bei der Gestaltung von Logistiksystemen und daraus resultierende Forschungsfragen

Wie im vorangegangenen Abschnitt ausgeführt, ist die Gestaltung eines Logistiksystems eine häufig anzutreffende Aufgabenstellung, wobei der größere Anteil dem Bereich der Brownfield-Planung zuzuordnen ist. Der wesentliche Unterschied gegenüber der Greenfield-Planung liegt in einer größeren Anzahl an Restriktionen und Randbedingungen, die bei dieser Planungsaufgabe zu beachten sind. Unabhängig von der Art der Aufgabe sind in jedem Planungsfall die Anforderungen, die an das zu planende bzw. zu optimierende Logistiksystem gestellt werden, zu ermitteln. Daraus ergibt sich die erste Forschungsfrage:

- (1) Welche Anforderungen werden an Logistiksysteme gestellt, und wie kann man sie beschreiben?

Zum Abschluss des Planungsprozesses und fortlaufend während des Betriebs ist weiterhin zu prüfen, inwieweit das aktuelle Logistiksystem den gestellten Anforderungen genügt. Diese Probleme sollen durch die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage gelöst werden:

- (2) Wie lässt sich der Zustand des Logistiksystems hinsichtlich des Erfüllungsgrades der Anforderungen operativ verfolgen?

Die Bewertung des Erfüllungsgrades einer Anforderung, also ein Abgleich zwischen einer Ist-Größe und einer Soll- bzw. Ziel-Größe setzt voraus, dass der Zielwert definiert ist. Es ist also zu ermitteln, wie der Soll-Zustand eines Logistiksystems in Bezug auf die

Anforderungen ex ante bestimmt werden kann. Die dritte Forschungsfrage widmet sich dieser Problemstellung:

(3) Wie sind die Zielwerte der Anforderungen bestimmbar?

Wegen der sehr hohen Zahl von möglichen Erscheinungsformen von Logistiksystemen ist es erforderlich, diese „durch Abstraktion zu *wesentlichen Erscheinungsformen*“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 20; Hervorhebungen im Original) zu verdichten. Wenn dieser Abstraktionsprozess in geeigneter Weise durchgeführt wird, ist es möglich, von dem Verhalten der wesentlichen Erscheinungsformen auf das Verhalten vieler bzw. aller Erscheinungsformen zu schließen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 20 f.). Für diesen Verdichtungsprozess scheint die Entwicklung einer Typologie von Logistiksystemen die geeignete Methode darzustellen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 21). Die vierte Forschungsfrage lautet somit:

(4) Welche Typen von Logistiksystemen gibt es und wie lassen diese sich bzgl. der Anforderungen beschreiben?

Nachdem die Anforderungen an Logistiksysteme beschrieben worden sind und durch eine Klassifikation eine Einteilung vorgenommen wurde, stellt sich die Frage, wie diese beiden Aspekte die Gestaltung von Fabriken hin zu logistikgerechten Formen beeinflussen können. Die fünfte Forschungsfrage ist folglich die:

(5) Wie kann die Gestaltung von logistikgerechten Fabriken unterstützt werden?

Diese fünf Forschungsfragen sollen verfolgt werden.

1.3 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs

Gegenstand der in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen sind innerbetriebliche Logistiksysteme in der Fertigungsindustrie (siehe Abbildung 2). Darunter sollen diejenigen Industriebetriebe verstanden werden, die auf mechanisch-technologischem Weg diskrete Produkte (Stückgüter) herstellen (diskrete Montage- und Fertigungsprozesse). Die Prozessindustrie (verfahrenstechnische, kontinuierliche oder diskontinuierliche Produktion) sowie Handel und Dienstleistungsproduktion werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Weiterhin wird nur die Gestaltung innerbetrieblicher Logistiksysteme dieser Unternehmen behandelt. Betriebsübergreifende bzw. zwischenbetriebliche Systeme sind nicht Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchungen (siehe Abbildung 2).

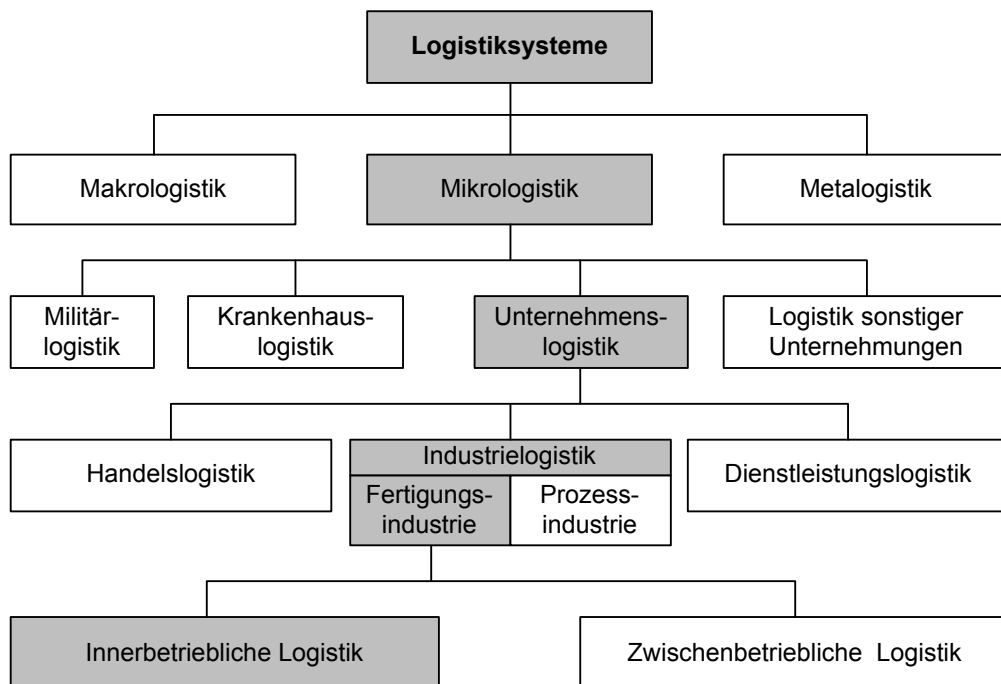


Abbildung 2: Institutionelle Abgrenzung des Untersuchungsbereichs⁵

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in fünf Kapitel gegliedert (siehe Abbildung 3). Im ersten Kapitel, das als Einleitung fungiert, wird die grundsätzliche Problemstellung umrissen. Die Relevanz der untersuchten Problematik wird verdeutlicht, und es werden die Forschungsfragen, die diese Untersuchung geleitet haben, vorgestellt. Ferner wird der Untersuchungsbereich eingegrenzt.

Im zweiten Kapitel findet eine Auseinandersetzung mit den an Logistiksysteme gestellten Anforderungen statt. Dazu wird zunächst der Begriff des Logistiksystems definiert sowie von anderen Systemen abgegrenzt, und es werden die bestimmenden Größen beschrieben. Basierend auf der Systemabgrenzung werden die Implikationen benachbarter Systeme auf die Anforderungen an das Logistiksystem erörtert und drei Zielgrößen davon abgeleitet. In den folgenden Abschnitten werden diese Größen operationalisiert und es wird die erreichbare bzw. die anzustrebende Ausprägung bestimmt.

Der Betrachtung von Logistiksystemen und Kennzahlen, die wesentliche Anforderungen beschreiben, schließt sich im dritten Kapitel die Entwicklung einer Typologie für Logistiksysteme an. Die Typologie wird als geeignetes Hilfsmittel zur Verdichtung

⁵ Modifiziert nach Pfohl 2010, S. 15.

der Vielzahl realer Erscheinungsformen auf die wesentlichen davon reduziert. Dazu werden zunächst die wesentlichen theoretischen Grundlagen für die Bildung von Typologien rekapituliert (3.1) und bestehende Typologien mit Bezug auf den hier betrachteten Untersuchungsgegenstand geprüft (3.1.4). Im Abschnitt 3.2 wird eine Typologie von Logistiksystemen entwickelt.

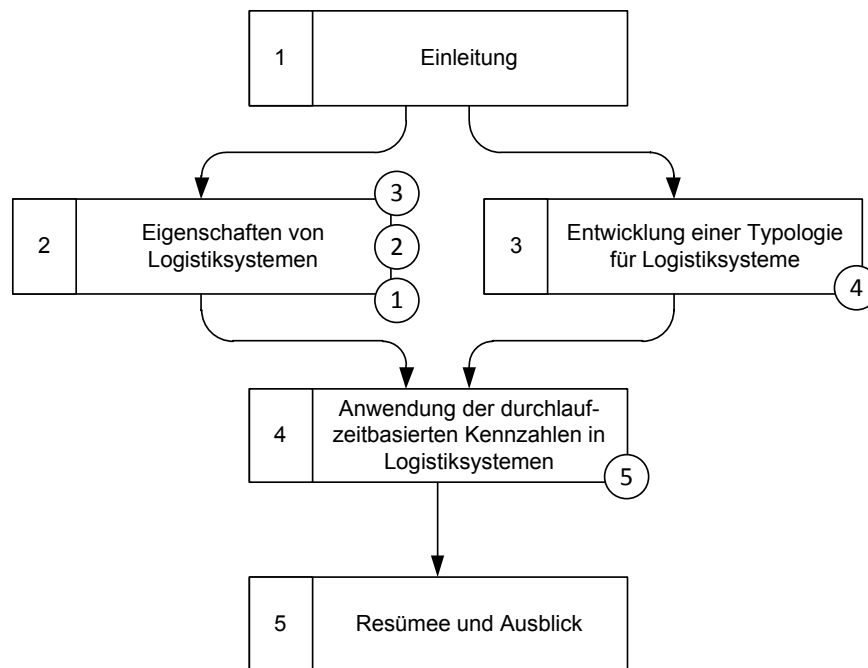


Abbildung 3: Aufbau der Arbeit⁶

Im vierten Kapitel werden die in Kapitel 2 eingeführten durchlaufzeitbasierten Kennzahlen auf die Merkmale der Typen von Logistiksystemen aus Abschnitt 3 angewendet. Dazu wird der Einfluss der Merkmale auf die Wertebereiche der Kennzahlen dargestellt, ferner ein Vorgehensmodell zur Gestaltung realer Logistiksysteme aufgezeigt und die Anwendung exemplarisch an zwei Beispielen demonstriert. Abschließend werden Hinweise zur Bildung der entsprechenden Zielsysteme gegeben.

Im Schlusskapitel werden Nutzen und Möglichkeiten der erarbeiteten Problemlösungsvorschläge zusammengefasst und es wird auf weitere Potenziale bei der Auslegung der Systeme eingegangen.

⁶ Die eingekreisten Zahlen weisen darauf hin, welche der fünf Forschungsfragen dieser Arbeit im jeweiligen Kapitel erörtert wird.

2. Eigenschaften von Logistiksystemen

2.1 Logistiksysteme in der Fertigungsindustrie

2.1.1 Abgrenzung der Logistiksysteme von den Produktionssystemen

Ein System ist eine Menge von Elementen, die miteinander in Wechselwirkung stehen (vgl. Hanssmann 1993, S. 9, Schwaninger 1996, S. 1946). Die Wechselwirkungen seien dergestalt, dass die Elemente des Systems eine aufgaben-, zweck- oder sinngebundene Einheit bilden und sich dadurch von der sie umgebenden Umwelt abgrenzen lassen (vgl. Schwaninger 1996, S. 1946). Systeme bestehen aus Subsystemen und sind gleichzeitig Bestandteil von Gesamtsystemen: „Systeme sind i. d. R. Teile von umfassenderen Systemen (*Supersystemen*), und sie setzen sich ihrerseits aus Teilsystemen (*Subsystemen*) zusammen.“ (Schwaninger 1996, S. 1946, Hervorhebung im Original).

Das System *Fabrik* ist in ein so genanntes Umsystem S_U (Fabrikumwelt) eingebettet (siehe Abbildung 4) und lässt sich in verschiedene Subsysteme untergliedern (vgl. Corsten 2000, S. 2 f.), unter anderem in das Logistiksystem S_L und in das Produktionssystem S_P (siehe Abbildung 4). Daneben lassen sich noch weitere Subsysteme abgrenzen (vgl. Corsten 2000, S. 2 f.), die im hier betrachteten Kontext jedoch nachrangig sind und nicht weiter betrachtet werden. Das Umsystem, die Fabrikumwelt, besteht aus mehreren Subsystemen (vgl. Dürrschmidt 2001, S. 27 ff. und Abbildung 4).

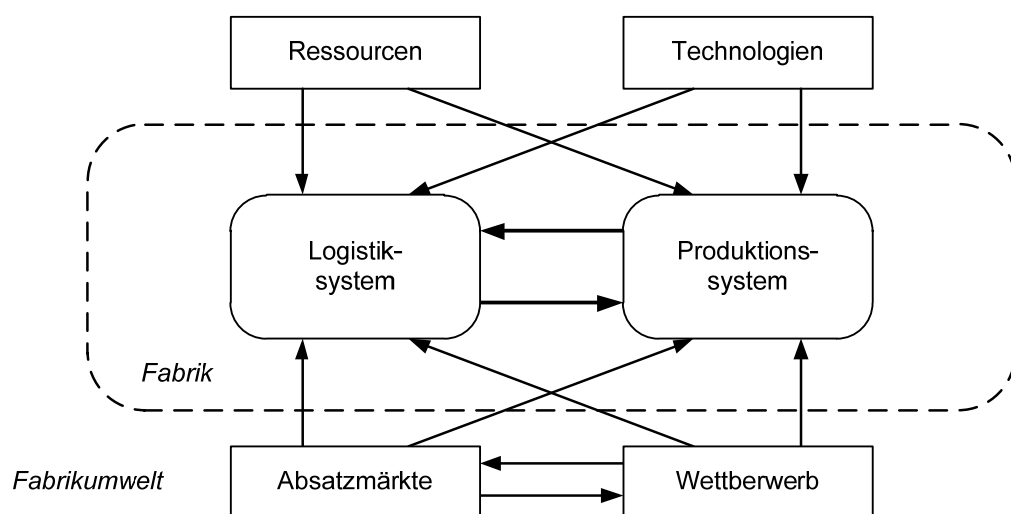


Abbildung 4: Subsysteme des Systems Fabrik⁷

⁷ Nach Dürrschmidt 2001, S. 27.

Das Logistiksystem S_L umfasst alle Funktionen der raum-, zeit- und mengenmäßigen Veränderung von Gütern in einer Fabrik. Das Logistiksystem hat Schnittstellen sowohl mit dem Produktionssystem als auch mit dem Umsystem (siehe Abbildung 4). Subsysteme von S_L sind unter anderem das interne Transport-, das Lager- und das Kommissioniersystem, aber auch bspw. das Logistiksteuerungssystem.

Das Logistiksystem verbindet das externe Transportsystem mit dem Produktionssystem (und vice versa) sowie ggf. einzelne Produktionssysteme miteinander zu einem Produktionsnetzwerk. Dabei umfasst das Logistiksystem auch die Bereitstellung der Güter direkt im Produktionssystem.

Das Produktionssystem „dient der Erfüllung einer Arbeitsaufgabe“ (REFA 2002, S. 65) in Form der art- und beschaffenheitsmäßigen Veränderung von Gütern. Das Produktionssystem hat Schnittstellen mit dem Logistiksystem. In der Literatur gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, ob das Produktionssystem mit dem Umsystem direkte Austauschbeziehungen (vgl. bspw. Dürrschmidt 2001, S. 27 f.) oder nur indirekte Austauschbeziehungen über ein entsprechendes drittes Fabrik subsystem unterhält (vgl. bspw. Corsten 2000, S. 2 f.).

2.1.2 Beschreibende Größen eines Logistiksystems

Die allgemeinste Definition der Logistik lautet: „*Logistik ist die bedarfsorientierte Herstellung von Verfügbarkeit.*“ (Bretzke 2008, S. 1; siehe auch Abschnitt 1.1). Ausgehend von der Überlegung von Arlbjörn und Halldorsson, dass der Kern der Logistik (als Wissenschaft) die Flussorientierung (flow orientation) ausmacht, können diejenigen Größen, mit denen man allgemein Stoff- und Informationsflüsse beschreibt, auch zur Beschreibung von logistischen Systemen herangezogen werden (vgl. Arlbjörn, Halldorsson 2002, S. 25 f.). Diese Größen sind:

- Durchsatz (DS)
- Bestand (B)
- Durchlaufzeit (DLZ)
- Kosten (K)

Die ersten drei Größen sind durch Little's Law miteinander verknüpft (vgl. Little 1961, S. 383)⁸:

$$B = DLZ \cdot DS \quad [1]$$

Dabei sei die Durchlaufzeit die Zeit T , die zwischen dem Zeitpunkt eines Anfangsereignisses t_a und dem Zeitpunkt eines Endereignisses t_e verstreicht:

$$DLZ_i = t_e^i - t_a^i = \sum T_B + \sum T_W \quad [2]$$

Sie lässt sich gleichzeitig auch als Summe aller Bearbeitungszeiten T_B plus der Summe aller Wartezeiten T_W darstellen.

Es ist auch möglich, mit Hilfe von Kosten die Stoff- und Informationsflüsse eines Logistiksystems zu beschreiben. Während die Durchlaufzeit jedoch eine direkt messbare Größe ist, sind Kosten dagegen eine abgeleitete Größe, die man erhält, indem andere Größen monetär bewertet werden (vgl. Corsten 2000, S. 104). Die Durchlaufzeit bietet gegenüber der Verwendung von Kosten als Maßzahl einige Vorteile:

- direkte Messbarkeit,
- leichtere Verfügbarkeit der Daten und
- gute Vergleichbarkeit verschiedener Systeme⁹.

Für die Messung der Durchlaufzeit genügen die Definition zweier Messpunkte und eine Uhr. Die Daten können bereits erfasst werden, indem der entsprechende Prozess lediglich beobachtet wird. Weiterhin sind, gleiche Aufgabenstellungen vorausgesetzt, Zeitwerte von verschiedenen Systemen miteinander vergleichbar. Sollen demgegenüber die Kosten ermittelt werden, sind zunächst alle an der Erfüllung der Aufgabe beteiligten Elemente zu identifizieren und die entsprechenden Kostensätze zusammenzustellen. Anschließend ist der Anteil an der Aufgabenerfüllung zu bewerten. Die wesentliche Schwierigkeit liegt in der Ermittlung der Kostensätze.

⁸ In der 1961 veröffentlichten Formulierung von Little lautet Little's Law: $L = \lambda W$ (vgl. Little 1961, S. 383). Wobei L der Erwartungswert der Anzahl von Einheiten (bzw. Objekten) im System, W der Erwartungswert der Verweilzeit einer Einheit (bzw. Objekt) im System und λ^{-1} die Zeitdauer zwischen zwei Ankünften von jeweils einer Einheit (bzw. Objekt) darstellt (vgl. Little 1961, S. 383).

⁹ Es lassen sich auch Kostengrößen gut miteinander vergleichen, jedoch ist es wichtig, zwischen den beiden Vergleichsobjekten auch vergleichbare Abgrenzungen der einzelnen Kosten zu haben.

2.2 Anforderungen an Logistiksysteme in modernen Unternehmen

2.2.1 Marktbedingungen der Fertigungsindustrie und ihre Implikation in die Anforderungen an die Logistik

In der Literatur werden an verschiedenen Stellen Aussagen zu den die industrielle Produktion bestimmenden Trends oder Megatrends¹⁰ gemacht (vgl. bspw. bei Cisek, Habicht, Neise 2002, S. 442; Schenk, Wirth 2004, S. 31 ff. und S. 136; Oliver Wymann 2007, S. 10 ff.; Arndt 2008, S. 8 ff.). Dabei werden zwar unterschiedliche Aspekte hervorgehoben, die sich jedoch zu drei Megatrends aggregieren lassen:

- die Globalisierung
- die Individualisierung und
- der technische Fortschritt.

Die Globalisierung, also die zunehmende internationale Verflechtung in der Wirtschaft (vgl. Rehbein, Schwengel 2008, S. 10 f.), betrifft dabei sowohl die Beschaffungsseite als auch die Absatzseite eines Unternehmens. Über die Erschließung internationaler Beschaffungsmärkte können Unternehmen Potenziale generieren, um Kosten zu senken. Die Erschließung weiterer Absatzmärkte eröffnet den Zugang zu neuen Kunden, erhöht allerdings auch den allgemeinen Wettbewerbsdruck, da die Anzahl der konkurrierenden Unternehmen in einem Markt ebenfalls steigt. Die Logistik ist von diesen Änderungen (neben dem Vertrieb und Einkauf) besonders betroffen. Die zu transportierenden Mengen und Transportentfernungen nehmen zu. Gleichzeitig werden die Warenströme durch Zoll- und Einfuhrbestimmungen beeinflusst. Vor allem verschiedene Standards hinsichtlich des elektronischen Datenaustauschs erhöhen die Komplexität der Steuerung internationaler Warenströme.

Die Individualisierung bedeutet nach Junge, „..., *dass das Individuum zentraler Bezugspunkt für sich selbst und die Gesellschaft wird*“ (Junge 2007, S. 7). Das wirkt sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht als zunehmende Heterogenisierung der Kundenbedürfnisse aus und betrifft vor allem die Absatzseite eines Unternehmens, hat aber über die kausalen Folgen tiefgreifende Auswirkungen auf die Beschaffungsprozesse (vgl. Walcher 2007, S. 152 f.). Zur Befriedigung der heterogenen Kundenwünsche werden

¹⁰ Der Begriff „Megatrend“ wurde 1982 durch John Naisbitt eingeführt (vgl. Naisbitt 1982, S. 1). Unter einem Megatrend wird ein „Trend in großem Maßstab, langanhaltend mit tiefgreifenden Veränderungen“ (Pillkan 2007, S. 127) verstanden (vgl. auch Corbat 2009, S. 128 f.).

immer mehr Produktmodelle und -varianten angeboten (vgl. Reichwald, Piller 2006, S. 28 f.). Exemplarisch lässt sich das anhand von Automobilherstellern verdeutlichen. Während die Audi AG 1996 vier Modellreihen mit insgesamt sieben Derivaten anbot, waren es 2007 bereits acht mit 22 Derivaten und im Jahr 2011 schon elf Modellreihen mit insgesamt 32 Derivaten (vgl. Krog, Statkevich 2008, S. 187; Audi 2011, S. 133 und S. 150 ff. sowie Abbildung 5).

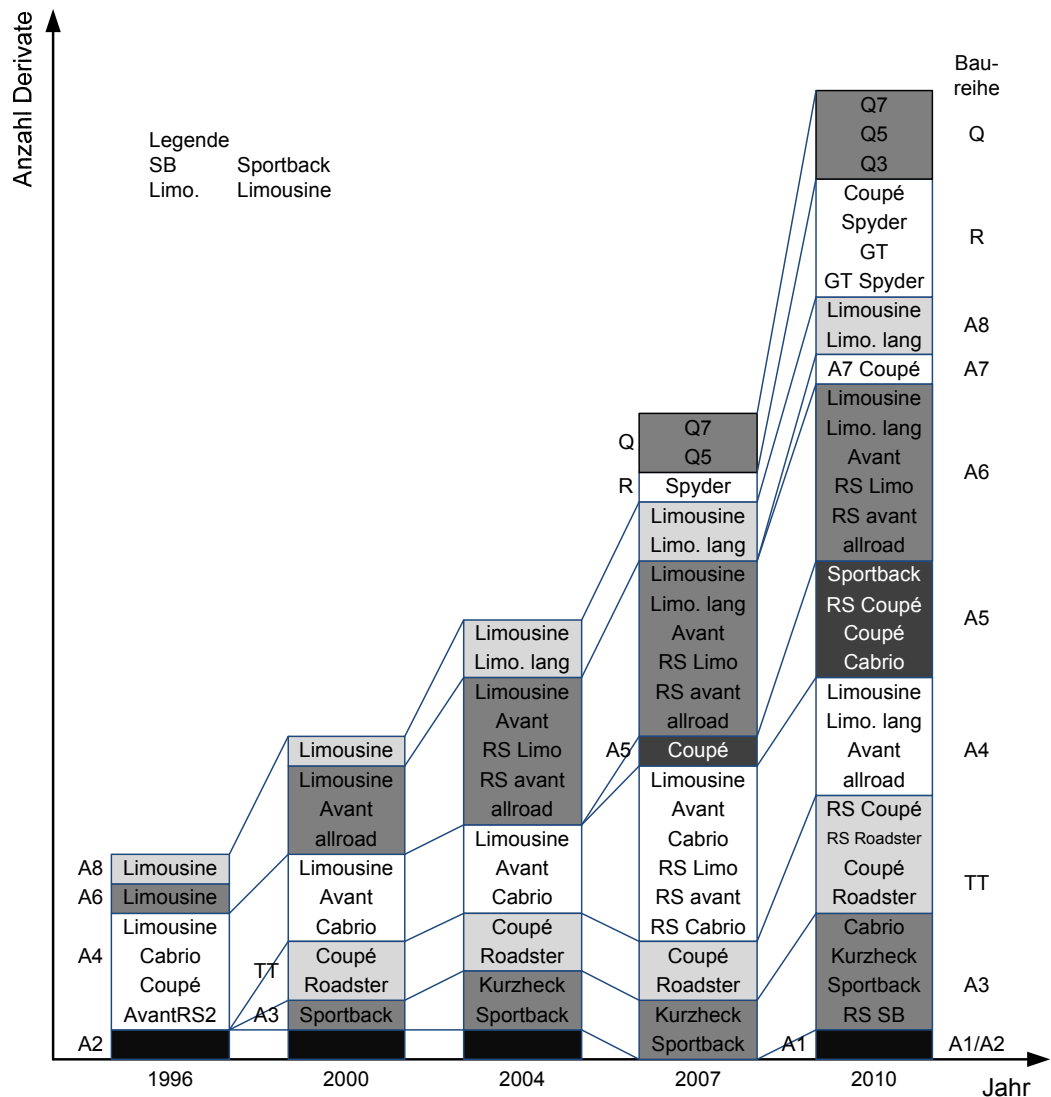


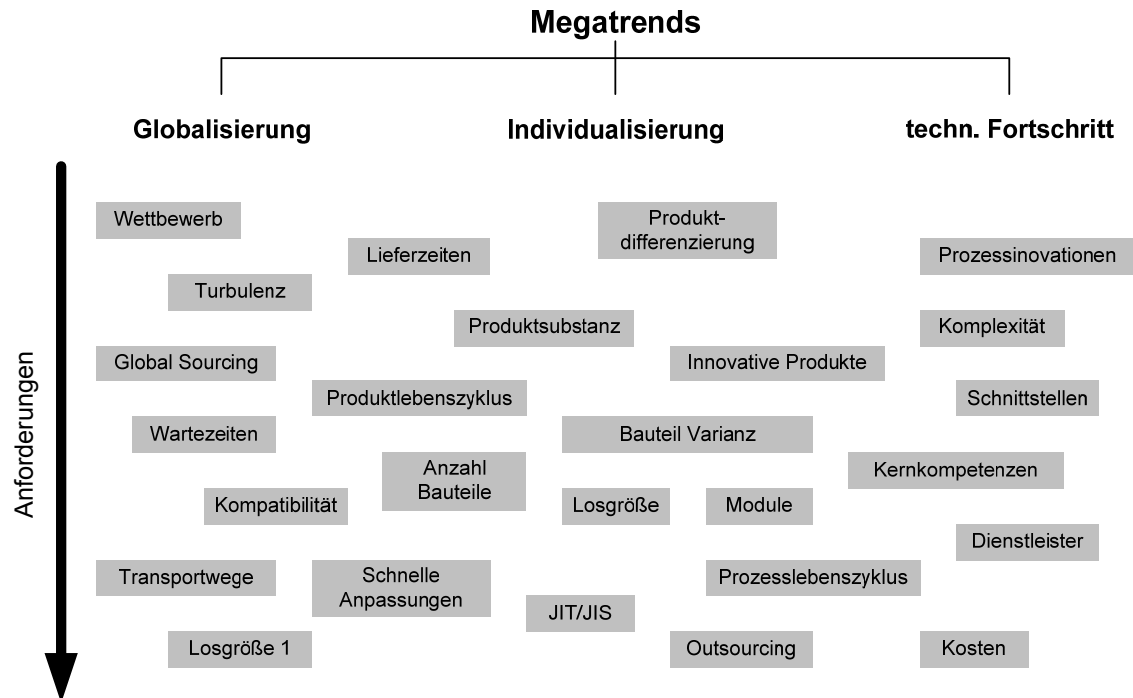
Abbildung 5: Entwicklung des Produktprogramms von Audi¹¹

¹¹ Modifiziert nach an Krog, Statkevich 2008, S. 187: Produktprogramm 1996 bis 2007 von Krog Stetkevich (ebd.) übernommen. Modelle 2010 hinzugefügt auf Basis von Audi 2011 (S. 133 und S. 155). Dabei wurden im Sinne einer konsistenten Darstellung analog Krog, Stankevich (ebd.) nur die Karosserievarianten und die entsprechenden RS Varianten einer Baureihe aufgeführt wohingegen die S Varianten nicht gesondert genannt sind. Die Bezeichnung der Baureihen und der Derivate wurde von Audi übernommen. Als „Avant“ werden die Kombimodelle mit Steilheck, als „Sportback“ die Modelle mit Schrägheck und als „Spyder“ roadsterartige Modelle bezeichnet.

Der technische Fortschritt ist die ständige Verbesserung der technischen Ausgangslage einer Ökonomie bzw. die Einführung von Neuerungen. Nach Schumpeter sind mögliche Optionen des technischen Fortschritts:

- „Herstellung eines neuen, d.h. dem Konsumentenkreis noch nichtvertrauten Gutes oder einer neuen Qualität eines Gutes,
- Einführung einer neuen, d.h. dem betreffenden Industriezweig noch nicht praktisch bekannten Produktionsmethode
- Erschließung eines neuen Absatzmarktes
- Eroberung einer neuen Bezugsquelle von Rohstoffen oder Halbfabrikaten
- Durchführung einer Neuorganisation“ (Schumpeter 1997, S. 100 f.).

Alle drei oben genannten Megatrends haben Einfluss sowohl auf das Produkt¹² als auch auf die Prozesse zur Herstellung des Produkts sowie auf die Organisation der Unternehmung, die das Produkt herstellt. Von den einzelnen Megatrends oder auch einer Kombination von Trends lassen sich weitere Anforderungen und Bedingungen kausal ableiten (siehe Abbildung 6).



Das soll durch ein Beispiel verdeutlicht werden: Der technische Fortschritt ermöglicht die Herstellung eines neuen Produkts, zum Beispiel von LED-Lampen. Auf Basis der Individualisierung und der Nachfrage nach Produktdifferenzierung wird mit Hilfe der verfügbaren Technologie eine neue Ausstattungsvariante generiert: der LED-Hauptscheinwerfer. Das führt zu einer Verdopplung der Anzahl der Varianten. Unter Umständen sind diese neuen Varianten nur bei einem neuen Zulieferer verfügbar, was neue Logistikströme auslösen würde.

Die aus den drei Marktkräften resultierenden Anforderungen schaffen auch solche auf Fabrikebene (vgl. obiges Beispiel) und schließlich ebenso an die Logistiksysteme der Unternehmen, beispielsweise optimierte Transporte, eine stabile Versorgung der Fertigungs- und Montagebereiche bei steigender Bauteilanzahl und -varianz, geringe Bestände, eine zeitgerechte Bereitstellung von Materialien, das „Global Sourcing“, mehr Wettbewerbsfähigkeit etc. Diese Anforderungen an das Logistiksystem lassen sich auf drei wesentliche Systemparameter reduzieren. Die Logistiksysteme müssen

- schlank (im Sinne der Vermeidung von Verschwendungen und unnötigen Kosten),
- flexibel (im Sinne der Anpassungsfähigkeit an geänderte Umweltbedingungen) und
- robust (im Sinne der Unempfindlichkeit gegenüber Störungen)

sein. Eine detaillierte Beschreibung dieser drei Größen erfolgt in Abschnitt 2.2.2.

Auf der anderen Seite gibt es „Befähiger“, die ein Logistiksystem darin unterstützen/dazu befähigen, diesen Anforderungen zu entsprechen. Die maßgeblichen Befähiger (aus Sicht der Logistik) sind

- die ganzheitlichen Produktionssysteme (GPS),
- die Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) und
- das Supply Chain Management (SCM).

Diese Befähiger stellen die notwendigen konzeptionellen Werkzeuge, Prinzipien und Modelle zur Verfügung, die es ermöglichen, den drei Größen Schlankheit, Flexibilität und Robustheit gerecht zu werden. Somit ergeben sich drei zu betrachtende Dimensionen, die im Spannungsfeld der Anforderungen und Möglichkeiten existieren müssen (siehe Abbildung 7).

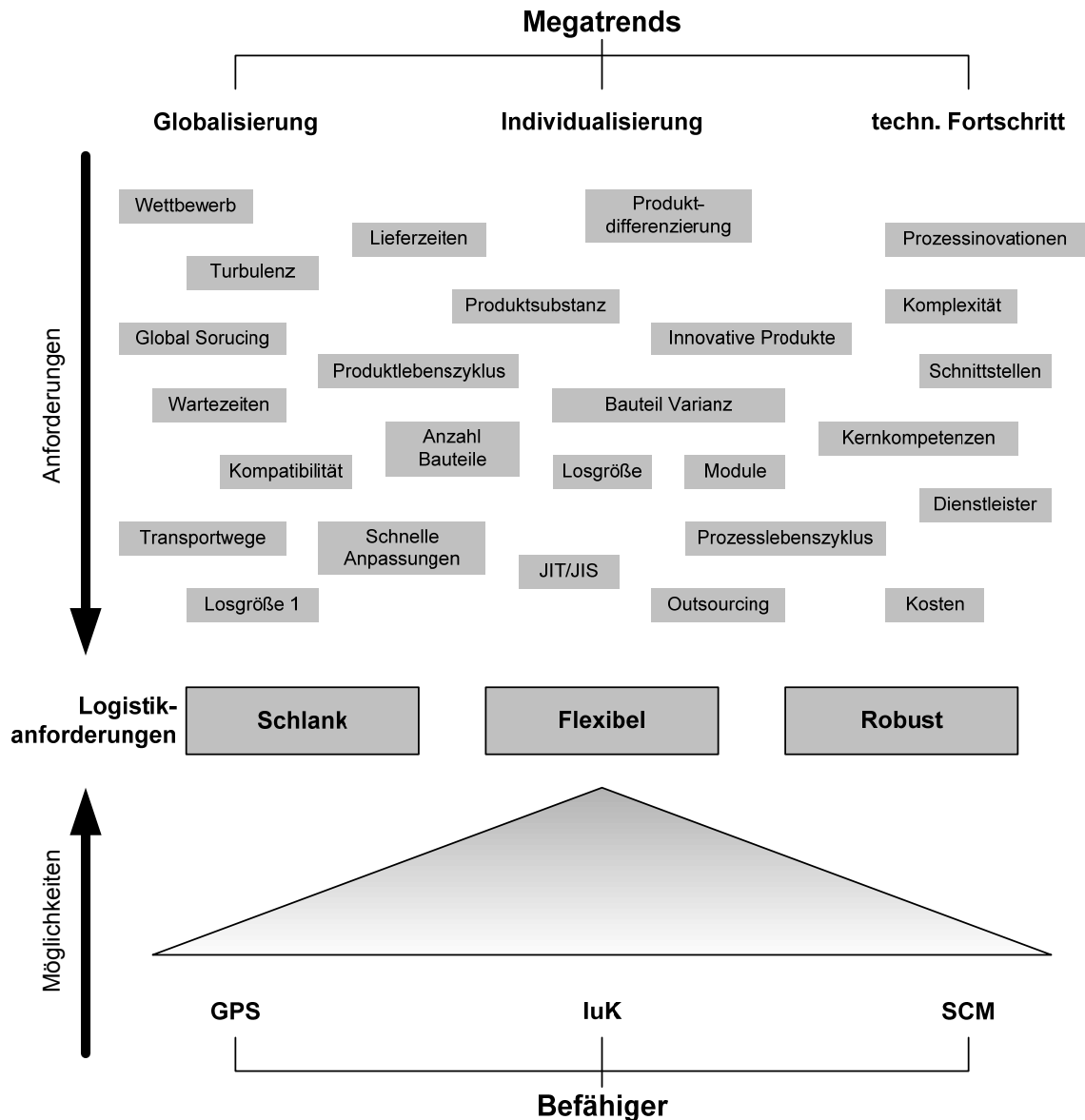


Abbildung 7: Spannungsfeld der Logistikanforderungen

Die drei genannten Logistikdimensionen (Schlankheit, Flexibilität und Robustheit) werden in der Literatur häufig isoliert betrachtet, und meistens wird eine unter Vernachlässigung der anderen optimiert. Hintergrund ist, dass jede der Logistikanforderungen ein eigenes Zielsystem hat. Die Zielsysteme der drei Dimensionen sind jedoch nicht unabhängig voneinander. Vielmehr existieren neben komplementären und neutralen auch konfliktäre Zielbeziehungen untereinander.

Es gibt vom ifa Hannover erste Bemühungen, die beiden Dimensionen schlank und flexibel in Hinblick auf Fertigungssysteme zu vereinen (vgl. Fisser, Schulze, Nyhuis 2008, S. 385 ff.; Schulze et al. 2008, S. 580 ff.).

2.2.2 Beschreibung der Anforderungen

Schlankheit

Der Begriff „schlank“ (engl. *lean*) ist heute in vielen Veröffentlichungen zum Thema Produktion zu finden. Der Begriff „lean“ wurde durch John F. Krafcik 1988 in einem Artikel (vgl. Krafcik 1988, S. 41 ff.; Holweg 2007, S. 426) geprägt und 1990 durch die Veröffentlichung des Berichts des „International Motor Vehicle Program“ (IMVP, vgl. Womack et al. 2007, S. 2 ff.¹³) einem großen Publikum bekannt gemacht (vgl. Holweg 2007, S. 430). Krafcik verwendete dabei „lean“ in Abgrenzung zu „buffered“ (vgl. Krafcik 1989, S. 44; Dombrowski, Hennesdorf, Schmidt 2006, S. 173), womit er Systeme mit großen Beständen kennzeichnete. Die Bestandsgröße war in Krafciks Arbeit zunächst das Kriterium, an dem er eine „schlanke“ Fertigung festmachte (vgl. Krafcik 1989, S. 43).

Das mit dem Begriff „lean“ intendierte Konzept geht jedoch auf wesentlich ältere Entwicklungen zurück. Ausgangspunkt der Untersuchungen des IMVP waren die wirtschaftlichen Erfolge des Toyota-Konzerns vor allem während der Ölkrisen in den 1970er-Jahren (vgl. Womack et al. 2007, 47 ff.). Es wurde herausgefunden, dass das System, nach dem Toyota seine Fabriken und die Produktion gestaltete, der Kern für dessen Erfolg war (vgl. Womack et al. 2007, 75 ff.). Die Entwicklung des Produktionssystems und die dahinterstehende Philosophie wurden 1978 durch Ohno beschrieben (vgl. Ohno 2005, S. 27 ff.). Monden hat bereits einige Jahre vor dem IMVP die Mechanismen des Toyota-Produktionssystems (TPS) untersucht (vgl. Monden 1983, S. v und 1 ff. und Monden 2002, S. 313 ff.).

Das Konzept und teilweise auch die Prinzipien der schlanken Produktion wurden inzwischen auf andere Bereiche, wie zum Beispiel die Verwaltung (vgl. Laqua 2005, S. 738 ff.), das Handwerk (vgl. Dickmann 2007, S. 5) oder die Logistik (vgl. Baudin 2005), ausgedehnt.

Der Kerngedanke der „schlanken“ Produktion ist eine Ausrichtung aller Prozesse am Wertstrom und am Kundennutzen (vgl. Womack 2006, S. 6). Ohne diese zentrale Orientierung sind sämtliche weiteren Elemente der schlanken Produktion nicht oder nur eingeschränkt wirksam.

¹³ Der Bericht erschien 1992 auch in deutscher Übersetzung unter dem Titel „Die zweite Revolution in der Automobilindustrie“ (vgl. Womack et al. 1994, S. 3 f.); für eine Darstellung der Entstehungs- und Rezeptionsgeschichte vgl. Holweg 2007, S. 420 ff.

Die Prinzipien, die dem „lean“-Gedanken zugrunde liegen, sind (vgl. Dickmann 2007, S. 7 ff.):

- Vermeidung der 3M (vgl. Takeda 2006, S. 31; Takeda 2009 S. 41 ff.) – diese stehen für
 - Muda (dt. Verschwendung),
 - Muri (dt. Überlastung),
 - Mura (dt. Schwankungen),
- kontinuierliche Verbesserung (jap. „Kaizen“) (vgl. Monden 1983, S. 199 ff.; Imai 2001, S. 25 ff.) und
- Standardisierung (jap. „Sui jyun“).

Flexibilität

Der Begriff der Flexibilität wird in der Literatur sehr weit gefasst (vgl. Jacob 1990, S. 16). Im wissenschaftlichen Diskurs wird vor allem die Flexibilität der Planung (vgl. u. a. in Schneeweiß 1992, S. 141 ff.; Schneeweiß, Kühn 1990, S. 378 ff.; Schneeweiß, Schneider 1999, S. 98 ff.; Jacob 1974, S. 299 ff., 403 ff., 505 ff.; Hanssmann 1993, S. 227 ff.) und der Fertigung betrachtet (vgl. u. a. in Jacob 1990 16 ff.; Westkämper, Zahn 2009, S. 7 ff.). Die Flexibilität der Logistik wird dabei nicht explizit behandelt. Neben der Abgrenzung des Begriffs Flexibilität werden vor allem Maßzahlen, mit denen der Grad der Flexibilität eines Systems in Bezug auf andere Systeme ausgewiesen werden kann, untersucht (vgl. z.B. Jacob 1990, S. 20 ff.).

Jacob betrachtet eingehend die Flexibilität der Fertigung und unterscheidet dabei vier Stufen (vgl. Jacob 1990, S. 18.):

- *Bestandsflexibilität I*: Anpassungsfähigkeit „...bei gegebenem, unveränderlichem Bestand (...) an Produktionseinrichtungen an wechselnde, nach Art und Umfang bekannte Produktionsaufgaben“ (Jacob 1990, S. 18; weiterführend vgl. ebenda S. 19 ff.);
- *Bestandsflexibilität II*: Anpassungsfähigkeit „bei gegebenem und unveränderlichem Bestand (z.B. an Produktionseinrichtungen...) an unterschiedliche, zu Beginn einer Planungsperiode für möglich gehaltene Datensituationen.“ (Jacob 1990, S. 18; weiterführend vgl. ebenda S. 23 ff.);
- *Entwicklungsflexibilität I*: Anpassungsfähigkeit der Betriebsmittelbestände an die Veränderung der relevanten Gegebenheiten. (vgl. Jacob 1990, S. 18; weiterführend vgl. ebenda S. 41 ff.);

- *strategische Flexibilität*: (Entwicklungsflexibilität II) Anpassungsfähigkeit eines Unternehmens, sich „durch ein verändertes Produktions- oder Leistungsprogrammen.“ (Jacob 1990, S. 18) an geänderte konfliktäre Umweltsituationen. (weiterführend vgl. ebenda S. 57 ff.).

Jacob entwickelt für die einzelnen Flexibilitätsstufen Maßzahlen und erläutert den Einfluss auf die Betriebspolitik (vgl. Jacob 1990, S. 20 ff.).

Den Flexibilitätsarten sind viele Aufsätze in der Literatur gewidmet. Die Autoren kommen jedoch – auch wenn immer nur die Fertigungsflexibilität betrachtet wird – zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Anzahl verschiedener Flexibilitätsarten:

- Sethi und Sethi identifizieren elf (vgl. Sethi, Sethi 1990, S. 289 ff., insb. S. 297)),
- Gupta und Somers neun (vgl. Gupta, Somers 1992, S. 166 ff., insb. S. 174 f.),
- Gerwin sieben (vgl. Gerwin 1993, S. 395 ff., insb. S. 398) und
- Slack identifiziert fünf (vgl. Slack 1983, S. 4 ff. (insb. S. 6)), reduziert die Anzahl später jedoch auf vier (vgl. Slack 1987, S. 39).

verschiedene Flexibilitätsarten.

Nigel Slack (vgl. Slack 1983, S. 4 ff.; 1987, S. 35 ff.; 2005, S. 1201 ff.¹⁴) betrachtete zunächst nur die Flexibilität der Fertigung (*manufacturing flexibility*, vgl. Slack 1987, S. 35 ff.), weitet dies später auf den gesamten Betrieb (*operations flexibility*, vgl. Slack 2005, S. 1208) aus. Flexibilität verfügt über drei Dimensionen: die Bandbreite der Anpassungsfähigkeit, die Kosten der Veränderung von einem Zustand in einen anderen und die Dauer dieser Anpassung (vgl. Slack 1983, S. 8). Bezogen auf die Fertigung werden vier Haupttypen von Flexibilität identifiziert (vgl. Slack 1983, S. 8 ff.; 1987, S. 39):

- die *Produkt-Flexibilität*: „the ability to introduce novel products, or to modify existing ones.“ (Slack 1987, S. 38),
- die *Mix-Flexibilität*: „the ability to change the range of products made within a given time period.“(Slack 1987, S. 38),

¹⁴ Der Artikel von 2005 ist ein „Update“ bzw. ein Review des Artikels von 1987, in dem der Autor seine damaligen Thesen auf Basis aktueller Forschungsergebnisse anlässlich des 25-jährigen Bestehens des veröffentlichenden Journals abermals diskutiert (vgl. Slack 2005, S. 1201). Der Artikel von 1987 wurde in der Jubiläumsausgabe erneut abgedruckt als Slack 2005 (1987) S. 1190 – 1200 (vgl. Slack 2005, S. 1201, Fußnote 1).

- die *Volumen-Flexibilität*: „the ability to change the level of aggregated output.“ (Slack 1987, S. 38) und
- die *Liefer-Flexibilität*: „the ability to change planned or assumed delivery dates.“ (Slack 1987, S. 38).

Diese vier Haupttypen haben sich auch im Zeitablauf nicht verändert (vgl. Slack 2005, S. 1204). Jedoch hat sich ein ursprünglich fünfter postulierter Flexibilitätstyp – die Qualitäts-Flexibilität (vgl. Slack 1983, S. 10) – als nicht wesentlich für die betriebliche Praxis gezeigt (vgl. Slack 1987, S. 39).

Ein anderer wichtiger Aspekt, der bei Slack eingeführt wird, ist der der Flexibilitätskosten. Dabei unterscheidet er grundsätzlich zwischen zwei Kostenarten (vgl. Slack 1983, S. 7):

- den Kosten zur Durchführung der Anpassung (Flexibilität heißt nicht, dass die Anpassung an geänderte Bedingungen kostenneutral erfolgen muss) und
- den Kosten zur Vorhaltung der Anpassungsfähigkeit.

Als Maßzahlen für die Flexibilität der Fertigung werden unter anderem die Anzahl der Teile, die Zahl der Teilefamilien, die Umrüstzeiten (vgl. Ettl, Penner-Hahn 1994, S. 1446 f.) und die Materialhandlingskosten (vgl. Webster, Tyberghein 1980 S. 22) diskutiert. In der Logistik wären vergleichbare Maßstäbe die Anzahl unterschiedlicher Handhabungseinheiten oder die Anzahl von Varianten.

Webster und Tyberghein wählen als Maß für die Flexibilität des Layout einer Werkstattfertigung die Materialhandlingskosten, also die internen Kosten der Materialbewegung und Lagerung (vgl. Webster, Tyberghein 1980 S. 21 ff.). Anhand eines Fallbeispiels stellen sie eine Methode zur Bewertung der Flexibilität vor (vgl. Webster, Tyberghein 1980 S. 22 ff.). Diese beruht darauf, dass in mehreren möglichen Layouts und diversen Abfolgen von Rahmenbedingungen die jeweiligen Gesamtkosten einander gegenübergestellt werden, so dass das kostenminimale Layout ermittelt werden kann (vgl. Webster, Tyberghein 1980 S. 22). Die Schwierigkeit dieses Ansatzes liegt zum einen in der Ermittlung der Kosten für die einzelnen Transportarten und zum zweiten darin, dass die Kosten auch abhängig sind von Größen, zu denen keine Korrelation mit der Flexibilität des Layout besteht (bspw. Stundensätze bei menschlicher Arbeit, Anschaffungskosten von Anlagen, die auf die Anlagenlaufzeit umgelegt werden usw.; vgl. Webster, Tyberghein 1980 S. 28.)

Hanssmann definiert sehr allgemein Flexibilität als das Maß, in dem die reale Leistung eines Systems in einer Umwelt u der idealen, bei gleicher Umwelt u erreichbaren Leistung nahe kommt (vgl. Hanssmann 1993, 229.). Dieser Ansatz kommt eher einer Definition gleich, die hier als „schlank“ verstanden werden soll.

Robustheit

Robustheit wird in der Literatur als Unempfindlichkeit eines Systems oder Objekts gegenüber Umwelteinflüssen verstanden (vgl. Scholl 2001, S. 93). Die Robustheit kann sich dabei auf verschiedene Aspekte, wie zum Beispiel Ergebnisse, Zulässigkeiten oder Qualität, beziehen (vgl. Scholl 2001, S. 99 ff.).

Goren und Sabuncuoglu (vgl. Goren, Sabuncuoglu 2008, S. 66 ff.) diskutieren Kennzahlen für robuste und stabile Ablaufpläne in einer Ein-Maschinen-Umgebung. Der Fokus liegt in dieser Betrachtung auf der Fertigung (vgl. Goren, Sabuncuoglu 2008, S. 66). Als Messgrößen werden

$$\begin{aligned} R_1 &= E \left[\max_i c_i^r(s) \right] \\ R_2 &= E \left[\sum_{i=1}^n (c_i^r(s) - r_i) \right] \\ R_3 &= E \left[\sum_{i=1}^n \max(c_i^r(s) - d_i; 0) \right] \end{aligned} \quad [3]$$

definiert (vgl. Goren, Sabuncuoglu 2008, S. 66), wobei die Terme folgende Bedeutungen haben (vgl. Goren, Sabuncuoglu 2008, S. 69 f.)¹⁵:

- $c_i^r(s)$ ist die reale Bearbeitungszeit des i -ten Auftrags im Belegungsplan s ,
- r_i ist die Release Time,
- d_i sind die Due Dates,
- $\max_i c_i^r(s)$ ist dann die maximale Bearbeitungszeit,
- $\sum_{i=1}^n (c_i^r(s) - r_i)$ die Gesamtzeit für die Bearbeitung des Plans s und
- $\sum_{i=1}^n \max(c_i^r(s) - d_i; 0)$ die Verspätung.

In der Automatisierungstechnik wird unter *Robustheit* „...die Eigenschaft eines Regelkreises verstanden, vorgegebene Güteanforderungen trotz dynamischer Veränderungen

¹⁵ Die Bedeutung der Symbole gilt im Rahmen dieser Arbeit nur für Gleichung [3].

der Regelstrecke zu erfüllen“ (Lunze 2008, S. 218). Bezogen auf den Logistikkontext kann Robustheit also als das Maß für die Stabilität der Logistikleistung in einem dynamischen Umfeld definiert werden. Während die Schlankheit eine Aussage über die Effizienz eines Prozesses und die Flexibilität eine über das Prozessverhalten bei Umweltveränderungen ist, wird mit Hilfe der Robustheit eine Aussage über die Voraussagbarkeit und Steuerbarkeit eines Prozesses gemacht.

2.3 Operationalisierung der Anforderungen

Zur Operationalisierung einer Größe müssen Maßzahlen definiert werden, mit deren Hilfe sich der Grad der Ausprägung dieser Größe messen lässt. Grundsätzlich können zwei Arten von Messungen unterschieden werden:

- „Messung mit Hilfe von Indikatoren
- Messung auf der Grundlage der Wirkung“

(Jacob 1990, S. 25). Bei der Messung mit Indikatoren wird eine Maßzahl zur Messung einer Eigenschaft über eine dritte Größe definiert, die mit der zu messenden Eigenschaft in einem a) wohldefinierten und b) bekannten Zusammenhang steht (vgl. Jacob 1990, S. 26). Problematisch bei der Messung mit Hilfe von Indikatoren sind das Vorliegen der beiden Bedingungen a) und b) sowie die Frage, ob alle Facetten der ursprünglichen Größe durch den Indikator erfasst werden (vgl. Jacob 1990, S. 26). Ein Beispiel für die Messung mit Indikatoren ist die Inflationsrate. Dabei wird der Preis eines (statistisch wohldefinierten) Warenkorbs als Indikator für die allgemeine Preisveränderung genutzt (vgl. Statistisches Bundesamt 2010a, S. 5 ff.).

Die zweite Möglichkeit der Messung ist die Messung der Wirkung einer Größe. Dabei werden die Auswirkungen direkt erfasst (vgl. Jacob 1990, S. 26). Diese Methode soll im Folgenden für die Operationalisierung der Schlankheit, Flexibilität und Robustheit verwendet werden.

2.3.1 Ableitung von Kennzahlen mittels DLZ-Relationen

In Abschnitt 2.1.2 wurde ausgeführt, dass die Durchlaufzeit $DLZ(i)$ eines Auftrags i durch ein Logistiksystem S_L eine geeignete Eigenschaft zur Beschreibung des Systems ist. Die wesentlichen Anforderungen an Logistiksysteme wurden in Abschnitt 2.2 erarbeitet. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie die Anforderungen an die Schlankheit,

Robustheit und Flexibilität von Logistiksystemen mit Hilfe von Durchlaufzeitrelationen operationalisiert werden können.

Schlankheit

Die Kernidee des Toyota-Produktionssystems und dadurch auch der schlanken Produktion ist nach Ohno die Verkürzung des Zeithorizonts zwischen Auftragserteilung und Bezahlung des Auftrags, indem alles Überflüssige beseitigt wird (vgl. Ohno 2005, S. 15 f.).

Ein System wird dann als *lean* beschrieben, wenn es keinerlei Verschwendungen mehr enthält und keine Wartezeiten etc. auftreten. Übertragen auf die Durchlaufzeit bedeutet das, dass die Schlankheit eines Systems proportional zum Verhältnis der Ist-Durchlaufzeit zur minimalen Durchlaufzeit ist. Man kann eine Maßzahl für die Schlankheit L folgendermaßen definieren:

$$L = \left(\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} \quad [4]$$

Die Ist-Durchlaufzeit des Auftrags i $DLZ_{Ist}(i)$ entspricht im Mittel dem Erwartungswert der Durchlaufzeit $E(DLZ)$. Die minimale Durchlaufzeit DLZ_{Min} ist die Summe aller Bearbeitungszeiten T_B der Teilprozesse, aus denen der logistische Gesamtprozess besteht. Wenn es beim Übergang zwischen diesen Teilprozessen und während der Durchführung der Teilprozesse zu keinerlei Wartezeiten kommt, erreicht man die systembedingte, minimale Durchlaufzeit. Aus diesen Bedingungen wird ersichtlich, dass stets gilt:

$$E(DLZ) \geq DLZ_{Min} \quad [5]$$

Durch [4] lässt sich zeigen, dass der höchste erreichbare Grad von Schlankheit 1 ist. Denn wenn gilt, dass

$$E(DLZ) = DLZ_{Min} \quad [6]$$

ist, dann gilt

$$L = \left(\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} = 1 \quad [7]$$

und wenn

$$E(DLZ) > DLZ_{Min} \quad [8]$$

ist, gilt

$$L = \left(\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} < 1 \quad [9]$$

Somit ist der Wertebereich $L = (0, 1]$. Grundsätzlich wäre auch die Definition der Maßzahl von L als Reziproke der Gleichung [4] möglich. Der Wertebereich wäre in diesem Fall zwischen $[1; \infty)$ definiert. Im Hinblick auf die Praktikabilität der Maßzahl scheint ein Wertebereich $(0, 1]$ besser geeignet zu sein.

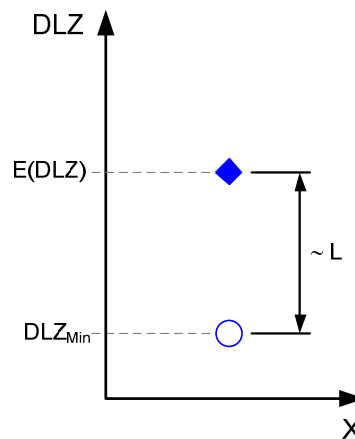


Abbildung 8: Schlantheit

Häufiges Ziel von Lean-Initiativen ist die Verringerung von Beständen. Auch dies würde durch die Kennzahl L , wie in [5] definiert, berücksichtigt. Über das Gesetz von Little (vgl. Little 1961, S. 383 ff.) kann man zeigen, dass gilt¹⁶:

$$DLZ = \frac{\text{Umlaufbestand}}{\text{Durchsatz}} \quad [10]$$

Wenn bei konstantem Durchsatz der Umlaufbestand sinkt, nimmt die Durchlaufzeit DLZ ab, und der Wert von L wird größer.

Robustheit

Davon ausgehend, dass Robustheit die Unempfindlichkeit eines Systems gegenüber inneren und äußeren Störungen bedeutet, ist die Konstanz der Durchlaufzeit eines

¹⁶ Siehe auch Fußnote 8 auf S. 21.

logistischen Prozesses über einen Zeitraum T_i innerhalb eines bestimmten Betrachtungszeitraums ein Maß für die Robustheit eines Systems.

Die Veränderungen der Durchlaufzeit lassen sich auch als Standardabweichung der Durchlaufzeiten des logistischen Systems darstellen. Dabei gelten:

$$\mu_{DLZ} = E(DLZ) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DLZ_i \quad [11]$$

und

$$\sigma_{DLZ} = \sqrt{D^2(DLZ)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (DLZ_i - E(DLZ))^2} \quad [12]$$

mit dem Wertebereich

$$\sigma_{DLZ} = [0; \infty] \quad [13]$$

Damit wäre σ_{DLZ} eine Maßzahl für die Robustheit R eines Systems. Dabei ist offensichtlich, dass die Robustheit eines Systems umso geringer ist, je größer σ_{DLZ} ist. Man kann dann schreiben:

$$R = \frac{1}{1 + \sigma_{DLZ}} \quad [14]$$

Damit hat R den Wertebereich $(0; 1]$. Wenn die Standardabweichung der Durchlaufzeit 0 entspricht, es also keinerlei Differenz zwischen einem Einzelwert und dem Erwartungswert gibt, wird die Robustheit 1. Je stärker und je mehr Einzelwerte vom Erwartungswert abweichen, desto mehr nähert sich der Grad der Robustheit 0 an. Abbildung 9 zeigt eine grafische Veranschaulichung der Definition von R .

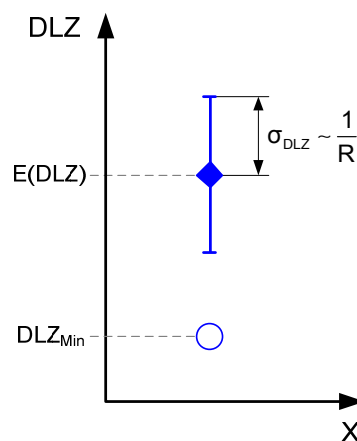


Abbildung 9: Robustheit

Flexibilität

Die Flexibilität sei die Anpassungsfähigkeit eines Systems an geänderte Rahmenbedingungen U (vgl. Ettlé, Penner-Hahn 1994, S. 1451 f.). Dabei seien U_i diejenigen Rahmenbedingungen, die im Zeitintervall T_i herrschen. Als Rahmenbedingungen seien dabei alle Größen definiert, die die Systemumwelt beschreiben. Eine die Systemumwelt beschreibende Größe u kann beispielsweise der Produktmix oder das Arbeitszeitmodell sein. Allgemein lässt sich U definieren als:

$$U_i := (u_1, u_2, \dots, u_n) \quad [15]$$

Es sei

$$E(DLZ(U_i)) = E(DLZ^{U_i}) \quad [16]$$

der Erwartungswert der Durchlaufzeit unter den Rahmenbedingungen i und

$$DLZ_{Min}(U_i) = DLZ_{Min}^{U_i} \quad [17]$$

die optimale bzw. minimale Durchlaufzeit unter den Rahmenbedingungen i . Bei Änderungen der Rahmenbedingungen können sich nun sowohl der Mittelwert und die Standardabweichung als auch der Optimalwert der Durchlaufzeit ändern.

Die Flexibilität lässt sich demnach nur als Potenzial zwischen zwei Randbedingungen angeben. Es sei

$$F(U_i \rightarrow U_j) = F_{ij} \quad [18]$$

Das Verhältnis des Quotienten von Erwartungswert und optimaler Durchlaufzeit unter zwei Umweltbedingungen U_1 und U_2 ist dann ein Maß für die Flexibilität des Systems:

$$F_{ij} = \frac{\frac{E(DLZ^{U_i})}{DLZ_{Min}^{U_i}}}{\frac{E(DLZ^{U_j})}{DLZ_{Min}^{U_j}}} = \frac{E(DLZ^{U_i}) \cdot DLZ_{Min}^{U_j}}{DLZ_{Min}^{U_i} \cdot E(DLZ^{U_j})} \quad [19]$$

Für die Entwicklung der Größen, die in die Flexibilität eingehen, gibt es elf verschiedene Möglichkeiten, die einander in Tabelle 1 gegenüber gestellt sind (vgl. auch Abbildung 10).

Tabelle 1: Szenarien Flexibilität

Fall	Veränderung der Größen beim Übergang von $U_i \rightarrow U_j$			
	$E(DLZ)$	DLZ_{Min}	$\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}}$	F_{ij}
a)	→	→	→	1
b)	↓	→	↓	> 1
c)	↑	→	↑	< 1
d)	→	↓	↑	< 1
e)	→	↑	↓	> 1
f)	↑	↑	→	1
g)	↓	↓	→	1
h)	↑	↑	↑	> 1
i)	↓	↓	↓	< 1
j)	↑	↓	↓	> 1
k)	↓	↓	↑	< 1

Legende: ↑: Größe nimmt zu $X^i < X^j$
 →: Größe ist konstant $X^i = X^j$
 ↓: Größe nimmt ab $X^i > X^j$

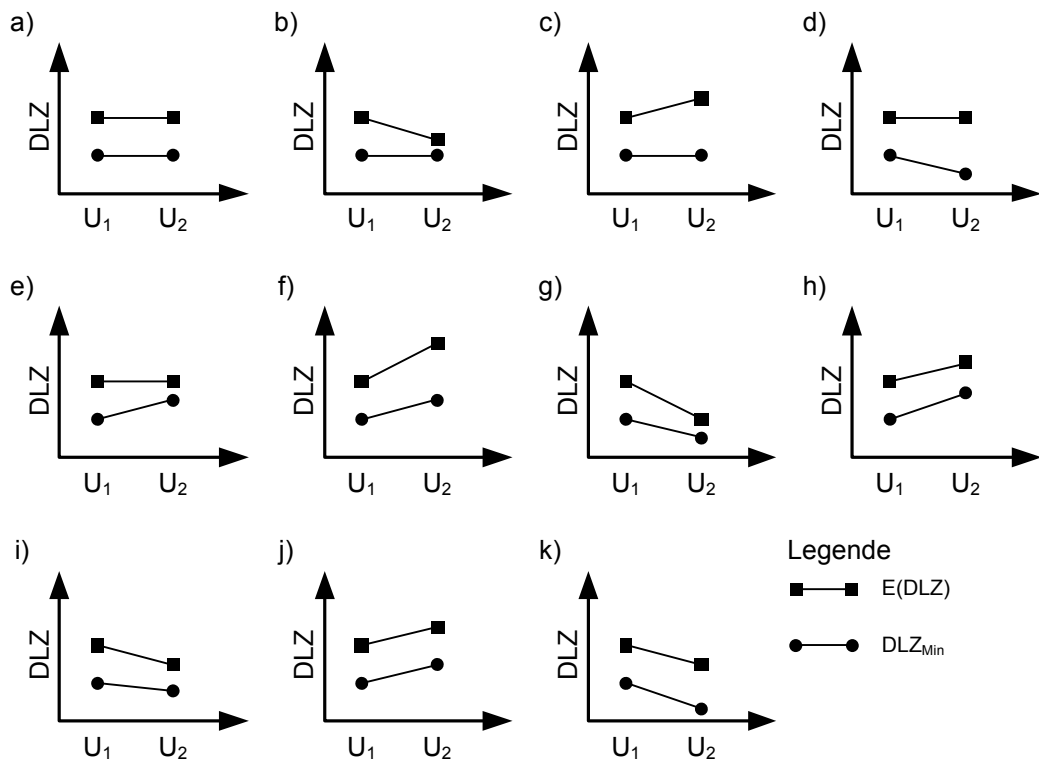


Abbildung 10: Szenarien der Änderung der Umweltbedingungen

Es lässt sich zeigen, dass

$$F_{ij} = F_{ji}^{-1} \quad [20]$$

gilt, denn

$$\begin{aligned}
F_{ij} &= \frac{E(DLZ^{U_i}) \cdot DLZ_{Min}^{U_j}}{DLZ_{Min}^{U_i} \cdot E(DLZ^{U_j})} \\
&= \left(\frac{DLZ_{Min}^{U_i} \cdot E(DLZ^{U_j})}{E(DLZ^{U_i}) \cdot DLZ_{Min}^{U_j}} \right)^{-1} \\
&= \left(\frac{E(DLZ^{U_j}) \cdot DLZ_{Min}^{U_i}}{DLZ_{Min}^{U_j} \cdot E(DLZ^{U_i})} \right)^{-1} \\
&= (F_{ji})^{-1} \\
&= F_{ji}^{-1}
\end{aligned} \tag{21}$$

Damit soll die Maßzahl für die Flexibilität folgendermaßen definiert werden

$$F = \begin{cases} F_{ij} \Leftrightarrow F_{ij} \leq 1 \\ F_{ji} \Leftrightarrow F_{ij} > 1 \end{cases} \tag{21}$$

Durch die Definition [21] wird erreicht, dass der Wertebereich von F auf $(0;1]$ begrenzt wird.

In gleicher Weise wie als Potential zwischen dem Grad der Schlankheit zweier Umweltzustände, lässt sich die Flexibilität auch über den Unterschied des Grades der Robustheit dieser beiden Umweltzustände definieren. Zur Unterscheidung der beiden Arten der Flexibilitätsbestimmung, sei F_L die Flexibilität bezogen auf die Schlankheit und F_R die Flexibilität bezogen auf die Robustheit. Analog zu [19] kann F_R folgendermaßen definiert werden:

$$F_R = \frac{\frac{1}{1 + \sigma_{DLZ}(u_1)}}{1 + \sigma_{DLZ}(u_2)} = \frac{1 + \sigma_{DLZ}(u_2)}{1 + \sigma_{DLZ}(u_1)} \tag{22}$$

Damit lässt sich F als Funktion $f(R,L)$ folgendermaßen schreiben:

$$F = f(R,L) = (F_L, F_R) = \begin{cases} F_L = \frac{\left(\frac{E(DLZ(u_1))}{DLZ_{Opt}(u_1)} \right)^{-1}}{\left(\frac{E(DLZ(u_2))}{DLZ_{Opt}(u_2)} \right)^{-1}} = \frac{L_1}{L_2} \\ F_R = \frac{\frac{1}{1 + \sigma_{DLZ}(u_1)}}{1 + \sigma_{DLZ}(u_2)} = \frac{R_1}{R_2} \end{cases} \tag{23}$$

In Abbildung 11 sind die Relationen aus [23] grafisch veranschaulicht.

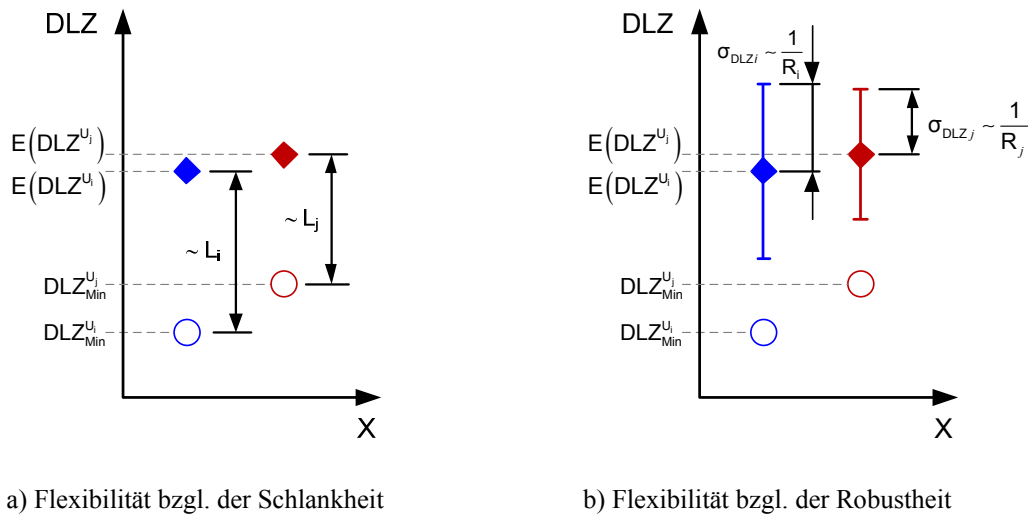


Abbildung 11: Flexibilität

Verallgemeinerung

In Abschnitt 2.1.1 wurde dargelegt, dass in einer Fabrik stets eine Vielzahl von logistischen Subsystemen vorhanden ist. Für eine relative Beurteilung der Güte eines Subsystems bietet sich der Vergleich mit ähnlichen Systemen an. Vergleichsobjekte können sowohl andere Systeme als auch dasselbe, nur zu einer anderen Zeit, sein. Die mathematisch definierten Maßzahlen für R , L und F (vgl. [4], [14] und [23]) sind dazu gut geeignet, weil der Wertebereich aller drei auf $(0;1]$ normiert ist. Auf diese Weise lässt sich zum einen eine Aussage über die kurzfristige (tägliche, wöchentliche) Performance des Logistik(sub)systems treffen (es entsteht eine Zeitreihe), und zum anderen können auch mehrere (Sub-)Systeme miteinander verglichen werden.

Bei der bisherigen Definition der Maßzahlen ist ein Vergleich zwar grundsätzlich möglich, jedoch erschwert. Vor allem bei den Standardabweichungen kommt es häufig vor, dass größere Mittelwerte mit größeren Werten der Varianz einhergehen. Durch eine Normierung der einzelnen Werte kann eine einfache Vergleichbarkeit erreicht werden. Zur Normierung kann DLZ_{Min} oder eine Zielgröße für die mittlere Durchlaufzeit DLZ_Z verwendet werden:

$$\widehat{DLZ}_i = \frac{DLZ_i}{DLZ_Z} \quad [23]$$

$$v_{DLZ} = \widehat{\sigma}_{DLZ_i} = \frac{\sigma_{DLZ_i}}{DLZ_i}$$

DLZ_Z scheint die geeignete Größe zu sein, da dadurch gleichzeitig ein Zielwert für L vorgegeben und in einer grafischen Darstellung mit den Maßen für L und R verglichen werden kann.

2.3.2 Visualisierung der Maßzahlen

Darstellungsformen

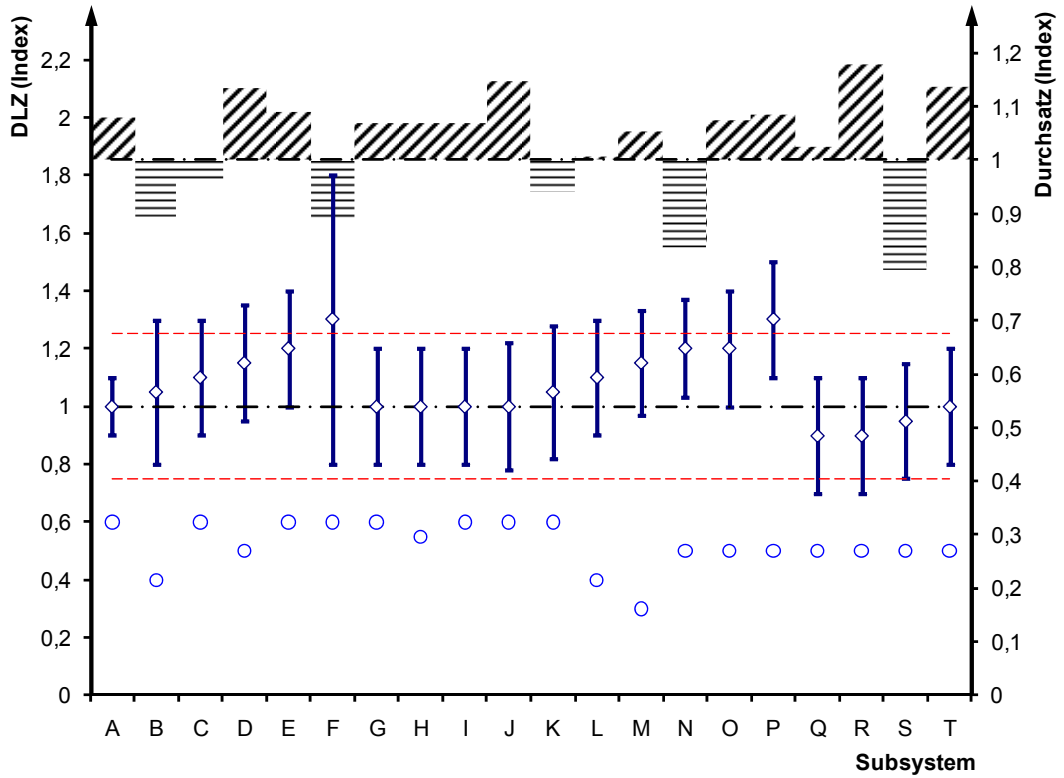
Die Visualisierung von Einzelwerten ist mit den in den Abbildungen 8, 9 und 11 verwendeten Darstellungen möglich. Die Aussagekraft ist jedoch gering, da wegen des fehlenden Kontextes nur eine absolute Abschätzung hinsichtlich der Qualität der dargestellten Größen möglich ist. Die Aussagekraft kann gesteigert werden, wenn der Zustand des Systems mit dem anderer Subsysteme verglichen wird oder über mehrere Zeitperioden beschrieben wird. In Abbildung 12 sind die mit dem langfristigen Erwartungswert der Durchlaufzeit $\hat{E}(DLZ)$ normierten Größen $E(DLZ)$, σ_{DLZ} und DLZ_{Min} für 22 Subsysteme (A...T) abgetragen.

Bei hinreichend vielen durchgeführten Prozessen i kann man davon ausgehen, dass DLZ_i normalverteilt ist (vgl. Ross, Heinisch 2006, S. 186; Bortz 2005, S. 79). Bei Normalverteilung gilt, dass im Wertebereich $E(DLZ) \pm \sigma_{DLZ}$ 68,27 % aller DLZ_i liegen und im Wertebereich $E(DLZ) \pm 2\sigma_{DLZ}$ 95,75 % und im Bereich $E(DLZ) \pm 3\sigma_{DLZ}$ 99,73 % aller DLZ_i liegen. Existiert nun eine maximal zulässige/gewünschte Durchlaufzeit DLZ_{Max} , so kann man mit der Faustformel (vgl. Ross, Heinisch 2006, S. 30 f.)

$$\Delta = \frac{DLZ_{Max} - X}{3} \quad [24]$$

ermitteln, wie hoch σ_{DLZ} im Prozess sein sollte. Δ lässt sich nun ebenfalls in das Diagramm als $X \pm \Delta$ eintragen (siehe Abbildung 12). Weiterhin ist in der Darstellung noch der Durchsatz der Systeme eingezeichnet (um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde der Ist-Durchsatz (DS) mit dem Soll-Durchsatz normiert).

Nicht nur für den Vergleich verschiedener Subsysteme miteinander, sondern auch für den Vergleich, wie sich ein Subsystem in mehreren Zeitperioden (bspw. Tagen) darstellt, ist die Variante geeignet (siehe Abbildung 13). Die Angabe des Durchsatzes erfolgt hier in absoluten Einheiten.



Legende: \circ DLZ_{Min} \diamond $E(DLZ)$ T σ_{DLZ} // $DS_{ist} > E(DS)$ --- $DS_{ist} < E(DS)$
 - - - - Obere und untere Eingriffsgrenze - - - - Zielwert

Abbildung 12: Vergleichende Darstellung der Performance mehrerer Subsysteme

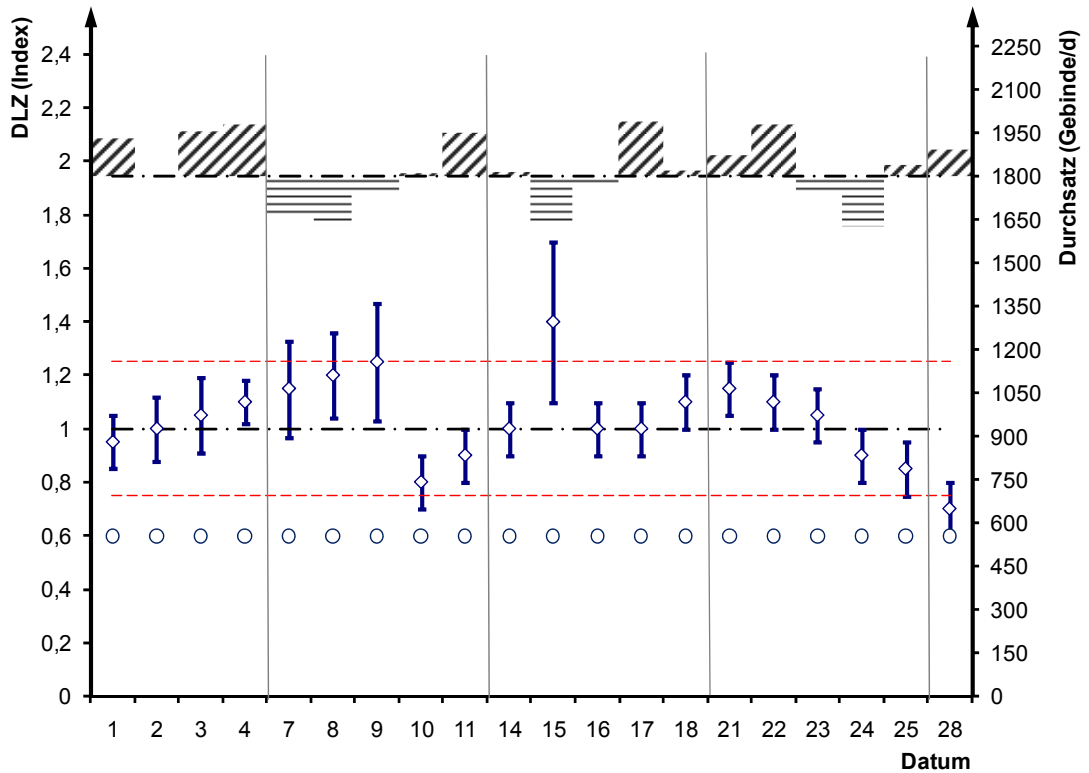


Abbildung 13: Vergleichende Darstellung der Performance im Zeitverlauf

Interpretation der grafischen Darstellungen

Für die Interpretation der Entwicklung der Messwerte im Zeitverlauf können die gleichen Regeln wie bei der Trendanalyse von Qualitätsregelkarten angewendet werden (vgl. im Detail Linß 2011, S. 362 f.).

Die in Abbildung 12 gezeigten Systemzustände lassen sich folgendermaßen interpretieren: System A ist in einem stabilen Zustand. Die Schlankheit und die Robustheit sind im Rahmen der zulässigen Werte. Beim System F scheint es Probleme gegeben zu haben. Der Soll-Durchsatz wurde nicht erreicht. In Verbindung mit der großen Schwankungsbreite von σ_{DLZ} und dem stark von 1 abweichenden Mittelwert der Durchlaufzeit deutet dies auf Störungen im System hin.

Die grundsätzlichen Aussagen zur Interpretation der Darstellung verschiedener Systeme zu einem bestimmten Zeitpunkt lassen sich auch auf die Darstellung des gleichen Systems zu unterschiedlichen Zeiten übertragen. Hier kommt jedoch auch dem Verlaufsaspekt der Einzelwerte eine Bedeutung zu. Man kann bspw. in Abbildung 13 sehen, dass das betrachtete System vom dritten bis zum neunten Tag immer stärkere Abweichungen aufweist, die ab dem siebten Tag dazu führen, dass der geforderte Durchsatz nicht mehr erreicht wird.

2.3.3 Berücksichtigung von Kostenaspekten

Bei betriebswirtschaftlichen Betrachtungen sind Kostenaspekte immer von großem Interesse. Im Abschnitt 2.3.1 wurde dargelegt, wie die Anforderung hinsichtlich Schlankheit, Flexibilität und Robustheit an das System mit Hilfe der Durchlaufzeit operationalisiert werden können. Da allen Definitionen der drei Maßzahlen die Durchlaufzeit zugrunde liegt, ist es naheliegend zu untersuchen, wie die Durchlaufzeit mit einer Kostengröße in Beziehung zu setzen ist.

Die Grundidee für die Verknüpfung mit den Kostengrößen ist die, dass es verschiedene Bestandteile der Durchlaufzeit gibt, wie zum Beispiel Bearbeitungszeit, Transportzeit oder Liegezeit. Die Durchlaufzeit eines (Sub)Systems setzt sich aus den Durchlaufzeiten der entsprechenden (Sub)Subsysteme zusammen. Diese sind nun so fein zu untergliedern, dass sich die DLZ des Subsystems i nur noch aus einer DLZ-Art ergibt. Dies kann beispielsweise analog zur MTM-Methode¹⁷ erfolgen. Für ein Subsystem i lässt

¹⁷ Für eine detaillierte Einführung in die MTM-Vorgehensweise sei auf Bokranz, Landau 2006, S. 107 ff. verwiesen.

sich dann ein zeit- und ggf. nutzungsabhängiger Kostenfaktor festlegen. Durch Multiplikation der Kostenfaktoren mit den jeweiligen Durchlaufzeiten erhält man die Kosten des Subsystems und durch Addition der Kosten der Subsysteme schließlich die Gesamtkosten des Logistiksystems.

Das geschilderte Vorgehen bietet eine Möglichkeit, direkte Kostenaspekte auszuwerten, wengleich es aufgrund der benötigten Daten in der betrieblichen Praxis nur schwierig einsetzbar ist.

2.4 Kennlinienverläufe der Kennzahlen

2.4.1 Schlankheit

Die Schlankheit L eines Prozesses ist definiert als das Verhältnis der minimalen Prozessdurchlaufzeit zum Erwartungswert der realen Durchlaufzeit (siehe Abschnitt 2.3.1 und Gleichung [4]):

$$L = \left(\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} \leq 1 \quad [25]$$

Zur Festlegung eines Zielzustands für den Parameter genügt damit die Definition eines Zielwerts für die mittlere Durchlaufzeit $E(DLZ)$ durch das Logistiksystem. Die minimale Durchlaufzeit DLZ_{Min} ist die technisch bedingte Durchlaufzeit und kann nicht ohne Systemänderungen unterschritten werden. Im Folgenden wird eine Methodik zur Bestimmung des optimalen Werts von $E(DLZ)$ aufgezeigt. Weiterhin wird dargelegt, dass für reale Systeme (im Gegensatz zu idealen) immer gilt:

$$E(DLZ)_{OPT} > DLZ_{Min} \quad [26]$$

Die Durchlaufzeit durch ein System ist abhängig von der Anzahl der sich in diesem System befindenden Aufträge. Es gilt nach Little (vgl. Little 1961, S. 383 ff.):

$$WIP = \lambda \cdot DLZ \quad [27]$$

Dabei ist WIP (Work in Process) der Umlaufbestand des Systems und λ (Abarbeitungsrate) ein Maß für die Leistung des Systems. Hier wird auch der Unterschied zur Robustheit (siehe Abschnitt 2.4.2) deutlich, die nicht abhängig vom WIP , sondern vom Bestand am Systemausgang (bzw. Eingang des Folgesystems) ist. Wenn Gleichung [27] nach der DLZ aufgelöst wird, ergibt sich:

$$DLZ = \frac{WIP}{\lambda} \quad [28]$$

Die Abarbeitungsrate oder auch Systemleistung λ ist ihrerseits wiederum eine Funktion vom *WIP* (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 34 f.):

$$\lambda = f(WIP) \quad [29]$$

Aus der Bedientheorie ist bekannt, dass in einem System die Systemleistung bei einem Bestand von 0 ebenfalls 0 ist, da ohne Aufträge keine Leistungen erbracht werden können. Mit zunehmender Zahl von Aufträgen steigt die Auslastung des Systems an, und die Leistung nähert sich dem technisch gegebenen Maximum. Wurde das Maximum erreicht, führt auch eine Erhöhung der Anzahl von Aufträgen (dies entspricht dem *WIP*) nicht zu einer Verbesserung der Leistung (im Sinne einer quantitativen Steigerung, siehe Abbildung 14).

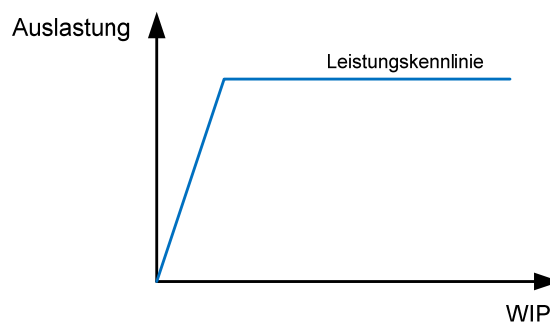


Abbildung 14: Ideale Leistungskennlinie in Abhängigkeit vom *WIP*¹⁸

Die Durchlaufzeit liegt im idealen Fall, sofern die Auslastung $< 100\%$ ist, bei annähernd DLZ_{Min} , da keine Wartezeiten etc. auftreten. Bei einer Vergrößerung des Bestands über eine Auslastungsgrenze von 100% hinaus nimmt die *DLZ* mit zunehmendem *WIP* linear gemäß Gleichung [28] zu (siehe Abbildung 15).

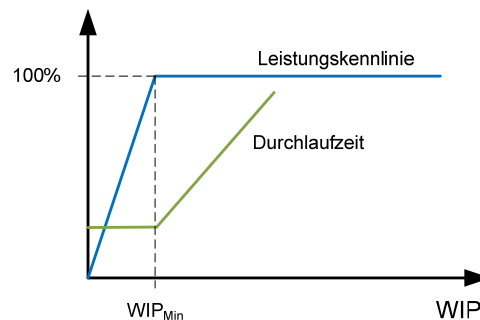


Abbildung 15: Verlauf der idealen Kennlinien¹⁹

¹⁸ Nach Nyhuis, Wiendahl 2002, S. 68

¹⁹ Ebenda.

Die Abknickpunkte der Leistungskennlinie und der Kennlinie der Durchlaufzeit liegen bei dem gleichen Wert des WIP . Der Abknickpunkt stellt somit im idealen Fall den optimalen Betriebspunkt des (idealen) Systems dar. Größere Bestände würden bei gleich bleibender Auslastung zu einem Anstieg der Durchlaufzeit und damit zu einem Absinken der Systemeffizienz führen. Geringere Bestände würden bei konstanter – da nicht mehr reduzierbarer – Durchlaufzeit eine geringere Auslastung und damit Leistungsverluste bedeuten²⁰ und ebenso auch zu einer geringeren Systemeffizienz führen. Im idealen Fall gilt demnach für $E(DLZ)_{Opt}$:

$$E(DLZ)_{Opt} = DLZ_{Min} \quad [30]$$

sowie für den anzustrebenden Grad der Schlankheit L :

$$L = \left(\frac{E(DLZ)}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} = \left(\frac{DLZ_{Min}}{DLZ_{Min}} \right)^{-1} = 1 \quad [31]$$

Am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (ifa) der Universität Hannover wurde in den vergangenen Jahren der Verlauf realer Leistungskennlinien untersucht (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003 145 ff.; Lödding 2005, S. 70 ff. u. a.), und auf idealen Kennlinien basierend wurden Gleichungen realer Kennlinien entwickelt. Die Abweichung zwischen der realen und der idealen Kennlinie ist im Abknickpunkt der Kennlinien am größten, während bei sehr geringen bzw. großen Beständen die ideale und die reale Kennlinie sehr nah beieinander liegen (vgl. Lödding 2005, S. 68). Auf Basis der C-Norm-Funktion (siehe Abbildung 16) wurde eine Parametergleichung zur Beschreibung der realen Leistungskennlinie entwickelt (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 69 ff. und S. 84; Verlauf siehe Abbildung 17):

$$WIP(L) = WIP_{Min} \left(\frac{\lambda_m}{\lambda_{Max}} + \alpha_1 \left(1 - \sqrt[4]{1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_{Max}}} \right)^4 \right) \quad [32]$$

²⁰ Damit macht auch eine Bestandsreduktion im Rahmen von KVP-Maßnahmen nur Sinn, wenn WIP_{Min} noch nicht erreicht wurde.

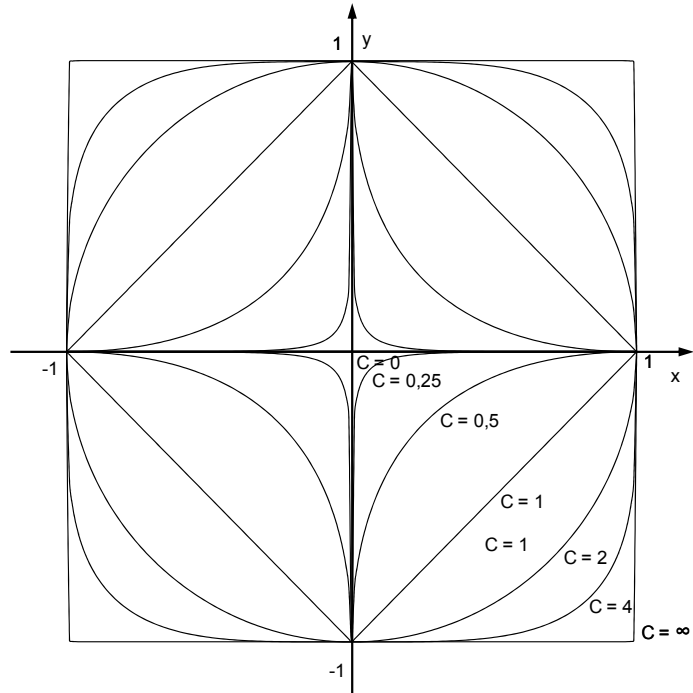


Abbildung 16: C-Norm-Funktion für verschiedene Werte von C^{21}

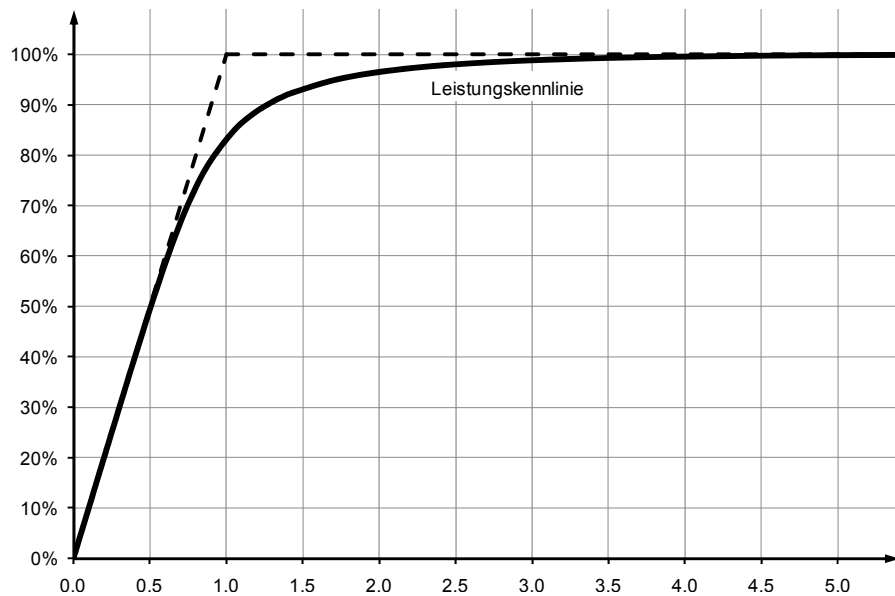


Abbildung 17: Verlauf der realen (normierten) Leistungskennlinie²²

Nyhuis und Wiendahl beschreiben sehr detailliert und an mehreren Stellen die Entwicklung der Parametergleichung für die Leistungskennlinie (vgl. u. a. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 72 ff.). Die Exaktheit der Leistungskennlinie nach Nyhuis wurde kontro-

²¹ Aus Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 72.

²² Nach Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 96.

vers diskutiert (vgl. u. a. Inderfurth, Schulz 2008, S. 23ff.), sie wird aber als Näherungsgleichung anerkannt (vgl. Inderfurth, Schulz 2008, S. 48).

Für die Kennlinie der Durchlaufzeiten gibt es diese Ableitung bisher nicht. Grundsätzlich kann sie ähnlich wie die der Leistungskennlinie erfolgen (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 84).

Exkurs: Ableitung der Kennlinie der Durchlaufzeit

Ausgangsbasis für die Ableitung der realen Kennlinie der Durchlaufzeit bildet die C-Norm-Funktion aus dem dritten Quadranten (vgl. zum methodischen Vorgehen Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 84 f., S. 72 ff. und siehe Abbildung 18a). Im ersten Schritt wird die Ausgangsfunktion

$$\left. \begin{aligned} x &= -x(t) \\ y &= y(t) = \sqrt[c]{(1-t)^c} \end{aligned} \right\} \quad [33]$$

um 1 in Richtung +x verschoben, und man erhält (siehe Abbildung 18b):

$$\left. \begin{aligned} x &= -x(t) + 1 = \tilde{x}(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad [34]$$

Anschließend ist die Funktion [34] an der idealen Übergangskennlinie zu scheren. Die Übergangskennlinie kann wie folgt beschrieben werden:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \Leftrightarrow x < 0 \\ m(x - x_1) & \Leftrightarrow x \geq 0 \end{cases} \quad [35]$$

Dabei ist x_1 der Abknickpunkt der Kennlinie. Das Ergebnis der Scherung lässt sich dann folgendermaßen formal darstellen (siehe Abbildung 18c):

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1 \left(\frac{1}{mx_1} \sqrt[c]{(1-t)^c} + \tilde{x}(t) \right) \\ &= x_1 \left(\frac{1}{mx_1} y(t) + \tilde{x}(t) \right) = x_1 \hat{x}(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad [36]$$

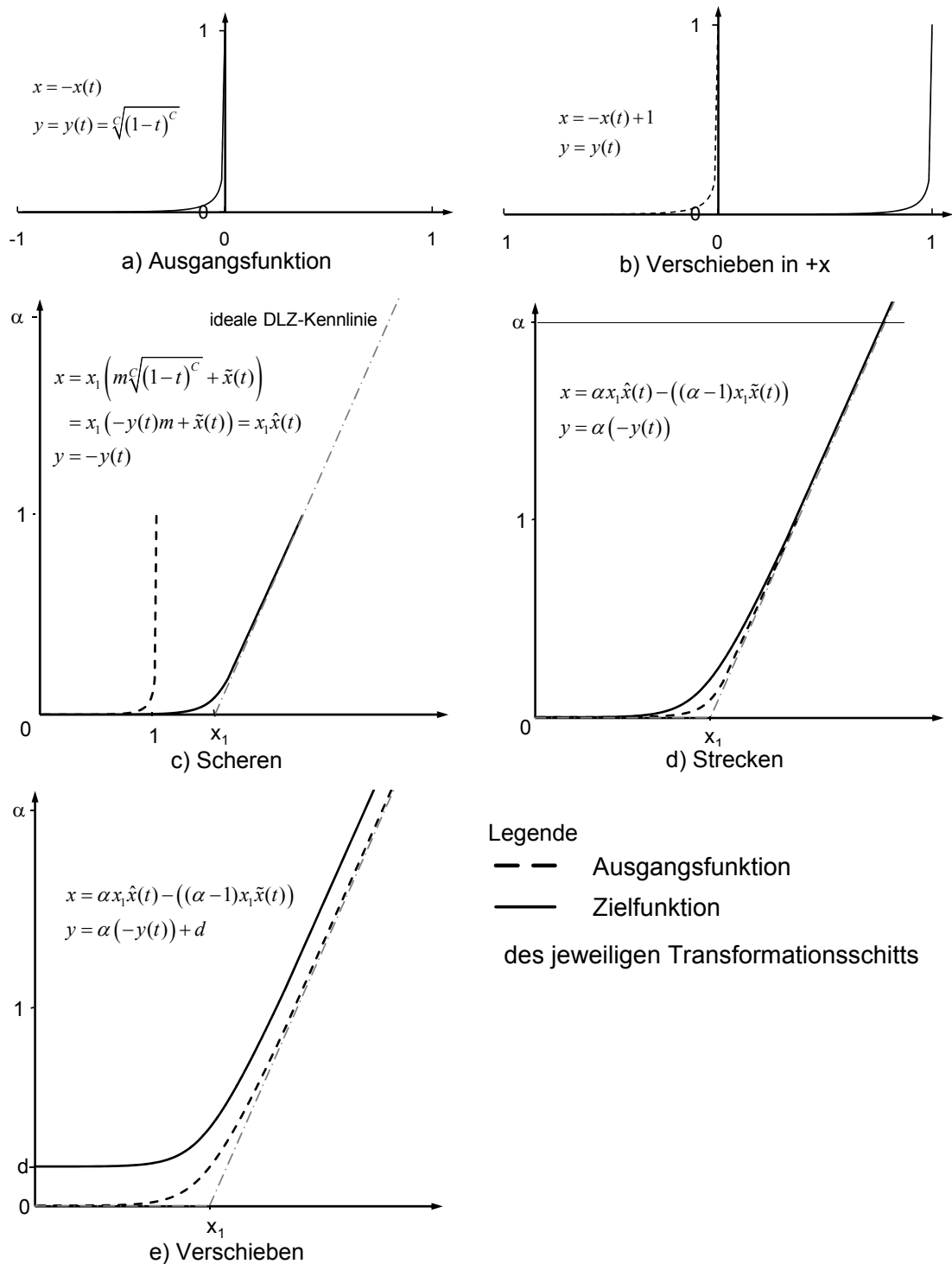


Abbildung 18: Transformationsschritte der Durchlaufzeitkennlinie

Nun ist die Funktion zu strecken. Der Streckfaktor ist β (siehe Abbildung 18d):

$$\left. \begin{aligned} x &= \beta x_1 \hat{x}(t) - ((\beta - 1)x_1 \tilde{x}(t)) \\ y &= \beta y(t) \end{aligned} \right\} \quad [37]$$

Abschließend ist die Funktion noch um d in $+y$ zu verschieben (siehe Abbildung 18e):

$$\left. \begin{aligned} x &= \beta x_1 \hat{x}(t) - (\beta - 1)x_1 \tilde{x}(t) \\ &= \beta x_1 (\hat{x}(t) - \tilde{x}(t)) + x_1 \tilde{x}(t) \\ y &= \beta y(t) + d \end{aligned} \right\} \quad [38]$$

Die Gleichung [38] wird durch vier Parameter bestimmt: β , x_1 , d und m . Diese können wie folgt interpretiert werden:

- x_1 (Lage des Abknickpunkts) Mindestbestand
- m Anstieg der DLZ für $x > x_1$
- d Bearbeitungszeit T_B
- β Streckfaktor

Die Lage des Abknickpunkts ergibt sich aus der Leistungskennlinie und ist die Stelle, ab der das ideale System zu 100 % ausgelastet wird. Der Anstieg m der Durchlaufzeitkennlinie ist abhängig von dem Variationskoeffizienten v_{DLZ} der Durchlaufzeiten der einzelnen Aufträge (vgl. Lödding 2005, S. 64). Er ist umso größer, je geringer die Robustheit R ist (und vice versa). Die Bearbeitungszeit (oder auch Durchführungszeit) T_B ist im Falle der Betrachtung von Produktionssystemen die Durchlaufzeit abzüglich von Warte- und Transportzeiten. Da hier jedoch Logistiksysteme betrachtet werden und der Transport eine der zentralen Aufgaben dieser Systeme ist, ist die Durchführungszeit T_B die Durchlaufzeit DLZ abzüglich der Wartezeiten T_W (vgl. auch [2]). Der Streckfaktor β der DLZ-Kennlinie ist – ähnlich wie der Streckfaktor α_1 der Leistungskennlinie – eine empirische Größe (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 83; Lödding 2005, S. 69). Mit β wird der Pufferbestand berücksichtigt, der unter realen Bedingungen notwendig ist, um die Leistungsfähigkeit des Systems zu gewährleisten (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 75). Da die Größe des Pufferbestands, wie in 2.4.2 gezeigt werden wird, direkt von R abhängig ist, ist auch der Wert von β von der Robustheit abhängig.

Wegen des in der Nähe des Abknickpunkts flacheren Verlaufs der Leistungskennlinie und des steileren Verlaufs der Durchlaufzeitkennlinie kommt es in diesem Übergangsbereich (im Vergleich zu den idealen Kennlinien) bei gleichem WIP zu geringeren Leistungen und längeren Durchlaufzeiten. Der Bereich mit einer Leistung bei ca. 98 % wird Übergangsbereich genannt (vgl. Lödding 2005, S. 74 und Abbildung 19). Dort werden hohe Leistungen bei moderat angestiegenen Beständen erreicht.

Für die Auswahl von $E(DLZ)$ bedeutet dies, dass bei Engpasssystemen ein Betriebspunkt im Übergangsbereich gewählt werden sollte, um das System optimal auszulasten.

Bei Nichtengpasssystemen empfiehlt sich die Wahl eines Betriebspunkts mit geringer Auslastung und kürzerer Durchlaufzeit bei kleinen Beständen.

Einen Anhaltspunkt für die Einplanung der Durchlaufzeiten liefert Lödning: „Um eine hohe Auslastung zu erreichen, sind Durchlaufzeiten einzuplanen, die dem drei- bis fünf-fachen der mittleren Durchführungszeit entsprechen.“ (Lödning 2005, S. 64). Die mittlere Durchführungszeit bei Lödning entspricht hier der minimalen Durchlaufzeit.

Trägt man die Kennlinie für die Eigenschaft Schlankheit in das Kennliniendiagramm ein (siehe Abbildung 20), kann man sehen, dass die reale Kennlinie von L im Abknickpunkt nur noch einen Wert von ca. 0,8 erreicht. Bei hoher Auslastung des Systems (mit Durchlaufzeiten, die dem Drei- bis Fünffachen von DLZ_{Min} entsprechen) ist nur noch ein Wert für die Schlankheit von 0,3 bis 0,2 erreichbar.

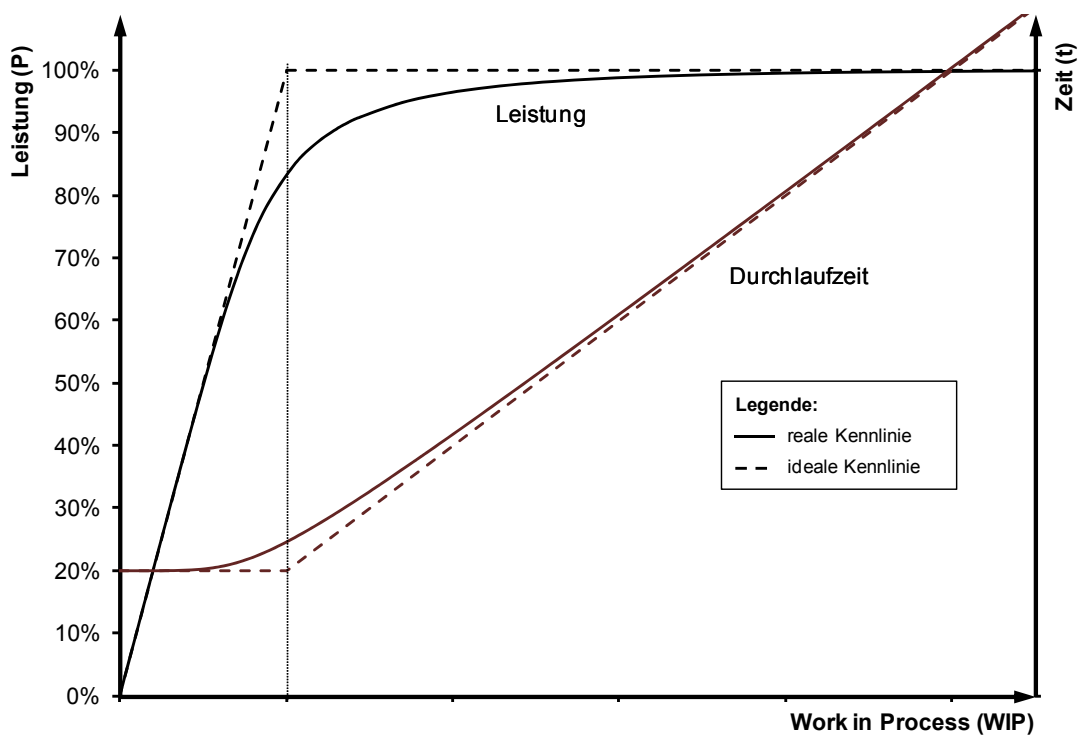


Abbildung 19: Verlauf der realen Kennlinien²³

²³ Nach Nyhuis, Wiendahl 2002, S. 96.

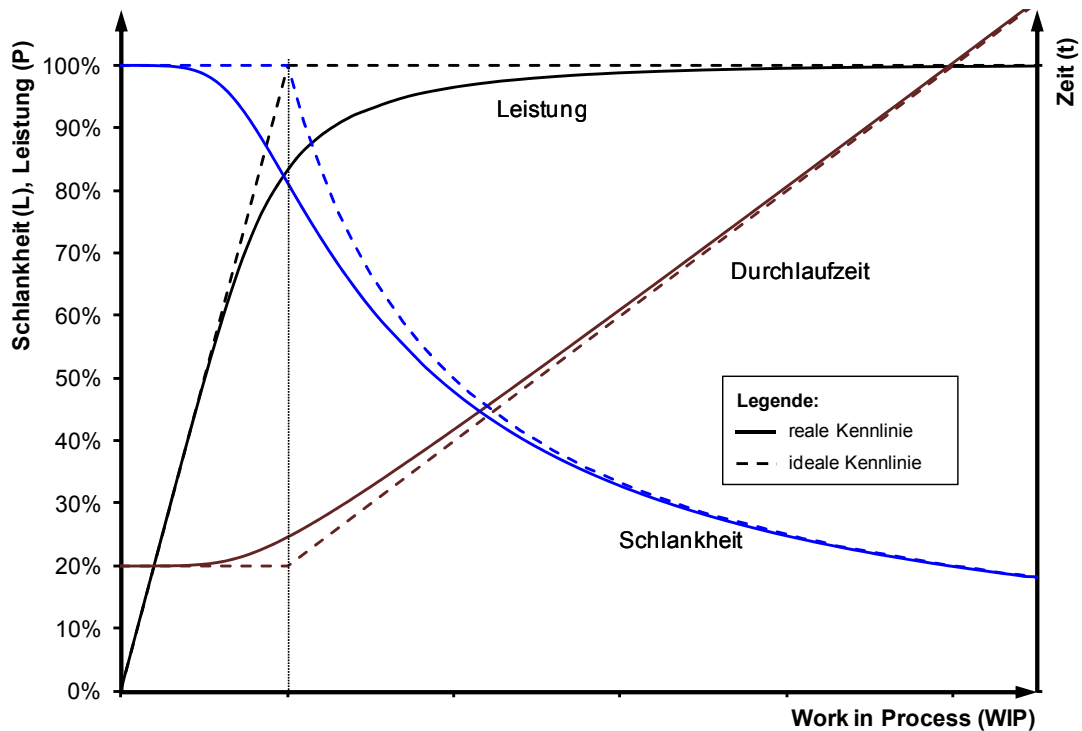


Abbildung 20: Verlauf der idealen und der realen Kennlinie der Schlankheit²⁴

2.4.2 Robustheit

Verhältnis der Robustheit (R) zum Bestand (B)

Die Robustheit (Empfindlichkeit eines Prozesses gegenüber Störungen) ist nach Definition (siehe Abschnitt 2.3.1) umgekehrt proportional zur Standardabweichung der Durchlaufzeiten dieses Prozesses. Grundsätzlich sind dabei zwei Ereigniskategorien denkbar:

- $DLZ > E(DLZ)$. Daraus folgt, dass die Bauteile später als erwartet (erwünscht) am Verbrauchsort²⁵ eintreffen. Es entsteht eine so genannte Fehlmenge. In der Folge kann es zu Ablaufstörungen in der Produktion kommen. Es gibt Studien die zeigen, dass im Bereich der Montage Fehlmengen mit 40-50% die häufigste Ursache für Störungen der Produktion sind (vgl. Esser 1996, S. 6 und Eversheim 1987, S. 2 und S. 112).
- $DLZ < E(DLZ)$. In diesem Fall erreichen die Bauteile früher als erwartet (gewünscht) den Verbrauchsort. Die Folge sind entweder Überbestände oder Ablaufstörungen in der Logistik, wenn die Transportgüter nicht abgegeben werden können.

²⁴ Eigene Darstellung auf Basis Abbildung 14 ergänzt um die Kennlinie für die Schlankheit.

²⁵ Ein Verbrauchsort kann jeder Ort in einem Betrieb sein, an dem die Bauteile in irgendeiner Form benötigt werden. Neben Produktionsarbeitsplätzen sind dies vor allem auch Kommissionierbereiche.

Zur Kompensation von Fehlmengen bzw. deren Auswirkungen können Sicherheitsbestände (B_S) aufgebaut werden. Dadurch können verspätete Anlieferungen durch Rückgriff auf den vorhandenen Bestand ausgeglichen werden. Die wesentlichen Nachteile dieser Sicherheitsbestände sind erhöhte Kapitalbindungskosten, Blockaden verbrauchsorther Flächen und das Verdecken von Prozessschwächen (vgl. u. a. Schulte 2009, S. 4 und Lödning 2005, S. 34). Zur Bemessung des Sicherheitsbestands wird im Folgenden ein Ansatz vorgestellt.

Zu frühe Lieferungen – der Antipode von Fehlmengen – führen zu größeren Beständen (B_Z). Zur Pufferung und zum Handling dieser Bestände sind am Verbrauchsort entsprechende Kapazitäten (Fläche, Personal, Betriebsmittel) vorzuhalten. Diese vorzuhaltenden Überkapazitäten haben, bis auf die Kapitalbindungskosten, die gleichen Folgen wie Sicherheitsbestände. Da die Ankunftsdaten zudem probabilistisch verteilt sind, sind Sicherheitsbestände und leere Kapazitäten gleichzeitig vorzuhalten. Zunächst sei dies allgemein als Bestandsvorhalt B_V definiert:

$$B_V = B_Z + B_S \quad [39]$$

Die Bestandsvorhaltung B_V dient dazu, Prozessstörungen zu kompensieren. Sie lässt sich demzufolge als Funktion der Standardabweichung σ_{DLZ} darstellen. Da die Standardabweichung aber indirekt proportional zur Robustheit ist, kann man die folgenden Überlegungen auch auf die Robustheit übertragen. Es gilt

$$B_V = f(\sigma_{DLZ}) \sim \frac{1}{R} \quad [40]$$

Für die Bestimmung des notwendigen Bestandsvorhalts ist jedoch auch der gewünschte Servicegrad α , der durch den vorgehaltenen Bestand abgesichert werden soll, notwendig. Alle Kombinationen von B und σ_{DLZ} , die sich auf der Kennlinie α befinden, stellen einen Servicegrad α sicher (Abbildung 21). Punkte, die sich nicht auf der Kennlinie befinden, sind ein anderes Niveau der Absicherung. Dabei ist das Verhältnis von B und σ_{DLZ} um einen konkreten Servicegrad α zu erreichen konstant. Wird die Streuung der Durchlaufzeit, ausgedrückt durch σ_{DLZ} n -fach größer, so muss auch B n -fach größer werden. Aus diesem Grund ist der Verlauf von α in Abbildung 21 linear.

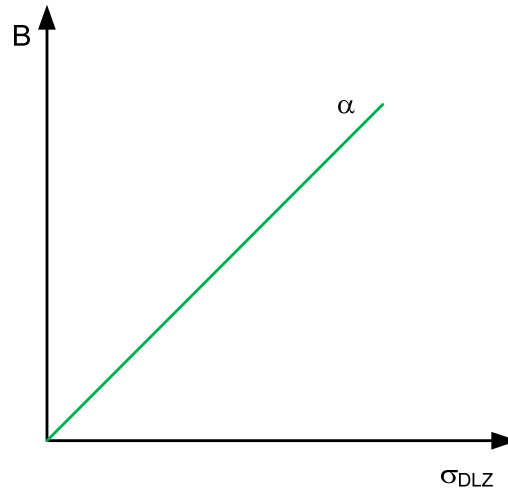


Abbildung 21: Koordinatensystem für die Bestimmung von R bei gegebenem α

Ableitung des Anstiegs von α ²⁶

Neben dem Bestand B ist der Servicegrad α eine Zielgröße des Unternehmens. Deswegen ist für einen gewünschten Servicegrad α_x von B die Steigung der Geraden α zu bestimmen.

Bei hinreichend vielen Einzelereignissen nähert sich die Verteilung der Durchlaufzeiten von Einzelereignissen gemäß dem zentralen Grenzwertsatz einer Normalverteilung²⁷ an. Die Dichtefunktion $\Phi(x)$ ist gegeben durch:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \quad [41]$$

Eine geschlossene Lösung des Integrals ist nicht möglich. Man kann die Dichtefunktion jedoch mit Hilfe der Gaußschen Fehlerfunktion $\text{erf}(x)$ beschreiben:

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \text{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \right) \quad [42]$$

Die Fehlerfunktion $\text{erf}(x)$ lässt sich durch eine Reihenentwicklung numerisch approximieren:

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot x^{2n+1}}{(2n+1)n!} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{10} - \frac{x^7}{42} + \dots \right) \quad [43]$$

Die erste Ableitung ist gleich der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung:

²⁶ Die folgenden Ausführungen basieren auf eigenen Überlegungen. Die statistischen Grundzusammenhänge können Standardlehrbüchern der Statistik entnommen werden.

²⁷ Später wird gezeigt, dass die Annahme einer Normalverteilung nicht notwendig ist. Sie vereinfacht jedoch das Verständnis der folgenden Erklärungen.

$$\Phi'(x) = \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad [44]$$

Der Verlauf der Verteilungs- und der Dichtefunktion der Normalverteilung ist für $x \geq 0$ in Abbildung 22 dargestellt.

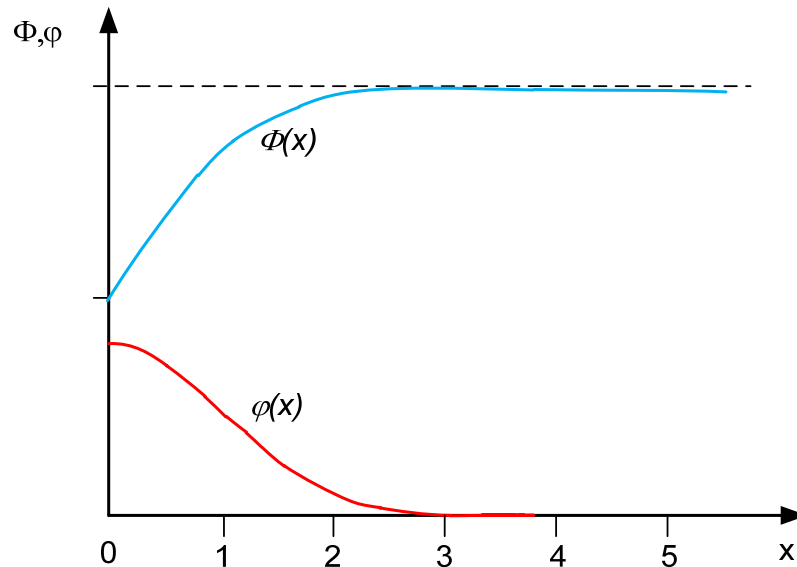


Abbildung 22: Grafische Darstellung des Verlaufs von $\Phi(x)$ und $\varphi(x)$

Der Servicegrad α ist ein Maß dafür, welcher Anteil aller Bedarfsanforderungen innerhalb eines definierten Zeitrahmens befriedigt werden kann (vgl. Gudehus 2011, S. 76). Die Wahrscheinlichkeit α , dass ein Ereignis innerhalb bestimmter Grenzen eintritt, lässt sich aus der Fläche unter der Verteilungsfunktion bzw. als Wert der Dichtefunktion ermitteln:

$$\begin{aligned} \alpha(x) &= \Phi(x) - \Phi(-x) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}x^2} dx - \int_{-\infty}^{-x} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^x e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \end{aligned} \quad [45]$$

(siehe auch Abbildung 23).

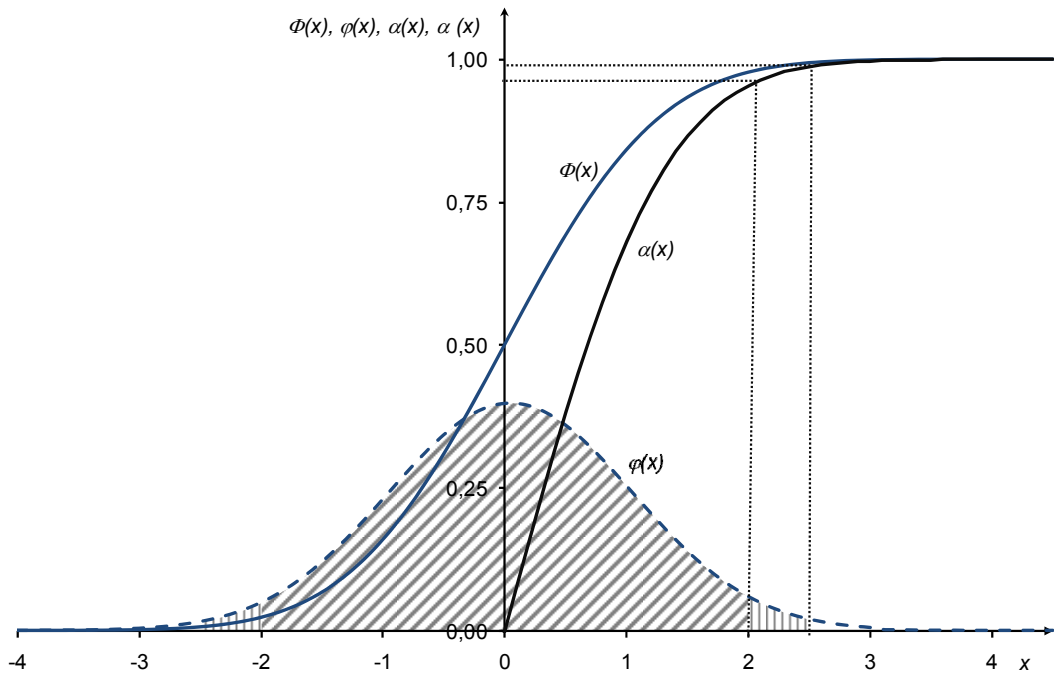


Abbildung 23: Veranschaulichung der Eintrittswahrscheinlichkeit als Fläche unter der Dichtefunktion für zwei Fälle

Auf Grundlage des in [45] dargestellten Zusammenhangs lässt sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis im Intervall $\pm x$ auftritt, wie in Abbildung 24 gezeigt visualisieren. In Abbildung 25 ist zu erkennen, wie sich daraus für bestimmte Anstiege das jeweilige Servicegradniveau ableiten lässt.

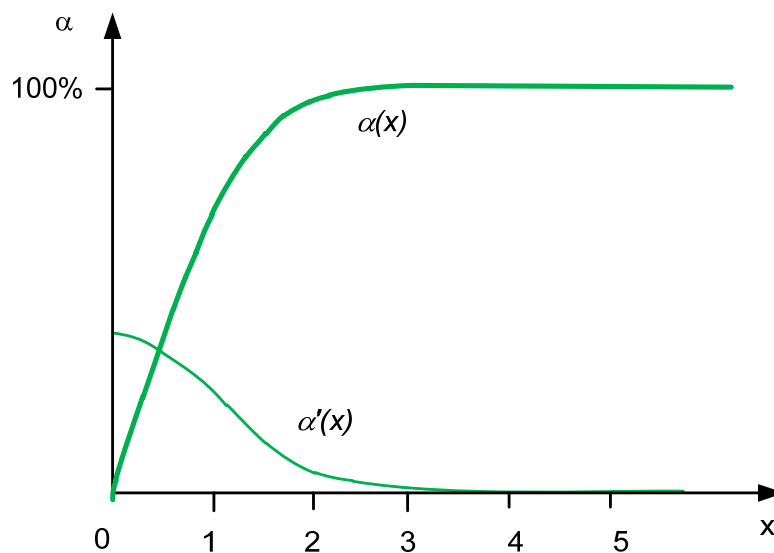


Abbildung 24: Grafische Darstellung des Verlaufs von $\alpha(x)$ und $\alpha'(x)$

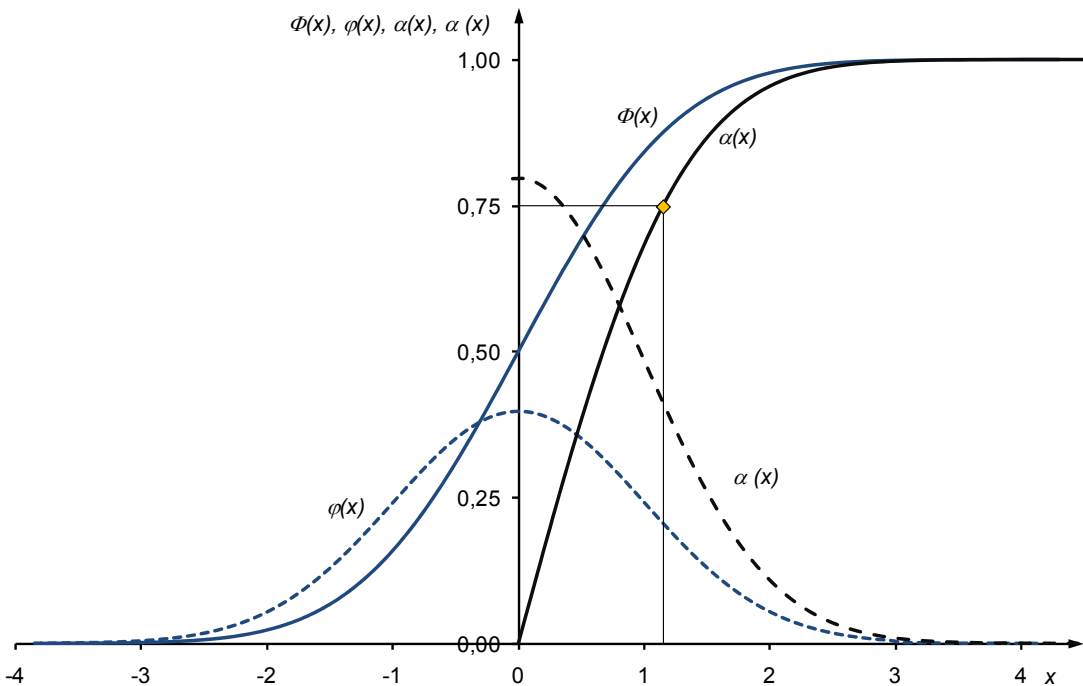


Abbildung 25: Ableitung des Anstiegs vom Niveau des Servicegrades

In Tabelle 2 sind einige charakteristische Werte von $\alpha(x)$ dargestellt. Dabei entspricht x dem Anstieg der Gerade, die in Abbildung 21 ein Servicegrad $\alpha(x)$ darstellt.

Tabelle 2: Einige charakteristische Werte für $\alpha(x)$

x	$\alpha(x)$
1	68,27%
2	95,27%
3	99,73%
6	99,99%

Schlussfolgerungen

Überträgt man nun diese Erkenntnisse in das B, σ_{DLZ} -Diagramm und zeichnet bestimmte $\alpha(x)$ aus, so kann man in Abhängigkeit von dem gewünschten Servicegrad α die notwendige Prozessstabilität σ_x bei gegebenem Bestandsvorhalt $B_I(\sigma_x, \alpha_x)$ (siehe Abbildung 26a) oder zu einer gegebenen Prozessstabilität σ die erforderlichen Sicherheitsbestände ermitteln (siehe Abbildung 26b).

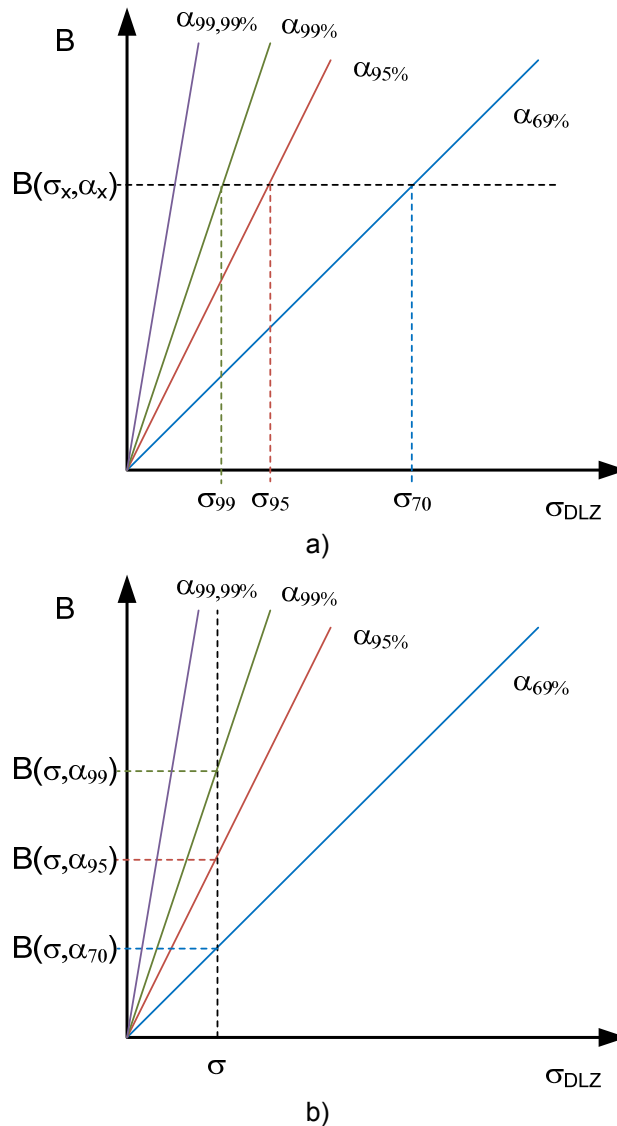


Abbildung 26: Bestimmung der notwendigen Prozessstabilität

Für den Anstieg m der in Abbildung 26 dargestellten Isoquanten gilt:

$$m(\alpha_{70\%}) : m(\alpha_{95\%}) : m(\alpha_{99\%}) : m(\alpha_{99,99\%}) = 1 : 2 : 3 : 6 \quad [46]$$

Daraus folgt: Bei konstantem Bestand $B_V(\sigma, \alpha) = \text{const.}$ gilt für die zulässige Standardabweichung der Durchlaufzeit in Abhängigkeit von dem gewünschten Servicegrad α :

$$\sigma(\alpha_{70\%}) = 2\sigma(\alpha_{95\%}) = 3\sigma(\alpha_{99\%}) = 6\sigma(\alpha_{99,99\%}) \quad [47]$$

und bei konstanter Standardabweichung $\sigma = \text{const.}$ ergeben sich in Abhängigkeit vom gewünschten Servicegrad α folgende Sicherheitsbestände:

$$B_V(\sigma, \alpha_{70\%}) = 2B_V(\sigma, \alpha_{95\%}) = 3B_V(\sigma, \alpha_{99\%}) = 6B_V(\sigma, \alpha_{99,99\%}) \quad [48]$$

Über eine Kosten-Nutzen-Analyse kann der optimale Servicegrad ermittelt werden. Wie in Abbildung 24 dargestellt, nimmt der Grenzzuwachs des Servicegrades bei konstanten

Δx stark ab. Da x jedoch gemäß [48] linear in die Bemessung des notwendigen Sicherheitsbestands bzw. gemäß [47] ebenfalls linear in die notwendige Prozessstabilität eingeht, gibt es – abhängig von den konkreten betrieblichen Gegebenheiten – einen optimalen Servicegrad α_{opt} , der bei der Bestimmung der erforderlichen Robustheit heranzuziehen ist.

Damit ist B_V bestimmt. Aufgrund der angenommenen Normalverteilung der Durchlaufzeiten gilt:

$$\int_a^b g(x)dx = \int_{-b}^{-a} g(x)dx \quad [49]$$

Daraus folgt unmittelbar, dass

$$\frac{B_V}{2} = B_Z = B_S \quad [50]$$

gilt. Das bedeutet, dass der notwendige Bestand bei gegebenem Servicegrad und entsprechender Robustheit (Abbildung 26a) bzw. dass der gegebene Bestand bei gegebenem Servicegrad und notwendige Robustheit jeweils zur Hälfte zur Kompensation von Fehlmengen und zur Hälfte zur Kompensation von Überbeständen dient.

Bei der Ableitung wurde oben von einer Normalverteilung der Durchlaufzeiten ausgegangen. Wegen der Symmetrieeigenschaft bzgl. $E(DLZ)$ waren B_Z und B_S gleich zu dimensionieren. In der Praxis können aber auch nichtsymmetrische, links bzw. rechtschiefe Verteilungen der Durchlaufzeit auftreten. In diesem Fall muss für das Verhältnis von B_Z und B_S gelten:

$$\frac{B_Z}{B_S} = \frac{\int_{-x_1}^0 \varphi(x)dx}{\int_0^{x_1} \varphi(x)dx} \quad [51]$$

Entspricht das Verhältnis von B_Z und B_S dem nicht, so sind der erreichbare Servicegrad und in Folge auch die Robustheit geringer. Maßgeblich ist dabei die Bestandsgröße, die zu gering dimensioniert wurde.

2.4.3 Flexibilität

Die Flexibilität (F) eines Prozesses ist eine zweidimensionale Größe und beschreibt die Veränderung der Größen Robustheit R und Schlankheit L bei einer Änderung der Rahmenbedingungen U (vgl. auch [23]):

$$F = f(R, L) = (F_L, F_R) = \begin{cases} F_L = \frac{\left(\frac{E(DLZ(u_1))}{DLZ_{Opt}(u_1)}\right)^{-1}}{\left(\frac{E(DLZ(u_2))}{DLZ_{Opt}(u_2)}\right)^{-1}} = \frac{L_1}{L_2} \\ F_R = \frac{\frac{1}{1 + \sigma_{DLZ}(u_1)}}{1 + \sigma_{DLZ}(u_2)} = \frac{R_1}{R_2} \end{cases} \quad [52]$$

Dabei sind jeweils die eingeschwungenen Zustände zu betrachten. Als dritte Dimension der Größe F kann zusätzlich noch die Zeitdauer betrachtet werden, die benötigt wird, um den eingeschwungenen Zustand zu erreichen.

Flexibilität im Kontext der Robustheit: F_R

Bezogen auf die Robustheit beschreibt die Flexibilität, wie stark sich die Robustheit des Prozesses verändert, wenn andere Umweltbedingungen gelten. Die auf die Robustheit eines Prozesses bezogene Flexibilität sei F_R . Da die Robustheit eines Prozesses direkten Einfluss auf die Größe der vorzuhaltenden Sicherheitsbestände (zur Kompensation einer zu späten Auftragserfüllung) und Pufferflächen (zur Kompensation einer zu frühen Auftragserfüllung) hat, ist anzunehmen, dass dies auch auf die Flexibilität zutrifft.

Bei gegebener Robustheit $\sigma(u_1)$ des Prozesses im Umweltzustand u_1 und gegebenem (Ziel)Servicegrad α_1 ergibt sich ein notwendiger Bestand $B(\sigma(u_1), \alpha_1)$ (siehe Abbildung 27a). Kommt es nun aufgrund einer Veränderung der Umweltbedingungen $u_1 \rightarrow u_2$ zu einer Veränderung der realisierten Robustheit $\sigma(u_2)$ mit

$$\sigma(u_1) < \sigma(u_2) \quad [53]$$

gibt es drei mögliche Konsequenzen:

1. Bei gleich bleibendem Servicegrad α : Der notwendige Bestandsvorhalt zur Kompensation von nicht termingerecht abgeschlossenen Aufträgen erhöht sich (siehe Abbildung 27b):

$$\alpha_1 = const \Rightarrow B_1 = B_V(\sigma(u_1), \alpha_1) < B_V(\sigma(u_2), \alpha_1) = B_2 \quad [54]$$

2. Bei gleich bleibender Bestandsvorhaltung B : Der erreichbare Servicegrad sinkt von α_1 auf α_{II} (siehe Abbildung 27c):

$$B_V = const \Rightarrow \alpha_1 < \alpha_{II} \quad [55]$$

3. Sowohl der Bestandsvorhalt als auch der Servicegrad verändern sich (siehe Abbildung 27d):

$$\begin{pmatrix} B_1 < B_n < B_2 \\ \alpha_B < \alpha_m < \alpha_A \end{pmatrix} \quad [56]$$

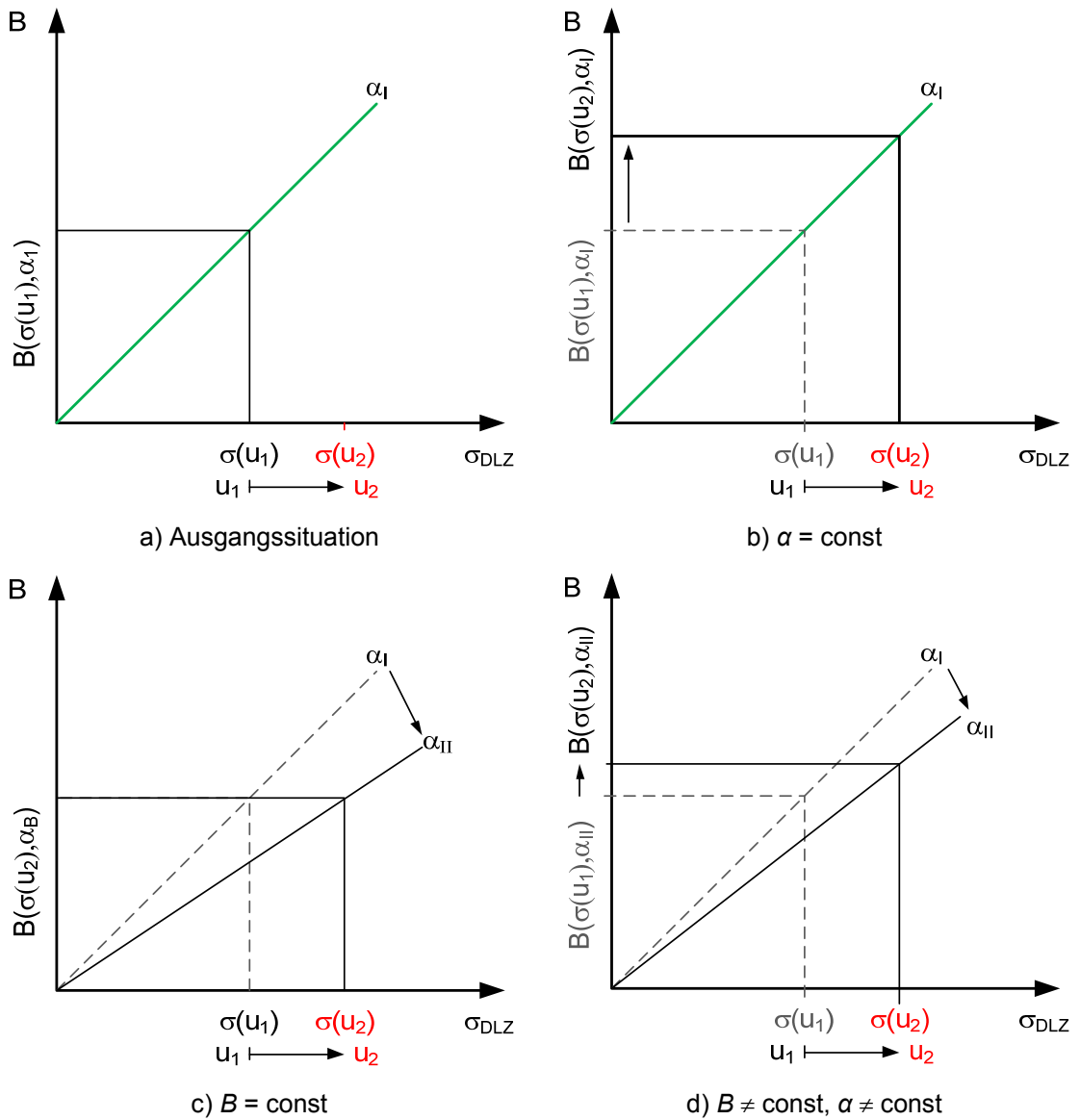


Abbildung 27: Wirkung sich ändernder Umweltbedingungen auf die Bestand-Robustheit-Relation

Formal lassen sich diese genannten Veränderungen sehr einfach beschreiben. Sei das Verhältnis der Durchlaufzeiten zu den Randbedingungen u_1 und u_2 beschrieben als

$$\frac{\sigma(u_2)}{\sigma(u_1)} = n \quad [57]$$

so ergibt sich für das Verhältnis von B_V und α folgender Zusammenhang:

$$\frac{B_2}{B_1} = n \cdot \frac{m(\alpha_{II})}{m(\alpha_1)} \quad [58]$$

Daraus lassen sich nun einfach die drei o. g. Fälle ableiten.

$$B_2 = n \cdot \frac{m(\alpha_{II})}{m(\alpha_1)} B_1 \quad [59]$$

Mit $\alpha_1 = \alpha_{II}$ (Fall 1) folgt unmittelbar

$$B_2 = n \cdot \frac{m(\alpha_{II})}{m(\alpha_1)} B_1 = n B_1 \quad [60]$$

bzw.

$$m(\alpha_{II}) = \frac{m(\alpha_1) B_2}{n B_1} \quad [61]$$

Mit $B_1 = B_2$ (Fall 2) folgt unmittelbar

$$m(\alpha_{II}) = \frac{m(\alpha_1) B_1}{n B_1} = \frac{1}{n} m(\alpha_1) \quad [62]$$

Die möglichen Anpassungen des Systems, wenn sich eine der drei Größen ändert (σ_{DLZ} durch einen geänderten Prozess, B_{max} und α durch betriebliche Vorgaben aufgrund geänderter Zielstellungen oder Rahmenbedingungen), sind in Abbildung 28a dargestellt. Ändert sich der Prozess von u_1 zu u_2 , so stellen alle Punkte auf der Linie D, die durch Variation von B und α erreicht werden können, mögliche neue Betriebspunkte dar. Linie D wird nur begrenzt durch vorgegebene Maximal- und Minimalwerte von B und α . Die Fläche A stellt den möglichen Lösungsraum unter der Bedingung dar, dass – bspw. durch KVP-Maßnahmen – die Prozessstabilität beeinflussbar ist. Bei gegebenem Mindestservicegrad α_{Min} und gegebenem Maximalbestand B_{Max} lassen sich grundsätzlich alle Punkte der Fläche E als Betriebspunkte nutzen, jedoch ist der Punkt G der unter den gegebenen Randbedingungen zu bevorzugende Betriebspunkt (Abbildung 28b), weil alle anderen möglichen Betriebspunkte weniger effizient wären.

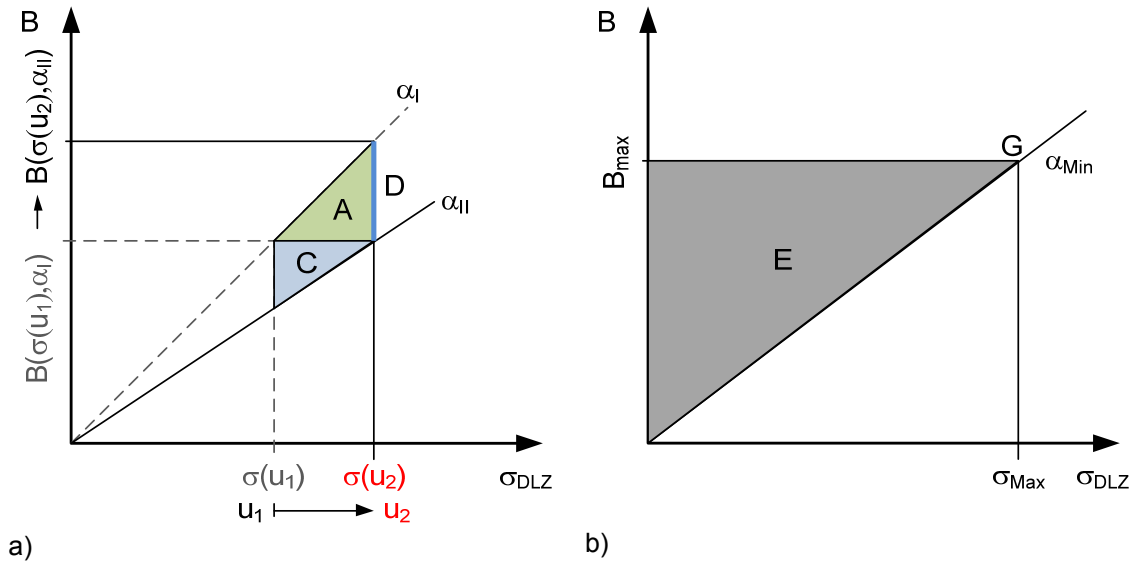


Abbildung 28: Auswirkungen von Δu auf B und σ_{DLZ}

Flexibilität im Kontext der Schlankheit: F_L

Bezogen auf die Schlankheit beschreibt die Flexibilität, wie schlank ein System nach Änderung der Umweltbedingungen noch arbeitet. Die auf die Schlankheit eines Prozesses bezogene Flexibilität sei F_L . Da diese Schlankheit direkten Einfluss auf die Größe des Umlaufbestands (WIP) hat, ist die Flexibilität F_L ein Maß für die Schwankung des Erwartungswertes der Umlaufbestände (WIP) bei geänderten Randbedingungen u .

Die Schlankheit eines Prozesses unter den Randbedingungen u_n lässt sich als Verhältnis der mittleren Durchlaufzeit zur optimalen Durchlaufzeit darstellen (vgl. auch [52]):

$$L(u_n) = \left(\frac{E(DLZ(u_n))}{DLZ_{opt}(u_n)} \right)^{-1} \quad [63]$$

$$F_L(u_1 \rightarrow u_2) = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\left(\frac{E(DLZ(u_1))}{DLZ_{opt}(u_1)} \right)^{-1}}{\left(\frac{E(DLZ(u_2))}{DLZ_{opt}(u_2)} \right)^{-1}} = \frac{DLZ_{opt}(u_1)}{E(DLZ(u_1))} \cdot \frac{E(DLZ(u_2))}{DLZ_{opt}(u_2)} \quad [64]$$

Der optimale Grad der Schlankheit bestimmt sich c. p. in Abhängigkeit von dem WIP und den Leistungskennlinien. Eine Veränderung der Umweltbedingungen $u: u_1 \rightarrow u_2$ kann auf die Leistungskennlinien unterschiedliche Auswirkungen haben:

1. Veränderung der minimalen Durchlaufzeit DLZ_{Min} (siehe Abbildung 29a)

2. Veränderung des Anstiegs der Durchlaufzeitkurve rechts vom Abknickpunkt: steilerer oder flacherer Verlauf der DLZ-Kennlinie (siehe Abbildung 29b)
3. Kombination von 1. und 2.

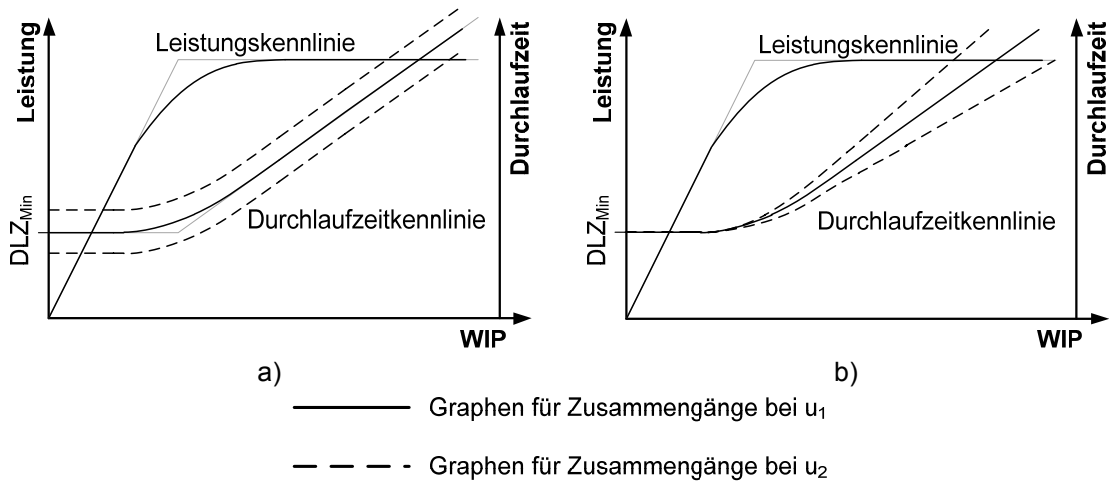


Abbildung 29: Mögliche Wirkungen einer Umweltveränderung auf die Leistungskennlinien

Die beiden Fälle sollen genauer betrachtet werden. Im ersten Fall (siehe Abbildung 30) kann man zeigen, dass mit

$$DLZ_{Opt}(u_2) = DLZ_{Opt}(u_1) + x \quad [65]$$

und

$$E(DLZ(u_2)) = E(DLZ(u_1)) + x \quad [66]$$

folgt:

$$F_L(u_1 \rightarrow u_2) = \frac{DLZ_{Opt}(u_1)}{E(DLZ(u_1))} \cdot \frac{E(DLZ(u_1)) + x}{DLZ_{Opt}(u_1) + x} \quad [67]$$

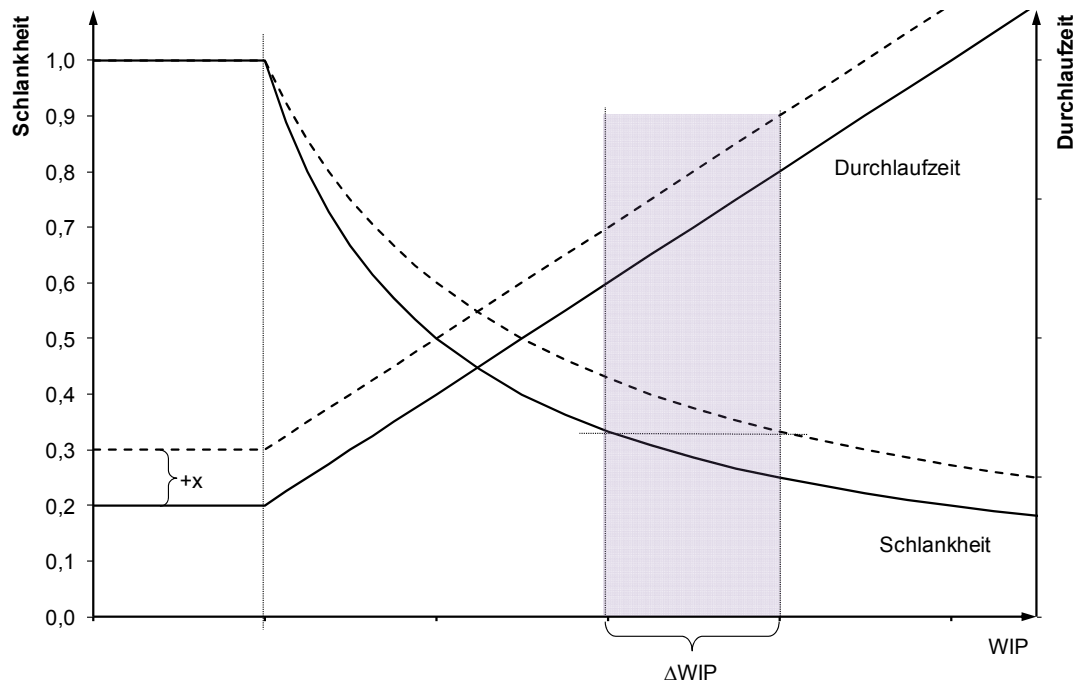
Aus [67] folgt unmittelbar:

- a) $L_2 > L_1 \Leftrightarrow x > 0$ (Abbildung 30a) bzw.
- b) $L_2 < L_1 \Leftrightarrow x < 0$ (Abbildung 30b)

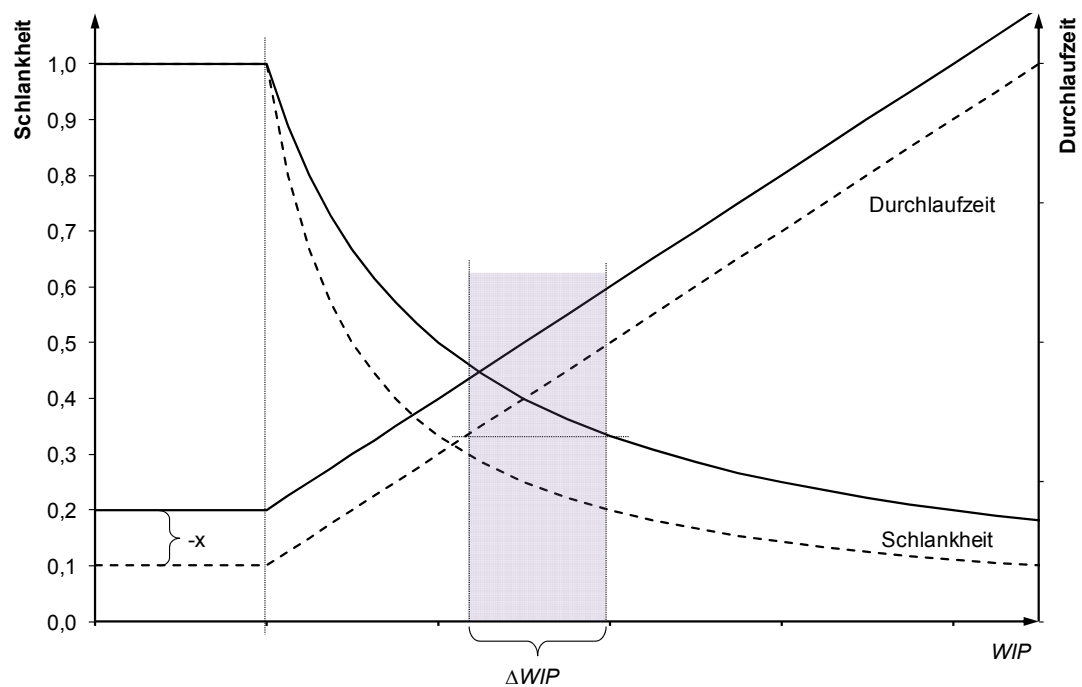
und damit, dass

$$F_L(u_1 \rightarrow u_2) < 1 \quad [68]$$

Im Fall a) bedeutet dies, dass die über den *WIP* abgetragene Kurve des Grades der Schlankheit $L_2(u_2)$ mit $DLZ_{Opt}(u_2) = DLZ_{Opt}(u_1) + x$ mit $x > 0$ flacher verläuft als $L_1(u_1)$ (siehe Abbildung 30a) und steiler im Fall b) (Abbildung 30b).



a) Fall 1a)



b) Fall 1b)

Abbildung 30: Wirkung Veränderung von DLZ_{Opt} ²⁸

Im zweiten Fall (siehe Abbildung 31) gilt

$$DLZ_{Opt}(u_2) = DLZ_{Opt}(u_1) \quad [69]$$

und

²⁸ Legende siehe Abbildung 29.

$$E(DLZ(u_2)) = E(DLZ(u_1)) + x \quad [70]$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} F_L(u_1 \rightarrow u_2) &= \frac{DLZ_{Opt}(u_1)}{E(DLZ(u_1))} \cdot \frac{E(DLZ(u_1)) + x}{DLZ_{Opt}(u_1)} \\ &= \frac{E(DLZ(u_1)) + x}{E(DLZ(u_1))} \end{aligned} \quad [71]$$

Aus [71] folgt unmittelbar:

c) $L_2 > L_1 \Leftrightarrow x < 0$ (siehe Abbildung 31a) bzw.

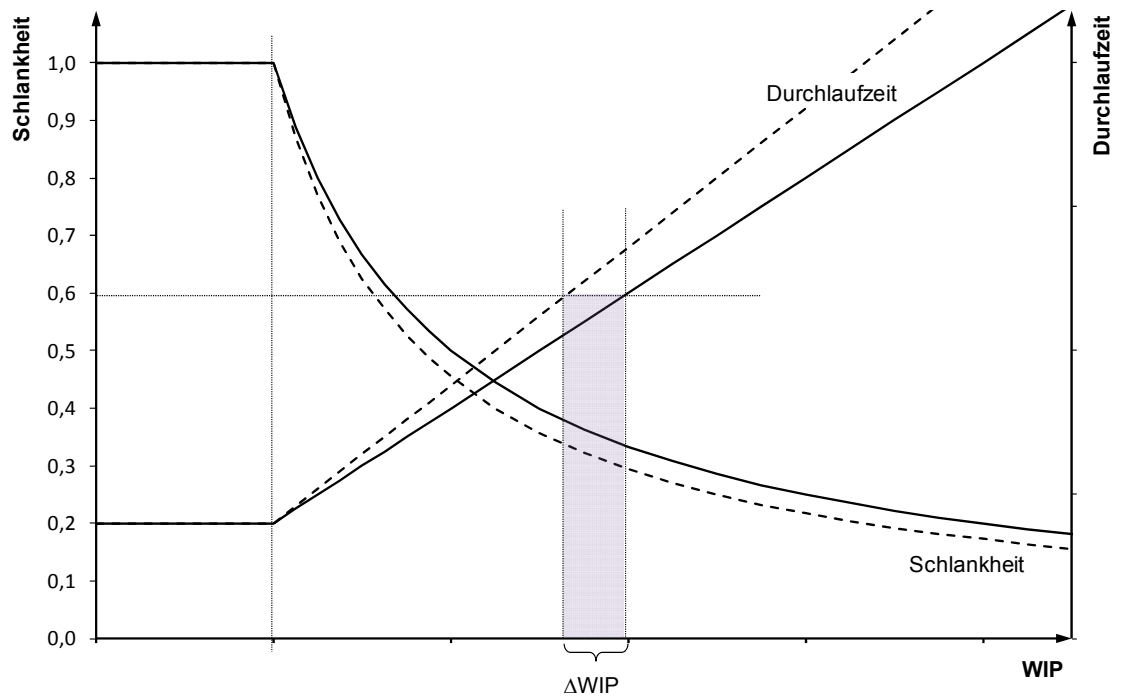
d) $L_2 < L_1 \Leftrightarrow x > 0$ (siehe Abbildung 31b)

und damit, dass $F_L(u_1 \rightarrow u_2) < 1$.

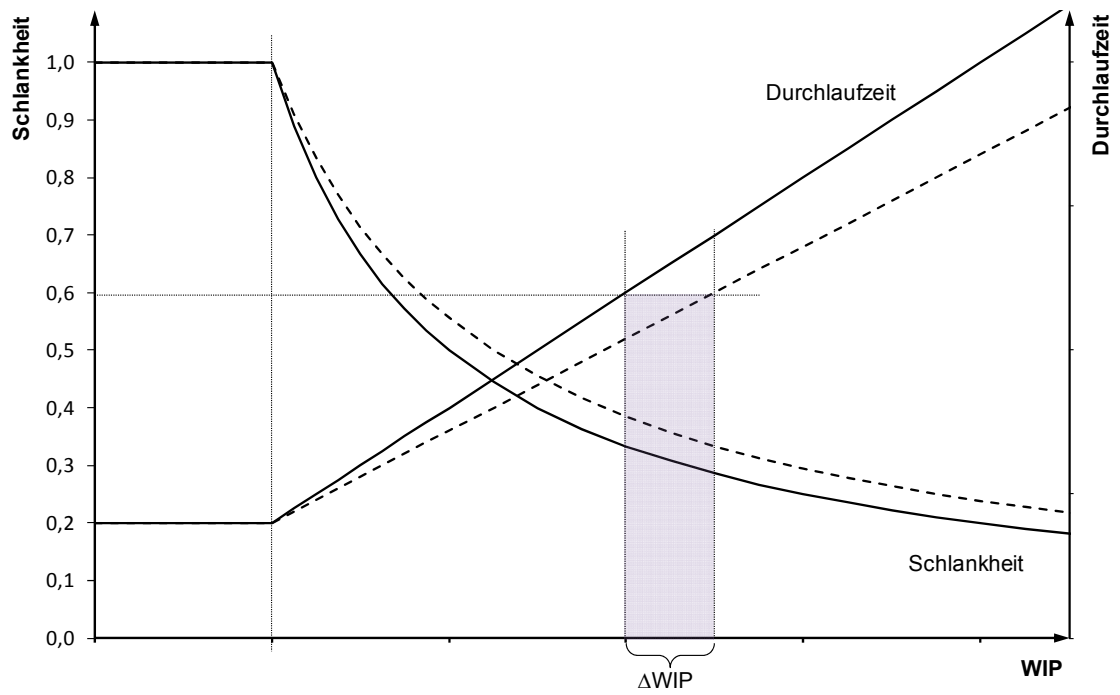
Im dritten Fall (einer Kombination der Fälle 1 und 2) kommt es zu einer Überlagerung der oben beschriebenen Effekte. Zur Abschätzung der Gesamtwirkung können die Einzelwirkungen aus den Fällen 1 und 2 sequenziert betrachtet werden (siehe Abbildung 32):

$$F_L(u_1 \rightarrow u_2) \equiv F_L(u_1 \rightarrow u'_1 \rightarrow u_2) \quad [72]$$

Auch für gleichbleibende Kennlinienverläufe kann man die Wirkzusammenhänge bei Veränderung einer Größe ablesen. Abbildung 33 zeigt die idealen und die realen Kennlinienverläufe von WIP , DLZ und L . Verändert sich bspw. der WIP ($= \Delta WIP$), so kommt es zwangsläufig auch zu einer Veränderung von DLZ und L . Dabei ist die Veränderung ΔL umso größer, je näher der WIP am Minimalbestand ist.



a) Fall 2a)



b) Fall 2b)

Abbildung 31: Wirkung der Veränderung des Anstiegs der DLZ²⁹

²⁹ Legende siehe Abbildung 29.

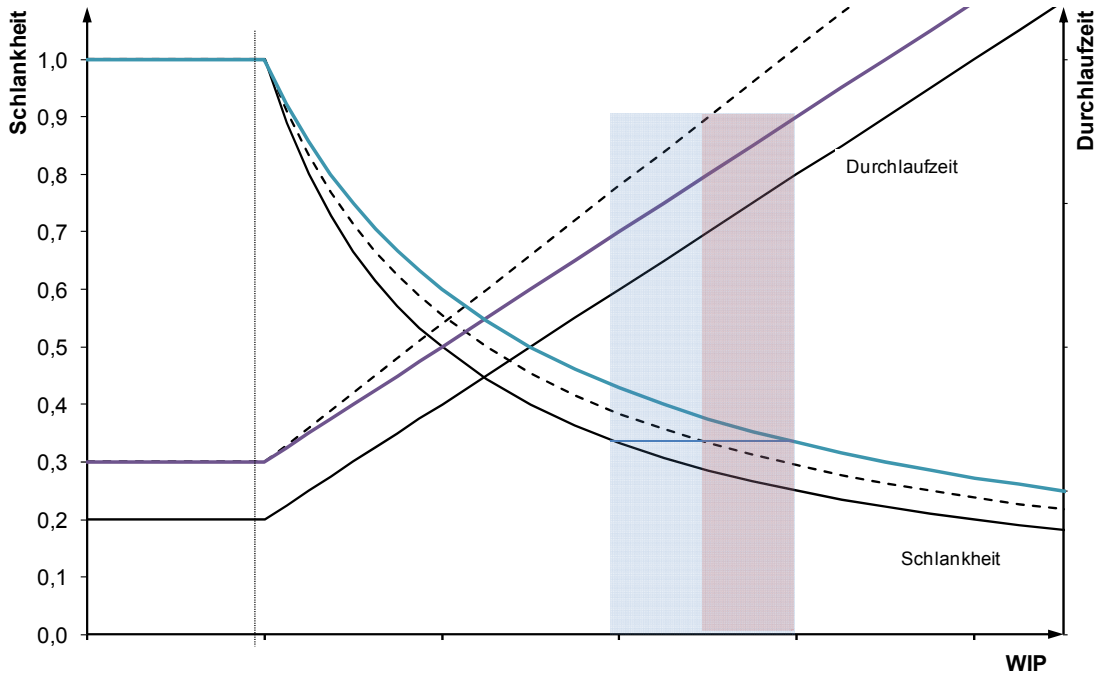


Abbildung 32: Verlauf der realen und idealen Kennlinien der Leistung, der Durchlaufzeit und der Schlankheit³⁰

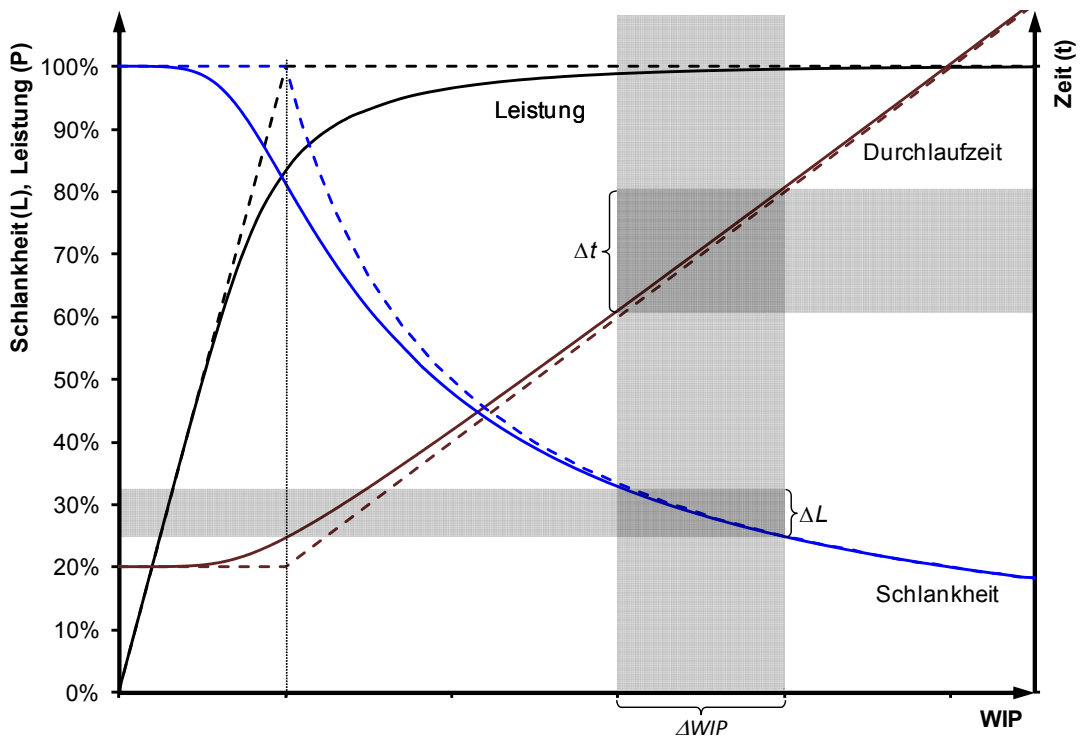


Abbildung 33: Zusammenhang Veränderung L , DLZ und WIP ³¹

³⁰ Legende siehe Abbildung 29.

³¹ Legende siehe Abbildung 29.

3. Entwicklung einer Typologie für Logistiksysteme

Die Vielfalt realer Erscheinungsformen von Logistiksystemen in der Fertigungsindustrie ist sehr groß. Diese Vielzahl von „realen Erscheinungsformen [muss] durch Abstraktion zu *wesentlichen Erscheinungsformen* verdichtet werden.“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 20; Hervorhebung im Original). Dabei muss die Abstraktion dergestalt vorgenommen werden, „daß von wenigen wesentlichen Erscheinungsformen Rückschlüsse auf beliebig (!) viele reale Erscheinungsformen gezogen werden können.“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 20).

Die Typologie stellt dabei eine geeignete Methode dar, diesen Verdichtungs- und Abstraktionsprozess durchzuführen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 21; Kluge 2000, [1]). Im Folgenden soll eine Typologie von Logistiksystemen erstellt werden. Dazu wird zunächst darauf eingegangen, was das Wesen einer Typologie und eines Typs ist und wie sie gebildet werden. Anschließend wird diese Methode auf Logistiksysteme angewendet. Zum Abschluss dieses Kapitels werden die wesentlichen Typen dieser Systeme entwickelt.

3.1 Bildung von Typologien

3.1.1 Typenbildung in der Soziologie

Als einer der Ersten und bis heute als einer der wenigen Soziologen (vgl. Kluge 1999, S. 36) hat sich in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts Paul F. Lazarsfeld methodologische Gedanken zur Typenbildung und zu den Typologien gemacht. Seine Ansätze werden auch in der aktuelleren Literatur zu diesem Thema (vgl. u. a. Bailey 1994; Kluge 1999³²) aufgegriffen. Dabei unterscheidet er zunächst nicht, ob es sich um theoretisch konstruierte oder empirisch ermittelte Typologien handelt (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 119). In seinem Aufsatz führt Lazarsfeld (Lazarsfeld 1937, S. 119 ff.) bereits den Begriff des Merkmalsraums („attribute space“ Lazardsfeld 1937, S. 126) ein und definiert Typen als eine Kombination von Merkmalen bzw. Attributen (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 120 und S. 125). Es können dabei niemals alle Merkmale von Typen

³² Auf diese beiden Veröffentlichungen wird im Folgenden detaillierter eingegangen, so dass an dieser Stelle auf die Nennung von Seitenzahlen verzichtet wird.

beschrieben bzw. bestimmt werden (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 120). Lazarsfeld identifiziert in seinem Aufsatz drei Arten von Attributen (vgl. Lazarsfeld 1937 S. 120 f.):

- klassifizierende („characteristic“ Lazarsfeld 1937 S. 120)
- abstufbare („serials“ Lazarsfeld 1937 S. 120) und
- variable („variable“ Lazarsfeld 1937 S. 120).

Bei einem klassifizierenden Attribut gibt es zwei Ausprägungen: Entweder hat der Typ die Eigenschaft, oder er hat sie nicht (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 120). Ein Beispiel für ein klassifizierendes Attribut ist die Eigenschaft „rund“. Entweder ist ein Objekt³³ rund (bspw. ein Kreis), oder es ist nicht rund (bspw. ein Rechteck). Serials sind abstufbare Größen, die aber nur im Vergleich von mindestens zwei Objekten miteinander sinnvoll bestimmt werden können (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 120). Ein Beispiel für eine abstufbare Größe ist die Härte eines Objekts: nur im Vergleich zweier Objekte kann festgestellt werden, welches der beiden Objekte die intensivere Ausprägung der Eigenschaft hat (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 121). Dabei haben die Ausprägungen einer „Serial“ keinen definierten Abstand voneinander: „no concept of „distance“ is implied in the definition of a serial“ (Lazarsfeld 1937, S. 122; Hervorhebung im Original). Variablen sind Maßgrößen (z.B. Entfernungen, Zeiten etc.), die beliebig viele Ausprägungen haben (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 121 f.).

Wie eingangs erwähnt, ordnet Lazarsfeld jedem Attribut eine Dimension zu. Die Gesamtheit der n Attribute bildet damit einen (nichteuclidischen³⁴) Merkmalsraum („attribute space“ Lazarsfeld 1937, S. 126) mit n Dimensionen (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 126). Jedem Objekt lässt sich ein Punkt in diesem Merkmalsraum zuordnen. Aber nicht jedem Punkt kann ein Objekt zugeordnet werden (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 126).

Dadurch entsteht sehr schnell eine hohe Anzahl von Typen, die nur noch bedingt sinnvoll und nutzbar ist. Zur Lösung dieses Problems schlägt Lazarsfeld die erste seiner drei typologischen Operationen vor: die Reduktion (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 126). Diese dient dazu, eine Vielzahl von (möglichen) Typen zu verringern: „By reduction is understood any classification as a result of which different combination

³³ Die Objekte können sowohl empirischer als auch theoretischer Natur sein.

³⁴ Lazarsfeld geht nicht explizit auf die Eigenschaften des Merkmalsraums ein, setzt aber gewisse Eigenschaften bei seinen typologischen Operationen (insb. bei der Reduktion) voraus, die in einem euklidischen Raum nicht gegeben sind, obwohl dieser in der grafischen Darstellung eines Merkmalsraums gelegentlich benutzt wird (vgl. Kluge 1999).

fall into one class.“ Lazarsfeld 1937, S. 127; Hervorhebung im Original). Es werden drei Arten von Reduktionen beschrieben (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 127 f.):

- die funktionale („functional“ Lazarsfeld 1937, S. 127),
- die pragmatische („pragmatic“ Lazarsfeld 1937, S. 127) und
- die (willkürlich) numerische Reduktion („arbitrary numerical“ Lazarsfeld 1937, S. 127).

Bei der *funktionalen Reduktion* wird auf Basis von Korrelationen zwischen zwei Merkmalen oder Merkmalsausprägungen die Zahl der Typen reduziert (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 127 f.). Die *pragmatische Reduktion* differenziert sich in eine forschungspragmatische Reduktion, bei der im Hinblick auf das Forschungsziel nicht relevante eliminiert bzw. zu detaillierte Merkmale zusammengefasst werden, und in eine pragmatisch-empirische Reduktion, bei der Typen, die nur sehr geringe oder keine Auftretenswahrscheinlichkeiten haben, aus der Typologie entfernt bzw. als „sonstige“ zusammengefasst werden (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 128). Die Vereinfachung der Dimensionen geschieht durch eine Anpassung des Messniveaus (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 128). Beispielsweise können variable Größen nur als Indexwert erfasst und somit verschiedene Ausprägungen als gleichartig erfasst werden. Ein Beispiel für die Vereinfachung der Dimension ist die ABC-Analyse. Dabei werden allen Ausprägungen der variablen Größe *Häufigkeit* entsprechend der definierten Schwellenwerte einer der drei Indexklasse A, B oder C zugeordnet.

Die zweite typologische Operation ist die *Substruktion* als Umkehroperation der Reduktion (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 132 ff.). Bei ihr werden der Merkmalsraum und seine entsprechenden Attribute eines Typs rekonstruiert (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 132 und S. 139). Dadurch können auch weitere mögliche Typen dieses Merkmalsraums herausgearbeitet werden (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 136). Die dritte typologische Operation ist die *Transformation*, wobei ein Merkmalsraum in einen anderen überführt wird (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 137 f.). Lazarsfeld merkt an, dass in der Praxis oftmals zuerst (intuitive oder empirische) Typen vorhanden sind und erst anschließend der Merkmalsraum definiert wird, weswegen die beiden letztgenannten typologischen Operationen häufig anzutreffen sind (vgl. Lazarsfeld 1937, S. 137).

Barton führt die Mehrfeldertafeln zur Darstellung von nichtkontinuierlichen Merkmalsräumen ein (vgl. Barton 1955, S. 41 ff. und Abbildung 34). Mit diesem Instrument können – im Gegensatz zu einem Koordinatenkreuz – auch mehr als drei Dimensionen in der Ebene dargestellt werden. Mehrfeldertafeln sind Kreuztabellen, bei denen Aus-

prägungen der verschiedenen Merkmale jeweils in die Spalten bzw. Zeilen eingetragen werden. In Abbildung 34 ist solch eine Kreuztabelle für zwei Merkmale *A* und *B* mit jeweils drei Ausprägungen 1, 2 und 3 dargestellt. Es ergeben sich neun Kombinationsmöglichkeiten für diese Merkmalsausprägungen.

Kombinationen von mehr als zwei Merkmalen lassen sich in mehreren Tabellen darstellen, wenn für jede Kombination der Ausprägungen von weiteren Merkmalen eine eigene Kreuztabelle gebildet wird. Ob die Darstellung in einer Tabelle oder in mehreren Tabellen gewählt wird, hängt von der Anzahl der Merkmale und vom Untersuchungsziel ab. Eine Aufteilung bietet sich dann an, wenn ein Merkmal eine sehr grundlegende Eigenschaft ist, die eine weitere Untersuchung in getrennten Untergruppen rechtfertigt (vgl. Barton 1955, S. 43).

		A		
		<i>a</i> ₁	<i>a</i> ₂	<i>a</i> ₃
B	<i>b</i> ₁	1	2	3
	<i>b</i> ₂	4	5	6
	<i>b</i> ₃	7	8	9

Legende:

- A, B, ...* Merkmal
- a_n, b_n* Ausprägung *n* von Merkmal A bzw. B
- I, II, III, ... mögliche Merkmalskombinationen

Abbildung 34: Prinzipieller Aufbau einer Mehrfeldertafel mit 2 Dimensionen³⁵

Bailey betrachtet Typologien als eine spezielle Art von Klassifikation (vgl. Bailey 1994, S. 4). Dabei sind Klassifikationen Anordnungen von Objekten auf Basis von Ähnlichkeiten (vgl. Bailey 1994, S. 1). Typologien und Taxonomien werden als verschiedene Arten von Klassifikationen betrachtet. Typen sind dabei konstruierte/theoretische Konzepte (vgl. Bailey 1994, S. 4 f.) und Taxome empirische Fälle (vgl. Bailey 1994, S. 6). Typologien bestehen aus multidimensionalen Merkmalskombinationen, wobei alle möglichen Kombinationen zunächst Typen sind (vgl. Bailey 1994, S. 4). Aufgrund der hohen Anzahl an möglichen Merkmalskombinationen ist eine Handhabung aller möglichen Typen nicht praktikabel, weswegen Bailey vorschlägt, entweder alle Typen zu bilden und anschließend nur die wesentlichen auszuwählen oder nur einen Teil der Typen zu konstruieren (vgl. Bailey 1994, S. 5). Erreicht werden kann das, indem nur Schlüsselkriterien herangezogen werden (vgl. Bailey 1994, S. 5). Die so gebildeten Typen lassen sich bei Bedarf dann in Subtypen aufgliedern (vgl. Bailey 1994, S. 9). Die

³⁵ Modifiziert nach Barton 1955, S. 41.

Vorteile einer Typologie bzw. einer Typisierung sieht Bailey in folgenden Aspekten (vgl. Bailey 1994, S. 12 ff.):

- Beschreibung der verschiedenen Typen („Description“ (Bailey 1994, S. 12))
- Reduktion der Komplexität („Reduction of Complexity“ (Bailey 1994, S. 12))
- Aufdecken von Gemeinsamkeiten und Unterschieden („Identification of Similarities“ (Bailey 1994, S. 12), „Identification of Differences“ (ebenda, S. 13))
- Bestimmung der Dimension der Typen („Presenting an Exhaustive List of Dimensions“ (Bailey 1994, S. 13))
- Vergleich von Typen („Comparison of Types“ (Bailey 1994, S. 13))
- Überblick über mögliche Typen („The Inventory and Management of Types“ (Bailey 1994, S. 13))
- Erfassung von Beziehungen zwischen den Typen („The Study of Relationships“ (Bailey 1994, S. 14))
- Nutzung von Typen als Messkriterium (Muster- bzw. Prototypen) („Types as Criteria of Measurement“ (Bailey 1994, S. 14))

Diesen Vorteilen stehen aber auch einige Nachteile gegenüber (vgl. Bailey 1994, S. 15 f.):

- Typen sind meist statisch („Static Classification“ (Bailey 1994, S. 15))
- Typologien sind deskriptiv und nicht explanatorisch („Classification is Descriptive, Pre-Explanatory, or Explanatory“ (Bailey 1994, S. 15))
- Die Identifikation der wesentlichen Merkmale ist schwierig (vgl. Bailey 1994, S. 15).
- Typologien sind schwer beherrschbar („Unmanageability“ (Bailey 1994, S. 16))
- Die Typen sind oft nicht kontinuierlich (vgl. Bailey 1994, S. 15).

Kluge hat sich ebenfalls mit den methodologischen Grundlagen von Typologien und Typisierungsprozessen auseinandergesetzt. „Eine Typologie ist das Ergebnis eines Gruppierungsprozesses, bei dem ein Objektbereich anhand [von] ... Merkmale[n] in Gruppen bzw. Typen eingeteilt wird ...“ (Kluge 1999, S. 26 f.; vgl. auch Kluge 2000, [2]). Jeder Typ besteht damit aus einer Kombination von Merkmalen, wobei nicht alle möglichen Kombinationen sinnvoll bzw. relevant sind (vgl. Kluge 2000, [3]; Kluge 1999, S. 42 f.). Die Bedeutung der Typologie sieht Kluge vor allem in der Darstellung von komplexen sozialen Realitäten und für die Erfassung und Erklärung von Sinn-

zusammenhängen (vgl. Kluge 2000, [1]; Kluge 1999, S. 43 f.). Als Hauptproblem identifiziert Kluge das systematische und reproduzierbare Vorgehen bei der Typisierung, da nur wenige Ansätze vorhanden sind, uneinheitliche Begriffe verwendet werden (vgl. Kluge 2000, [1]) und unterschiedlich vorgegangen werden kann (vgl. Kluge 2000, [5]). Sie schlägt ein vierstufiges Modell vor (vgl. auch Kluge 1999, S. 260 und siehe Abbildung 36):

- Stufe 1: „Erarbeitung der relevanten Vergleichsmerkmale“ (Kluge 2000, [7])
- Stufe 2: „Gruppierung der Fälle und Analyse der empirischen Regelmäßigkeiten“ (Kluge 2000, [8])
- Stufe 3: „Analyse inhaltlicher Sinnzusammenhänge und Typenbildung“ (Kluge 2000, [9])
- Stufe 4: „Charakterisierung der gebildeten Typen“ (Kluge 2000, [12]).

In der 1. Stufe sind diejenigen Merkmale zu identifizieren, die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Untersuchungselementen erfassen (vgl. Kluge 2000, [7]; weiterführend vgl. Kluge 1999, S. 264 ff.). In der 2. Stufe ist darauf zu achten, dass durch die Gruppierung solche Gruppen entstehen, bei denen sich die Elemente innerhalb einer Gruppe möglichst ähnlich sind (interne Homogenität), und dass sich die Gruppen möglichst stark voneinander unterscheiden (externe Heterogenität) (vgl. Kluge 2000, [8]; weiterführend vgl. Kluge 1999, S. 270 ff.). Diese Eigenschaften sind empirisch nachzuweisen (vgl. Kluge 2000, [8]). Für die Analyse der Sinnzusammenhänge in der Stufe 3 ist der Merkmalsraum zu reduzieren (vgl. Kluge 2000, [9]). Ziel ist es dabei auch, die Anzahl an Typen zu verringern und ggf. weitere relevante Merkmale zu identifizieren. An dieser Stelle wird wieder mit Stufe 1 begonnen (vgl. Kluge 2000, [9]; weiterführend vgl. Kluge 1999, S. 277 ff.). Das Vorgehen ist somit eher iterativer Natur. In der abschließenden 4. Stufe ist die Charakterisierung der Typen herauszuarbeiten, indem die relevanten Kriterien dafür bestimmt werden (vgl. Kluge 2000, [12]; weiterführend vgl. Kluge 1999, S. 280). Das Vorgehensmodell ist in Abbildung 35 dargestellt.

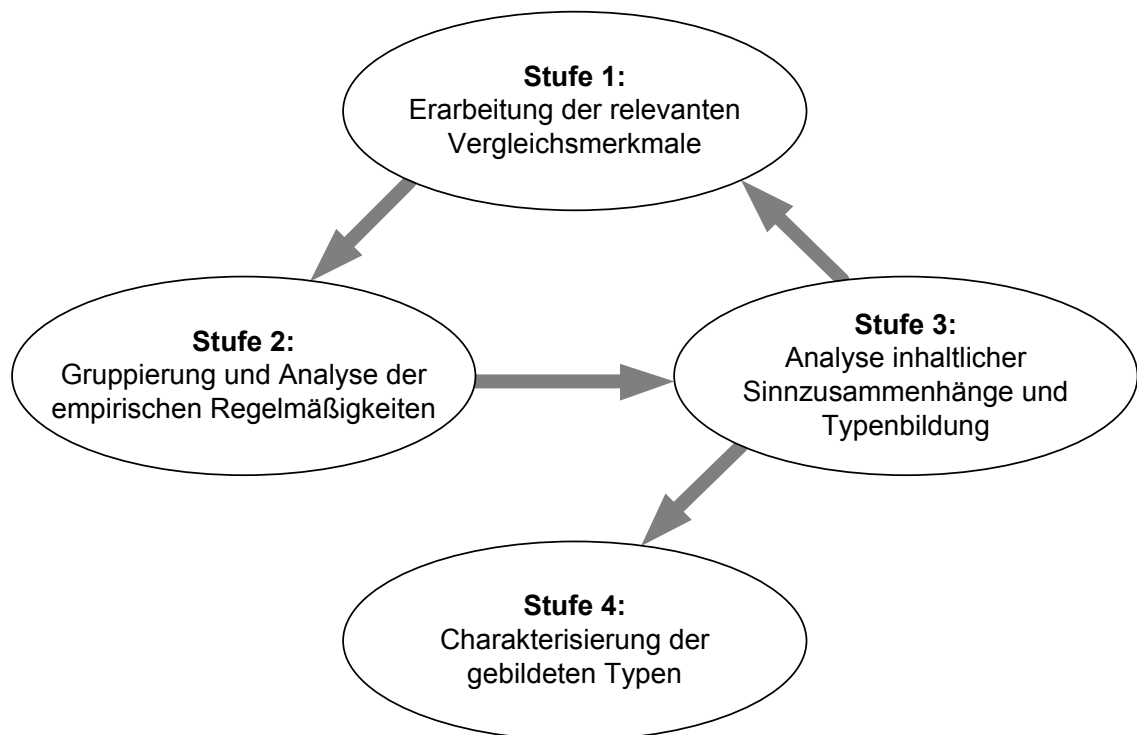


Abbildung 35: Stufenmodell empirisch begründeter Typenbildung³⁶

Das von Kluge vorgestellte Vorgehensmodell ist offen gestaltet, und es können verschiedene Methoden und Techniken angewendet werden (vgl. Kluge 2000, [13]–[14]; Kluge 1999, S. 280 ff.). Auch eine Anpassung an das Untersuchungsziel ist möglich. Jedoch stellt ihr Modell sehr stark auf eine empirische Typenbildung ab und ist letztendlich nur ein grober, sehr allgemein gehaltener Rahmen.

3.1.2 Typologien in den Ingenieur- und den Wirtschaftswissenschaften

In der Betriebswirtschaftslehre gibt es viele Anwendungen von Typologien.³⁷ Einige wenige Ansätze bilden dabei auch Fabrik- bzw. Betriebstypen. Sofern diese nicht intuitiv entstanden sind, orientieren sich die Autoren methodisch an dem Vorgehen der Soziologie und dabei vor allem an den im Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Texten.

Das Hauptproblem der betriebswirtschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Autoren war dabei, dass die Soziologie zwar ein schlüssiges Begriffssystem erarbeitet hat, sehr klar definiert, was eine Typologie ist und welche Eigenschaften diese und ihre Typen besitzen, es jedoch lange Zeit keine Ansätze gab, wie die denn nun zu bilden

³⁶ Aus Kluge 2000, [9].

³⁷ Exemplarisch seien genannt die Typologie der Betriebstypen nach Gutenberg (vgl. Gutenberg 1957, S. 340 ff. und 1983 S. 507 ff.), die Typologie der Messen und Ausstellungen von Tietz (vgl. Tietz 1960, S. 222 ff.) und die Typologie der Unternehmenskrisen nach Hauschildt (vgl. Hauschildt, Grape, Schindler 2006, S. 7 ff.).

seien (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 26). Im Folgenden sollen die wesentlichen Beiträge zur Entwicklung von Methoden³⁸ zur Bildung von Typologien aus dem Bereich der Betriebswirtschaftslehre bzw. der Ingenieurwissenschaften in Bezug auf den Themenkomplex Fabrik/Produktion/Logistik vorgestellt werden.

In seiner 1974 veröffentlichten Dissertation „Fertigungstypologie – Unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablaufplanung“ stellt Große-Oetringhaus auch umfangreiche Überlegungen zur methodologischen Fundierung des Typenbildungsprozesses vor (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 26 ff.). Zunächst wird festgestellt, dass die Typenbildung durch Abstraktion der Wirklichkeit geschieht (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 27 f.). Dabei wird nur durch das Untersuchungsziel bestimmt, welche Anzahl beschreibender Merkmale sinnvoll ist und in welche Richtung die Abstraktion erfolgen soll (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 28).

Bei der Bildung der Typen durch Differenzierung können Typen durch die verschiedenen Ausprägungen eines oder mehrerer Merkmale entstehen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 29 und 31). Je feiner die Abstufungen der Merkmalsausprägungen sind, desto differenzierter kann die Typenbildung sein (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 30). Dabei kommt es zwangsläufig auch zur Bildung von Extremtypen (minimale bzw. maximale Ausprägung des Merkmals) (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 30).

Bei den Merkmalen unterscheidet Große-Oetringhaus zwischen typenbildenden (d.h. Merkmalen, die zur Definition des Typs notwendig sind) und typenbeschreibenden Merkmalen (solche, die zur Differenzierung der Typen erforderlich sind) (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 30). Um ein Objekt eindeutig beschreiben zu können, wird ein Elementartyp nicht ausreichen, vielmehr müssen verschiedenen Elementartypen miteinander zu einem so genannten Verbundtyp zusammengeführt werden (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 32).

Eine Typologie ist bei Große-Oetringhaus das „...Gesamtergebnis einer umfassenden Typenbildung“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 34). Diese kann einerseits durch Intuition, andererseits durch Konstruktion erfolgen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 34 f.). Oft treten auch Mischformen auf (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 35). Nach der „Analyse der Merkmale [folgt] eine *Synthese* ihrer Ausprägungen.“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 35, Hervorhebungen im Original).

³⁸ Die entsprechenden Beispiele sind in Abschnitt 3.1.4 zusammengefasst.

Nach diesen theoretischen Vorüberlegungen legt Große-Oetringhaus ein Phasenmodell für den Typenbildungsprozess vor (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 50 ff.):

1. „Definition des Untersuchungsbereiches [sic!] und des Untersuchungszieles“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 50)
2. „Auswahl der zu untersuchenden Merkmale“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 52)
3. „Untersuchung der Merkmalsausprägungsmöglichkeiten“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 53)
4. „Definition von sinnvollen Merkmalsausprägungen = Bildung eindimensionaler Elementartypen“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 58)
5. „Untersuchung der Korrelation von Merkmalsausprägungen = Bildung mehrdimensionaler Elementartypen“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 61)
6. „Bildung zwangsmäßiger Verbundtypen“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 64)
7. „Bildung von freien Verbundtypen“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 70)
8. „Darstellung der Typen“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 73)

Da in dieser Arbeit nach diesem Phasenmodell verfahren wird, sollen die einzelnen Phasen kurz erläutert werden. In der ersten Phase der Typenbildung des Untersuchungsziels ist der Bereichsgegenstand abzugrenzen, und aus dem Untersuchungsbereich sind die immanenten Bereichsziele und daraus resultierende -probleme abzuleiten (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 50 f.). Ergänzend zu den Bereichszielen sind die Untersuchungsziele zu bilden (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 51). In der anschließenden zweiten Phase sind die wesentlichen, den Untersuchungsbereich kennzeichnenden Merkmale zu erarbeiten (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 52 f.). Dabei sind die Merkmale genau dann wesentlich, wenn sie in „*direktem* und ggfs. [sic!] *ursächlichem Zusammenhang* mit den Zielen und Problemen stehen.“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 52). Hierfür gibt es jedoch keine gesicherte Vorgehensweise, um alle hauptsächlichen Attribute zu identifizieren (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 53). Der Autor schlägt jedoch vor, um diesen Prozess zu systematisieren unter bestimmten Gesichtspunkten, Merkmalsgruppen und Merkmalsuntergruppen zu bilden (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 52). In der dritten Phase sind nur für die gefundenen Merkmale die Merkmalausprägungsmöglichkeiten zu untersuchen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 53 ff.). Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die bereits von Lazarsfeld (vgl. die Ausführungen zu Lazarsfeld im Abschnitt 3.1.1) und Barton (vgl. Barton 1955 bzw. Abschnitt 3.1.1) erarbeiteten. In der vierten Phase (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S.

58 ff.) müssen dann zu den gewählten Merkmalen die sinnvollen Merkmalsausprägungen definiert werden (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 58). Deren Bestimmung ist gleichzusetzen mit der Bildung der Elementartypen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 58). Dabei ist zu untersuchen, welche Bereiche auf der möglichen Skala (aus der dritten Phase) eines Merkmals (aus der zweiten Phase) sinnvoll im Hinblick auf das Untersuchungsziel sind (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 58). In der folgenden fünften Phase werden durch die Untersuchung der Korrelationen der einzelnen Merkmalsausprägungen die mehrdimensionalen Elementartypen gebildet (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 61 ff.).

In der sechsten Phase werden die zwanghaften Verbundtypen gebildet, also diejenigen Kombinationen von Merkmalsausprägungen, die immer gemeinsam auftreten (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 64 ff.). In der siebten Phase sind dann die freien Verbundtypen zu bilden (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 70 ff.). Das sind Kombinationen von Merkmalsausprägungen verschiedener Merkmale, die nicht zwangsweise zusammen auftreten, sondern lediglich auftreten können (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 70). Die Bildung der Verbundtypen ist dabei immer im Kontext des Untersuchungsziels zu sehen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 72).

In der abschließenden achten Phase (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 73ff.) sind die Typen darzustellen, einmal als „*Übersichtliche Zusammenfassung* des Typenbildungsprozesses“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 73; Hervorhebungen im Original) und einmal zur „*Erkenntnisvermittlung über Zusammenhänge*“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 73; Hervorhebungen im Original). Große-Oetringhaus räumt jedoch ein, dass ein exaktes, phasenweises Vorgehen in der praktischen Anwendung nicht notwendigerweise adäquat ist (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 81). Vielmehr bietet sich je nach Untersuchungsbreite eine gewisse Parallelbearbeitung der einzelnen Phasen an (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 81).

Aufbauend auf der Arbeit von Große-Oetringhaus wurden bis 1990 an der RWTH Aachen vier Dissertationen verfasst, die auf der von Große-Oetringhaus vorgestellten Vorgehensweise beruhen und diese verfeinern und erweitern. Es handelt sich um die Dissertationen von Schomburg (1980), Ley (1984), Förster (1988) und Büdenbender (1990) am Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft (iaw) der RWTH Aachen. Da diese vier Arbeiten wichtige methodologische Impulse enthalten, die in dieser Arbeit ebenfalls genutzt werden, sollen diese hier kurz aufgezeigt werden.

Schomburg hat 1980 eine Dissertation mit dem Titel „Entwicklung eines betriebs-typologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau“ vorgelegt. Methodisch baut er auf Große-Oetringhaus und anderen auf (vgl. Schomburg 1980, S. 26 f.). Allerdings integriert er – deutlicher als Große-Oetringhaus – in sein Vorgehensmodell noch die Implikationen der Realität für die Typologie (vgl. Schomburg 1980, S. 28 und Abbildung 36).

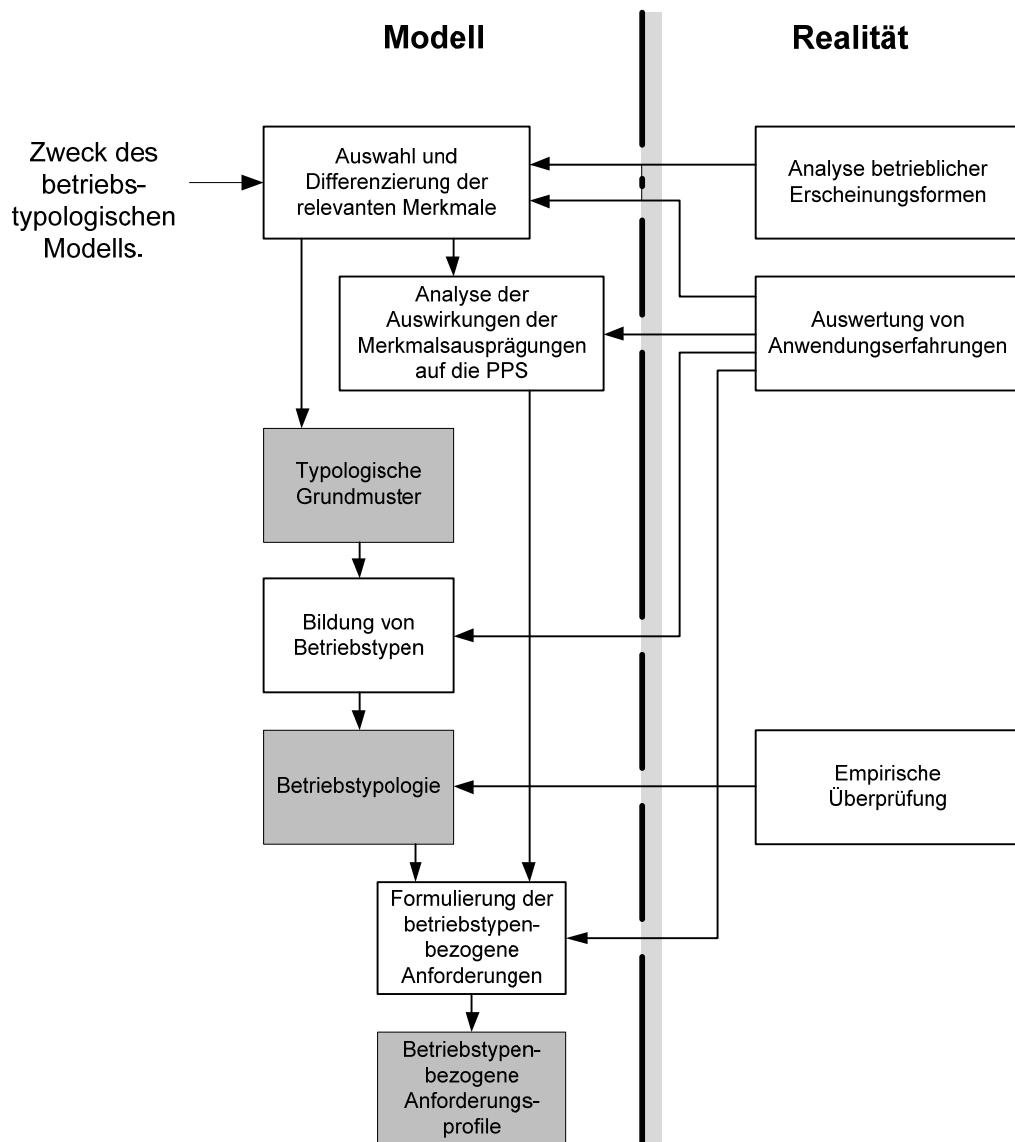


Abbildung 36: Grundstruktur des betriebs-typologischen Modells nach Schomburg³⁹

Schomburg schlägt im Weiteren vor, nachdem die wesentlichen Bestimmungsgrößen des Untersuchungsbereichs (vgl. Schomburg 1980, S. 34) ermittelt wurden, für eine bessere Übersichtlichkeit auch die Zusammenhänge zwischen den Bestimmungsgrößen

³⁹ Nach Schomburg 1980, S. 28.

und den identifizierten Merkmalen in einer Matrix darzustellen (vgl. Schomburg 1980, S. 37 f. und siehe Abbildung 38). Dadurch könne die Relevanz der Merkmale für die Typologie untersucht werden (vgl. Schomburg 1980, S. 121).

		Bestimmungsgröße				
		A	B	C	D	E
Merkmal	1	x	x			
	2			x	x	
	3	x				
	4	x		x	x	
	5	x			x	
	6			x		x

Abbildung 37: Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Bestimmungsgrößen und den Merkmalen⁴⁰

Ley schlägt in Anlehnung an Große-Oetringhaus folgendes Vorgehen für die Typenbildung vor: „... Einteilung der Probleme des Untersuchungsbereichs in Problemkreise, so daß aus diesen Problemkreisen problemadäquaten Merkmalsgruppen abgeleitet werden können.“ (Ley 1984, S. 61) und Untergliederung der Merkmalsgruppen in Einzelmerkmale (vgl. Ley 1984, S. 61). Für die Auswahl der Merkmalsausprägungen werden von Ley partiell abgestufte Merkmale empfohlen, da dies ein geeigneter Kompromiss zwischen Differenziertheit und Praktikabilität sei (vgl. Ley 1984, S. 63). Als Darstellungsmethode der Typologie wird ein morphologischer Kasten empfohlen (vgl. Ley 1984, S. 64). Die Einsatzfelder der Typologie sieht Ley in der Ableitung von so genannten Grundtypen, das heißt von für die betriebliche Praxis relevanten, und in der anschließenden Ermittlung der typspezifischen Anforderungen (vgl. Ley 1984, S. 70 f.). Für die Ermittlung der Grundtypen schlägt Ley ein Verfahren der Clusteranalyse vor (vgl. Ley 1984, S. 74 ff.), auf das hier nicht weiter eingegangen werden soll.

Die Praktikabilität der Typologie ist auch für Förster ein wesentliches Kriterium (vgl. Förster 1988, S. 46 f.). Um dies sicherzustellen, ist bei jedem Merkmal zu prüfen, ob es wirklich wesentlich für die Beschreibung der Typen ist (vgl. Förster 1988, S. 47). Das Ziel sind minimaldimensionale Typen (vgl. Förster 1988, S. 47). Weiterhin müssen die Merkmale leicht zu erheben sein (vgl. Förster 1988, S. 47). Die Datenerhebung wird durch partiell abgestufte Merkmale (analog Ley 1984) wesentlich erleichtert (vgl. Förster 1988, S. 48).

⁴⁰ Modifiziert nach Schomburg 1980, S. 38.

Für die Auswahl der Merkmale stellt Büdenbender folgende Kriterien auf (vgl. Büdenbender 1991, S. 31 f.):

- Das Merkmal muss Einfluss auf die Anforderungen des Untersuchungsbereichs haben (Im Original: „Die Merkmale müssen einen Einfluss [sic!] auf die Ermittlung von Anforderungen und Gestaltungsvorschlägen zur Konzeption einer ganzheitlichen PPS haben.“ (Büdenbender 1991, S. 31)).
- Das Merkmal muss spezifisch sein (Im Original „Das Merkmal muss auftrag-sabwicklungs-spezifischer Natur sein.“ (Büdenbender 1991, S. 31)).
- „Die Merkmale müssen einen objektiven Charakter haben und mit einer hinreichend hohen Genauigkeit erfassbar [sic!] sein.“ (Büdenbender 1991, S. 31)
- „Die Erfassung der Merkmale muss mit einem vertretbaren Aufwand möglich sein“ (Büdenbender 1991, S. 32).

Im Weiteren orientiert sich Büdenbender an den von Große-Oetringhaus (1974) vorgeschlagenen Phasen (vgl. Büdenbender 1991, S. 32 ff.), wobei er für die Auslegung der Ausprägungen mehr pragmatische Gesichtspunkte vorschlägt und eine eindeutige verbale Auslegung der Ausprägungen empfiehlt, um die Interpretationsspielräume zu minimieren (vgl. Büdenbender 1991, S. 33 f.). Für die Darstellung wird ein morphologischer Kasten empfohlen (vgl. Büdenbender 1991, S. 51).

Die in der Arbeit entwickelte Typologie ist in Tabelle 4 auf Seite 92 als Beispiel ausgeführt. Sie wurde von anderen Autoren u. a. als Baustein für das Aachener PPS-Modell genutzt (vgl. auch Schuh 2006, S. 120 ff.).

3.1.3 Methodik zur Bildung von Typologien

Sowohl Kluge als auch Große-Oetringhaus haben ein Vorgehensmodell zur Bildung einer Typologie vorgeschlagen (vgl. Kluge 1999, S. 260 ff.; Große-Oetringhaus 1974, S. 50 ff.). In Tabelle 3 sind die einzelnen Phasen dieser beiden Vorgehensmodelle einander gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass alle Aspekte, die Große-Oetringhaus aufführt, ebenfalls bei Kluge enthalten sind, zum Teil nur detaillierter ausgeführt. Beide Modelle widersprechen sich also nicht. Das Vorgehensmodell von Kluge ist etwas abstrakter als das von Große-Oetringhaus.

Tabelle 3: Vergleichende Gegenüberstellung des Vorgehens von Kluge und Große-Oetringhaus

Phase bei Große-Oetringhaus	Phase bei Kluge
1. Definition des Untersuchungsziels 2. Auswahl der zu untersuchenden Merkmale	1. Erarbeitung relevanter Vergleichsdimensionen
3. Untersuchung der Merkmalsausprägungsmöglichkeiten	2. Gruppierung der Fälle und Analyse empirischer Regelmäßigkeiten
4. Definition von sinnvollen Merkmalsausprägungen 5. Untersuchung der Korrelation von Merkmalsausprägungen 6. Bildung von zwangsmäßigen Verbundtypen. 7. Bildung von freien Verbundtypen	3. Analyse inhaltlicher Sinnzusammenhänge und Typenbildung
8. Darstellung der Typen	4. Charakterisierung der gebildeten Typen

Die im Rahmen der Typenbildung definierten Merkmale müssen sowohl bei deren Erhebung als auch bei der Anwendung der Typologie leicht erfassbar sein (vgl. Förster 1988, S. 47).

Weiterhin ist die Darstellungsform der Typologie (Phase 7 in Tabelle 3) so zu wählen, dass eine „Übersichtliche Zusammenfassung des Typenbildungsprozesses“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 73; Hervorhebungen im Original) und eine „Erkenntnisvermittlung über Zusammenhänge, die verbal nicht einfach Erläutert werden können (...)“ (Große-Oetringhaus 1974, S. 73; Hervorhebungen im Original). Es gibt verschiedene Darstellungsformen für die Typen. Eine sehr häufig anzutreffende ist der morphologische Kasten. Diese findet auch oftmals Anwendung bei den Beispielen des folgenden Kapitels. Alternative Darstellungsformen sind Polarkoordinatendiagramme und kartesische Koordinatensysteme (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 74 ff.). In dieser Arbeit wird für die Typologie von Logistiksystemen ebenfalls ein morphologisches Schema gewählt. Zur Darstellung eines einzelnen Typs soll jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit eine komprimierte Stack-Darstellung (siehe Abbildung 39) in Anlehnung an Schomburg verwendet werden (vgl. Schomburg 1980, S. 96).

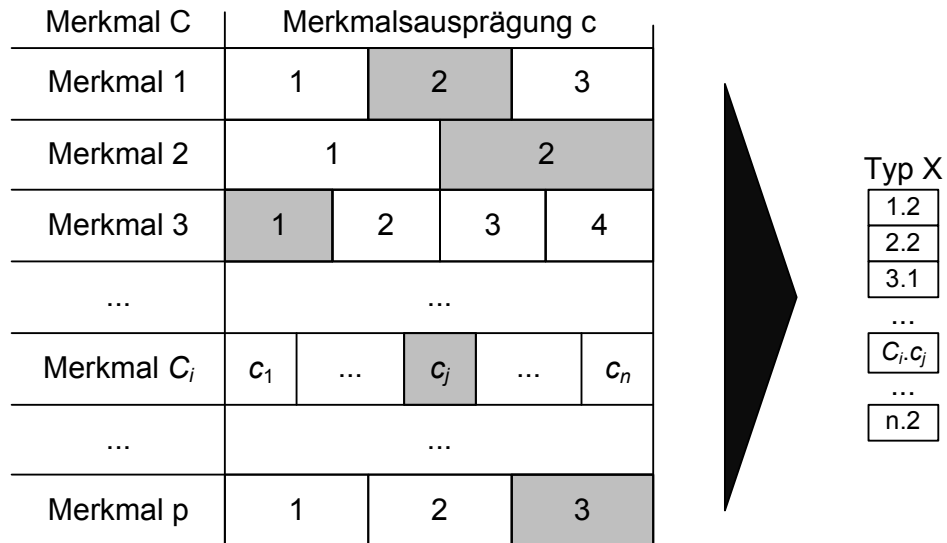


Abbildung 38: Darstellung eines Typs in einem morphologischen Kasten (links) und als Stack (rechts)

3.1.4 Typologien mit Bezug zur Logistik

Für das in dieser Arbeit betrachtete Erkenntnisobjekt „Gestaltung von Logistiksysteme in Fabriken“ existieren in der Literatur bisher keine adäquaten Typologien. Im Bereich der Logistik gibt es bisher zwar viele verschiedenen Typologien, die sich jedoch eher mit dem Bereich des Supply Chain Management (SCM) an sich (vgl. u. a. Bechtel, Jayaram 1997, S. 19 mit einer Typologie der Denkschulen des SCM; Mentzer et al. 2001, S. 5 f. mit verschiedenen Fokustypen des SCM; Göpfert 2004, S. 25 ff. nach direktem und indirektem Logistikbezug) oder der Logistikstrategie (vgl. u. a. Autry, Zacharia, Lamb 2008, S. 27 ff.) beschäftigen.

Allerdings gibt es einige Typologien, die Bereiche des Erkenntnisobjekts tangieren: Typologien von Produktionssystemen und Typologien von Fabriken. Wesentliche werden im Folgenden vorgestellt.

Typologien von Produktionssystemen

Detaillierte und methodisch fundierte Arbeiten zu Fabriktypologien liefern die bereits im Abschnitt 3.1.2 genannten Autoren. Da im Abschnitt 3.1.2 primär auf die methodischen Aspekte ihrer Arbeiten eingegangen wurde, sollen nun die inhaltlichen Aspekte der Typologien diskutiert werden.

Die von Büdenbender erarbeitete Typologie (dargestellt in Tabelle 4 als morphologischer Kasten auf Seite 87) hatte das Ziel, die Produktionssteuerung zu systematisieren (vgl. Büdenbender 1991, S. 31 ff.). Auf Basis dieser Typologie wurden im Rahmen des

Aachner PPS Modells im Folgenden vier Auftragsabwicklungstypen entwickelt (vgl. Schuh 2006, S. 136 ff.) und beschrieben:

- der „Auftragsfertiger“ (Schuh 2006, S. 136) bzw.
- der „Rahmenauftragsfertiger“ (Schuh 2006, S. 153),
- der „Variantenfertiger“ (Schuh 2006, S. 167) und
- der „Lagerfertiger“ (Schuh 2006, S. 180).

Die Typologie kann genutzt werden, um den Ist-Zustand eines Unternehmens hinsichtlich der Auftragsabwicklung zu erfassen und die grobe Zielstruktur festzulegen (vgl. dazu Schuh 2006, S. 121).

Die in Tabelle 5 (auf Seite 88) dargestellte Typologie von Schulte (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 11) deckt sich inhaltlich zu einem gewissen Grad mit der von Büdenbender. Zur Veranschaulichung wurden Merkmale, die sowohl bei Schulte (Tabelle 5) als auch bei Büdenbender (Tabelle 4) einbezogen werden, in Tabelle 5 fett hervorgehoben.

Der Zweck der Typologie von Schulte ist etwas anders als bei Büdenbender. Während es Büdenbender um die Einordnung bestehender Fabriken und deren Auftragsabwicklungsarten ging (vgl. Büdenbender 1991, S. 4), liegt der Einsatzzweck der Typologie nach Schulte et al. eher in der Planung neuer Produktionsstätten (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 12). Dabei ist die Typologie nur ein Baustein, um in einer übergeordneten Metatypologie Fabrikgrundtypen für die Fabrikplanung zu beschreiben (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 14 f.).

Tabelle 4: Betriebstypologie als morphologischer Kasten⁴¹

Merkmal		Ausprägungen				
Initialmerkmal	Auftragsauslösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	kundenanonyme Vorproduktion, kundenauftragsbezogene Endproduktion	Produktion auf Lager	
		Erzeugnismerkmal	Erzeugnisspektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten
Erzeugnismerkmal	Erzeugnisstruktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur		mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur		geringteilige Erzeugnisse
		Dispositionsmerkmal	Bedarfs-ermittlung	bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene	teilweise erwartungs-/teilweise bedarfsorientiert auf Komponentenebene	erwartungsorientiert auf Komponentenebene
Auslösung Sekundärbedarf	auftragsorientiert		teilweise auftragsorientiert/teilweise periodenorientiert	periodenorientiert		
Be-schaffungs-art	weitgehender Fremdbezug		Fremdbezug in größerem Umfang	Fremdbezug unbedeutend		
Bevorratung	keine Bevorratung von Bedarfspositionen		Bevorratung von Bedarfspositionen auf unteren Strukturebenen	Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen	Bevorratung von Erzeugnissen	
Fertigungsmerkmal	Fertigungsart	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	
	Ablaufart in der Teilefertigung	Werkstattfertigung	Inselfertigung	Reihenfertigung	Fließfertigung	
	Ablaufart in der Montage	Baustellenmontage	Gruppenmontage	Reihenmontage	Fließmontage	
	Fertigungsstruktur	Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad		Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad	Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad	
	Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung	Änderungseinflüsse in größerem Umfang		Änderungseinflüsse gelegentlich	Änderungseinflüsse unbedeutend	

⁴¹ In Anlehnung an Schuh 2006, S. 121 und Kurbel, Endress 2005, S. 25 nach Büdenbender 1991, S. 51.

Tabelle 5: Produktionstypologie und beispielhafte Ausprägung nach Schulte, Koch, Baumeister⁴²

Merkmale	Ausprägungen				
dominierender Fertigungsprozess	Stückfertiger			Prozessfertiger	
Fabrikkonfiguration	Fertigungsfabrik	Montagefabrik		Komplettfabrik	
Fertigungsart	Einzel-fertigung	Kleinserien-fertigung	Serien-fertigung	Massen-fertigung	
Grad des Technikeinsatzes	klein	mittel		hoch	
vorherrschender Produktionsfaktor	Arbeit	Material		Kapital	
Auftragsauslösungsart	MtO	Mischform		MtS	
Fertigungstiefe	gering	mittel		hoch	
Anzahl der Produktvarianten	gering	mittel		hoch	
Erzeugnisspektrum	nach Kunden-spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standard-erzeugnisse mit Varianten	Standard-erzeugnisse ohne Varianten	
Erzeugnisstruktur	geringteilige Erzeugnisse	mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur		mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	
Produkttechnologie	Low-Tech	Mischform		High-Tech	
Prozesstechnologie	einfache	Basis-	innovative	Spitzen-	Schlüssel-
	Technologie				
Nachfrageverlauf	sporadisch	schwankend/saisonal		progressiv	linear

Die von Hahn und Laßmann aufgestellte Typologie (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 44 sowie Tabelle 6) hat ein anderes Ziel als die beiden eben vorgestellten Typologien, die eher auf konkrete, praktische Anwendungsfälle abzielen. Der Zweck der Produktionstypologie von Hahn und Laßmann ist der Aufbau einer Grundlage für die Entwicklung betriebswirtschaftlicher Theorien durch Erfassung der wesentlichen Strukturen und kausalen Zusammenhänge in der Produktion (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 41). Die Typologie dient weiterhin auch dazu, die theoretischen Aussagen hinsichtlich ihres

⁴² Nach Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 11.

Bezugs und ihrer Relevanz zur betrieblichen Realität zu prüfen (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 42).

Tabelle 6: Übersicht zur Produktionstypologie⁴³

Merkmale von Elementartypen	Merkmalsausprägung			
Produktbezogene Merkmale und ihre Ausprägung				
Zahl der angebotenen und produzierten Produkteinheiten	Einproduktproduktion		Mehrproduktproduktion	
Abnehmereinflüsse auf die Produktgestaltung	unmittelbar kundenorientierte Produktion		mittelbar kundenorientierte Produktion	
Prozessbezogene Merkmale und ihre Ausprägung				
Stufigkeit	einstufig		mehrstufig	
Prozesswiederholung	Einzelproduktion	Serien-/Sortenproduktion		Massenproduktion
Anordnung der Arbeitssysteme	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion	
zeitliche Abstimmung	global abgestimmte Arbeitsfolgen	teilabgestimmte Arbeitsfolgen	fein abgestimmte/getaktete Arbeitsfolgen	
zeitliche Prozessanordnung	Wechselproduktion		Parallelproduktion	
Kontinuität des Materialflusses	technologisch diskontinuierliche Prozesse (Chargenproduktion)		technologisch kontinuierliche Prozesse	
Verbundenheit der Produktion	unverbundene Produktion		verbundene/gekuppelte Produktion	
Entwicklungsstufe der Produktionstechnik	manuelle Produktion	maschinelle Produktion	teil-automatisierte Produktion	voll-automatisierte Produktion
Prozesseinwirkung auf Einsatzstoffe	analytische Prozesse	synthetische Prozesse	analytisch-synthetische Prozesse	stoffneutrale Prozesse
Prozesstechnologie	physikalisch	chemisch	kern-physikalisch	biologisch
Beherrschbarkeit der Prozesse	vollständig beherrschbare Produktion		nicht vollständig beherrschbare Produktion	
Faktorbezogene Merkmale und ihre Ausprägung				
Ortsgebundenheit der Produktionsfaktoren	ortsgebundene Potenzialfaktoren		ortsungebunde Produktionsfaktoren, aber ortgebundene Produkte	
wirtschaftliches Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	
Wiederholbarkeit der Erzeugniseinsatzstoffbeschaffung	Einmaligkeit der Stoffbeschaffung	begrenzte Wiederholbarkeit	unbegrenzte Wiederholbarkeit	

⁴³ Nach Hahn, Laßmann 1999, S. 44.

Typologien von Fabriken

In großen Teilen werden in der Literatur Fabriktypen nur im Rahmen des Fabrikplanungsprozesses behandelt (vgl. u. a. Schenk, Schulte 2003, S. 6; Schenk, Wirth 2004; Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 1 ff.). Schenk und Schulte haben 2003 eine Typologisierung von Fabriken zur Unterstützung der strategischen Zielplanung im Rahmen des Fabrikplanungsprozesses vorgelegt (vgl. Schenk, Schulte 2003, S. 2 ff.; Schenk, Wirth 2004, S. 18 ff.). Die Autoren stellen dabei für diverse Betrachtungsebenen verschiedene Fabriktypen zusammen (siehe Abbildung 39). Im streng definitorischen Sinn (siehe Abschnitt 3.1.1) handelt es sich dabei jedoch nicht um eine Typologie, da der Merkmalsraum, der für die Bildung der einzelnen Typen gewählt wurde – auch innerhalb einer Betrachtungsebene –, nicht bei allen Typen gleich ist.

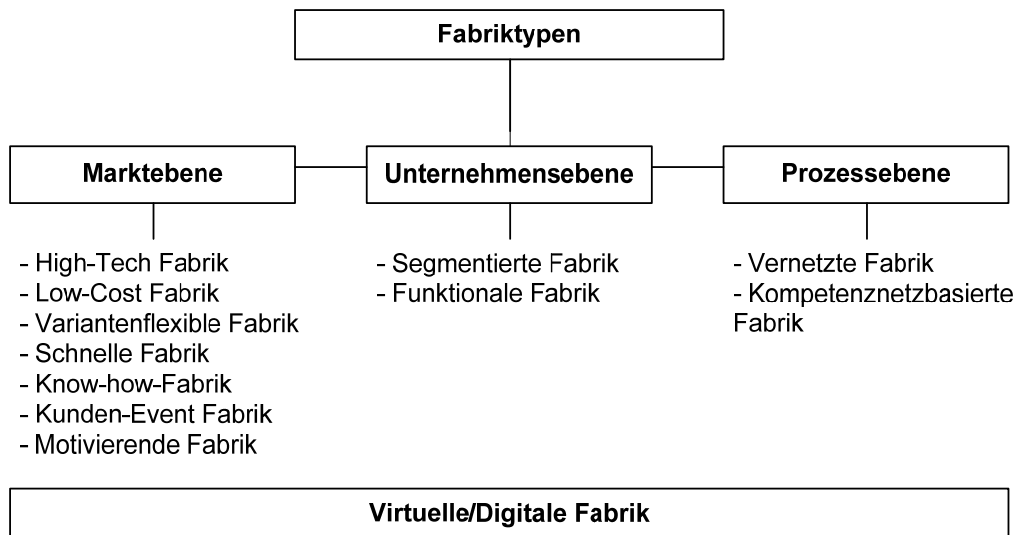


Abbildung 39: Fabriktypengliederung nach Betrachtungsebenen⁴⁴

Das Konzept der verschiedenen Betrachtungsebenen beziehungsweise Betrachtungsperspektiven bezüglich der Struktur einer Fabrik hatte einige Jahre vor Schulte bereits Wiendahl verwendet (vgl. Wiendahl 2001, S. 10, siehe Abbildung 40).

⁴⁴ Aus Schenk, Wirth 2004, S. 19.

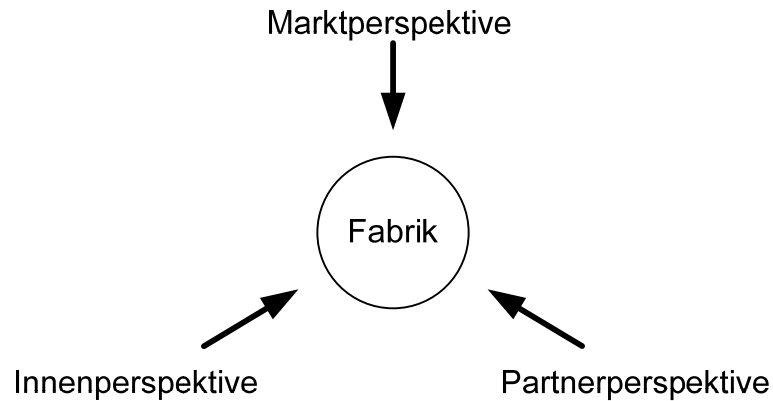


Abbildung 40: Unterschiedliche Perspektiven hinsichtlich einer Fabrik⁴⁵

Für die detaillierte Beschreibung der einzelnen Fabriktypen bzgl. der drei Perspektiven entwickelte Wiendahl 13 Fabrikarchetypen, die jedoch niemals in Reinform, sondern immer als Mischform von Archetypen jeder Perspektive auftreten (vgl. Wiendahl 2001, S. 10 und Abbildung 41). Weiterhin ist zu beachten, dass trotz gleicher verbaler Bezeichnung die Merkmale der Archetypen bei Schenk/Wirth und Wiendahl voneinander abweichen.

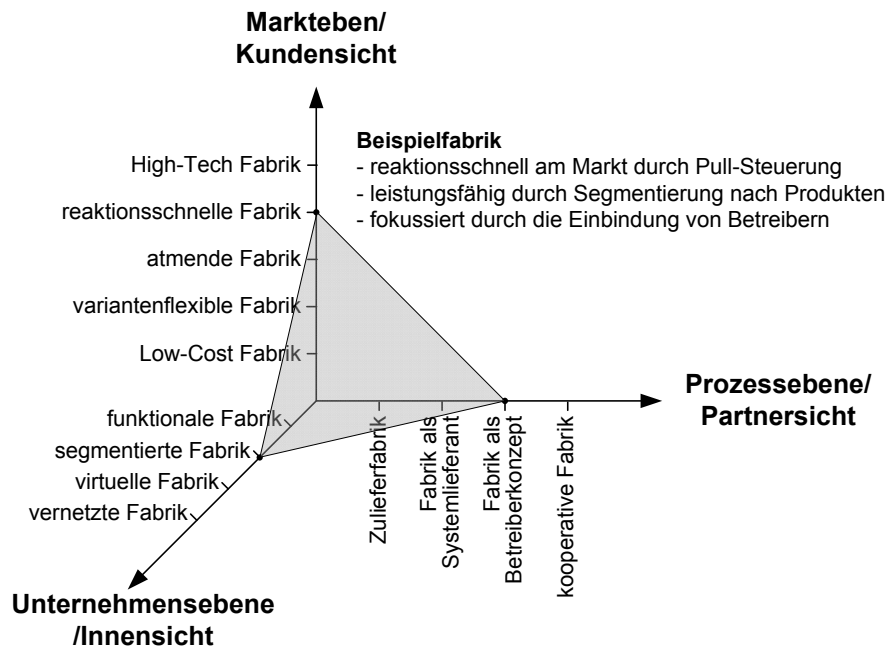


Abbildung 41: Positionierung eines Fabrikkonzepts⁴⁶

⁴⁵ Eigene Darstellung nach Wiendahl 2001, S. 7f.

⁴⁶ Aus Wiendahl 2001, S. 10.

Schulte, Koch und Baumeister verfolgen einen anderen Ansatz bei ihrer Fabriktypologie (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 7 ff.). Im Gegensatz zu Wiendahl (2001), Schenk und Wirth (2004) beruht ihre Typologie nicht auf unabhängigen Betrachtungsebenen, die eher das Ergebnis einer Außenansicht auf die Fabrik sind, sondern auf sieben wesentlichen Merkmalen, die eine Fabrik charakterisieren (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 7. und siehe Abbildung 42). Das Ergebnis dieser Charakterisierung ist dabei die Innenansicht einer Fabrik (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 8).

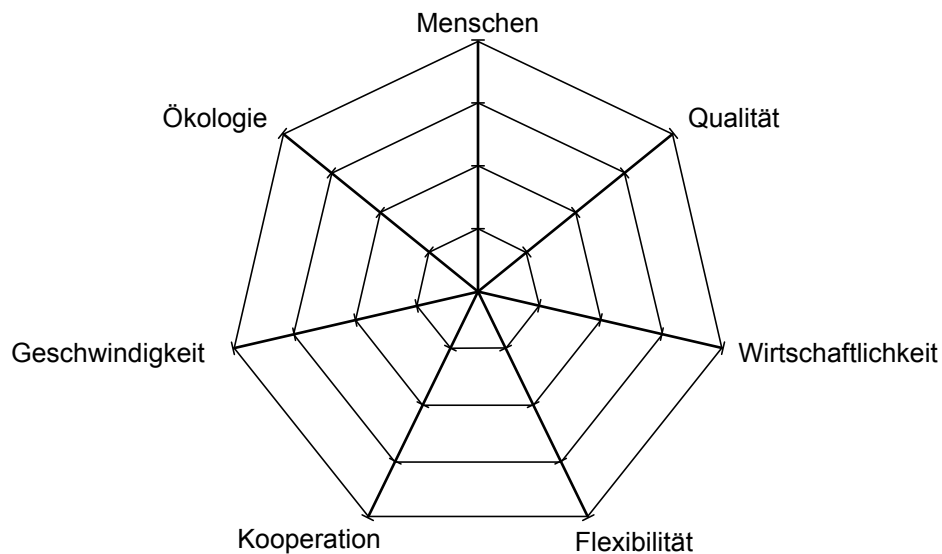


Abbildung 42: Sieben eine Fabrik charakterisierende Merkmale⁴⁷

Schulte, Koch, Baumeister definieren für diesen sieben-dimensionalen Merkmalsraum verschiedene Fabriktypen (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 8). Die gebildeten Typen haben bzgl. aller Attribute eine bestimmte Ausprägung (im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Ansätzen von Schenk/Wirt und von Wiendahl, bei denen einem Typ nicht zwangsweise eine Ausprägung zu jedem Merkmal zugeordnet wird) (siehe Abbildung 43). Von den sieben gebildeten Beispieltypen hat jeder in einem Merkmalsbereich eine überdurchschnittliche Ausprägung während dieser Typ bei den anderen Attributen nur durchschnittliche bis unterdurchschnittliche Ausprägungen aufweist (siehe Abbildung 43). Das Attribut mit der höchsten Ausprägung war zugleich bestimmend für die verbale Beschreibung des Typs (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 9). Interessant sind dabei die Korrelationen, die Schulte, Koch, Baumeister zwischen den einzelnen Merkmalsausprägungen konstituieren. Beispielsweise scheinen Wirt-

⁴⁷ Nach Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 8.

schaftlichkeit und Flexibilität zueinander umgekehrt proportionale Ausprägungen zu sein (vgl. Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 9).

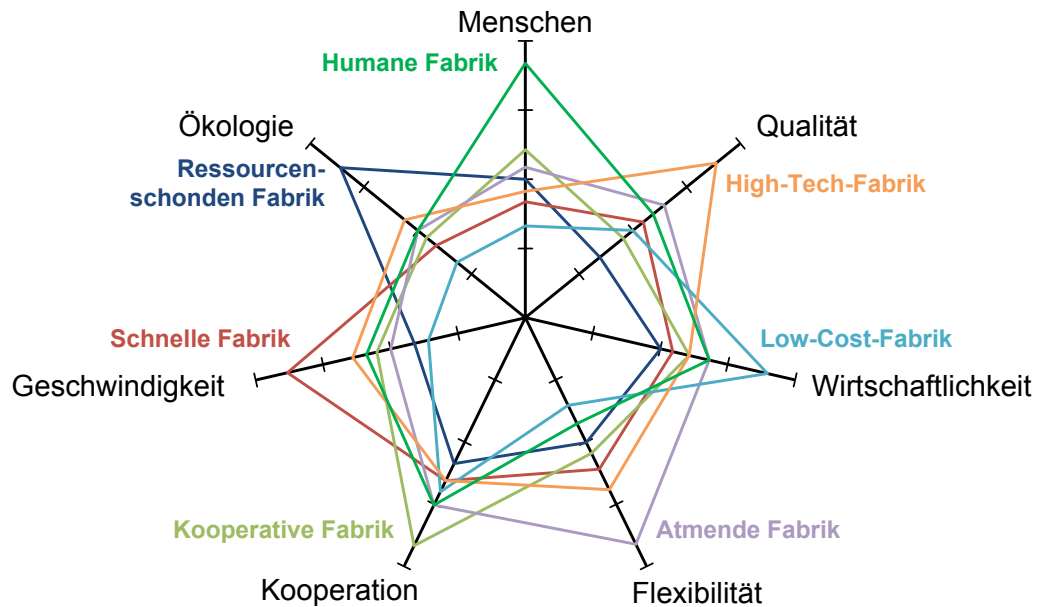


Abbildung 43: Merkmalsausprägungen verschiedener Fabriken⁴⁸

Westkämper benutzt eine ganz anders aufgebaute Typologie (vgl. Westkämper 2008, S.1-26). Ausgehend von der These, dass Fabriken Produkte sind, identifiziert er vier Typologien⁴⁹ von Fabriken (vgl. Westkämper 2008, S. 6 f.). Er räumt jedoch ein, die vorgestellten Typen „sind natürlich sehr stark polarisiert“ (Westkämper 2008, S. 7), erkennt aber auch an, dass die Konsequenz, mit der ein Unternehmen seine Strategie der Produktion umsetzt, erheblichen Einfluss auf die Gestaltung der Fabrik hat (vgl. Westkämper 2008, S. 7).

⁴⁸ Nach Schulte, Koch, Baumeister 2002, S. 9.

⁴⁹ Westkämper benutzt den Begriff „Typologie“ bereits für den einzelnen Typus (vgl. Westkämper 2008, S. 6 f.).

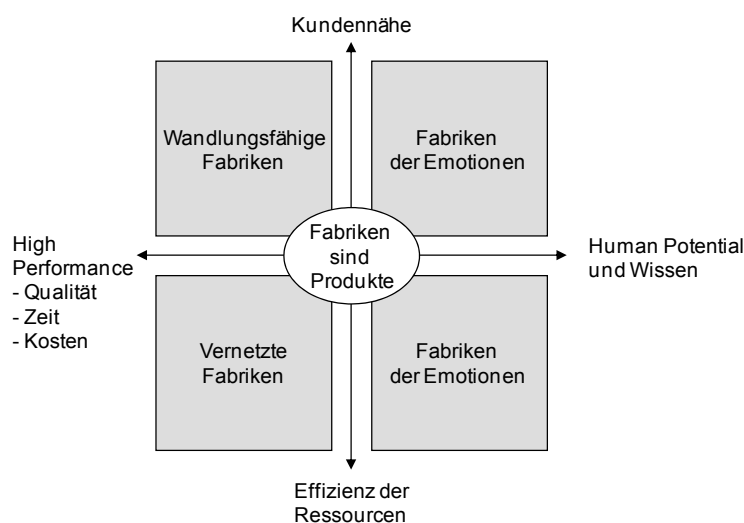


Abbildung 44: Typologie von Hochleistungsfabriken⁵⁰

Kritische Würdigung der bestehenden Typologien

Die Anzahl der bisher erstellten Typologien zum Gegenstand „Fabrik“ und „Produktionssystem“ ist hoch. Hier wurde nur ein kleiner Ausschnitt mit den am weitesten verbreiteten vorgestellt. Ein Schwerpunkt dieser Typologien liegt dabei auf dem Problemfeld der „Produktionsplanung und -steuerung“ (vgl. beispielsweise die hier von Büdenbender (1991); Hahn, Laßmann (1999); Nebl (2004)) vorgestellten und auf der Fabrikneuplanung (Wiendahl (2001); Schulte, Koch, Baumeister 2002; Schenk, Wirth (2004)). Die im vorhergegangenen Abschnitt vorgestellten Typologien stellen nur eine Reduktion⁵¹ aus dem Gesamtmerkmalsraum „Fabrik“ beziehungsweise „Produktion“ für einen bestimmten Anwendungszweck dar und beziehen sich nicht explizit auf Aspekte der Logistik. Die Definition des Untersuchungszieles ist aber ein wesentlicher Bestandteil des Prozesses der Typenbildung und bestimmt damit auch das Ergebnis des Prozesses mit (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 34 ff. und 50 f.). Aus diesem Grund ist mit dem Ziel, logistikrelevante Typen zu erzeugen, eine entsprechende Typologie zu entwickeln. Diese Vorgehensweise war prägend für die im folgenden Abschnitt beschriebene Entwicklung der Typologie für Logistiksysteme.

⁵⁰ Aus Westkämper 2008, S.432.

⁵¹ Im Sinne der unter 3.1.1 vorgestellten typologischen Operation.

3.2 Entwicklung einer Typologie von Logistiksystemen

3.2.1 Zielstellung der Typenbildung

Im Folgenden wird eine Typologie von Logistiksystemen erarbeitet. Das methodische Vorgehen orientiert sich dabei an dem von Große-Oetringhaus vorgeschlagenen Vorgehen zur Typenbildung (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 79 f. sowie Abschnitt 3.1 und insbesondere Tabelle 3).

Der Objektbereich, für den die Typologie entwickelt werden soll, sind Logistiksysteme in der Fertigungsindustrie. Die Abgrenzung des Logistiksystems von anderen inner- und außerbetrieblichen Systemen erfolgt dabei gemäß der Definition in Abschnitt 2.1.1. Die Hauptaufgabe eines Logistiksystems in einer Fabrik ist die Ver- und Entsorgung der Produktion. Das Ziel der Logistik ist es, diese Aufgabe möglichst effizient auszuführen bzw. den Logistikerfolg zu optimieren (vgl. u. a. Schulte 2009, S. 7; Jetzke 2007, S. 12; Gudehus 2011, S. 8 und S. 73 f.). Nach dem Vorgehensmodell von Große-Oetringhaus (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 51) ist dies das so genannte Bereichsziel.

Der Logistikerfolg hat zwei Komponenten: die Logistikleistung und die Logistikkosten (vgl. Schulte 2009, S. 8). Das erreichte Ergebnis des Logistiksystems – die Logistikleistung – hat folgende Elemente (vgl. Schulte 2009, S. 7; Gudehus 2011 S. 75):

- Lieferzeit/Durchsatz und Aufträge
- Lieferzuverlässigkeit/Termintreue
- Lieferflexibilität/Flexibilität
- Lieferqualität/Sendungsqualität
- Informationsfähigkeit und
- Lieferfähigkeit.

Bei der zweite Komponente des Logistikerfolges, den Logistikkosten, können folgende relevante Arten⁵² unterschieden werden (vgl. Lödding 2005, S. 19; Gudehus 2011, S. 147 f.; Schulte 2009, S. 10):

- Transportkosten
- Lagerkosten
- Handlingskosten
- Beschaffungskosten

⁵² In den angegebenen Literaturstellen werden noch weitere Logistikkostenarten aufgezählt, die jedoch für den hier betrachteten Gegenstandsbereich nicht relevant sind.

- Entsorgungskosten
- Steuerungs- und Systemkosten sowie
- Verzugskosten.

Diese Kostenarten setzen sich jeweils aus mehreren Bestandteilen zusammen (vgl. Gudehus 2011, S. 146 f.):

- Personalkosten
- Raum- und Flächenkosten
- Strecken- und Netzkosten
- Betriebsmittelkosten
- Ladungsträgerkosten
- Sachkosten
- Fremdleistungskosten
- Bestandskosten
- Steuern, Gebühren, Versicherungen und
- IT-Kosten.

Die Lagerkosten setzen sich beispielsweise aus den Personalkosten für das Lagerpersonal, den Raumkosten für das Gebäude „Lager“, aus den Kosten für die Betriebsmittel wie Regale, Stapler und Steuerungstechnik, aus den Aufwendungen für die Verpackung der gelagerten Güter und aus den Zinsen und Abschreibungen der Waren, die gelagert werden, zusammen. Ein anderes Beispiel sind die Umschlagskosten einer Kommissionierung, die sich zusammensetzen aus den Personalkosten für den Kommissionierer und den Bereitsteller, aus Flächenkosten für die Kommissionierzone, aus Betriebsmittelkosten für Kommissionierregale und eventuelle Hilfsmittel, Ladungsträgerkosten für die in der Kommissionierung bereitgehaltenen Teile etc.

Die Optimierung des Logistikerfolges kann grundsätzlich auf zwei Weisen erfolgen:

- zum einen durch die „Verfolgung eines optimalen Logistikleistungsgrades“ (Schulte 2009, S. 11) und
- zum anderen durch die „Verfolgung eines geforderten (oder eines gegebenen, Anmerkung des Verfassers) Leistungsgrades bei Minimierung der [...] Logistikkosten“ (Schulte 2009, S. 11).

Zur Ermittlung des optimalen Logistikleistungsgrades sind die Zielbeiträge der einzelnen Elemente der Logistikleistung zu quantifizieren und mit Kosten zu bewerten. Aufgrund der Schwierigkeiten Logistikleistungen quantitativ zu bewerten und die

Logistikkosten zu erfassen, ist zur Optimierung der Logistik in der betrieblichen Praxis die zweite Vorgehensweise weiter verbreitet (vgl. Schulte 2009, S. 11 und Abschnitt 2.3.3).

3.2.2 Auswahl der Merkmale zur Beschreibung der Logistiksysteme

Für die Auswahl der Merkmale sind zunächst die wesentlichen Merkmale C_i und anschließend deren Ausprägungen c_j zu erfassen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S.52 f.). Wesentlich sind diejenigen Merkmale, die in einem ursächlichen Zusammenhang mit den Zielen des untersuchten Bereichs stehen und mit denen in Bezug auf die Typologie problemadäquate Typen gebildet werden können (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S.52). Es sind demnach diejenigen Merkmale zu identifizieren, die einen signifikanten Einfluss auf die Logistikleistung und auf die Logistikkosten haben. Dabei können drei Gruppen von Merkmalen unterschieden werden (vgl. auch Abbildung 4):

1. reine Logistikmerkmale
2. Merkmale aus dem Produktionssystem
3. Merkmale aus dem Umsystem

Folgende Merkmale lassen sich der ersten Gruppe zuordnen:

- Handlingsstufen (C_1)
- Materialflusskomplexität (C_2)
- Lagerorganisation (C_3)
- Layouttyp (C_4)
- Bestandsreichweite (C_5)

Der zweiten Gruppe sind folgende Merkmale zuordenbar:

- Fertigungsorganisation (C_6)
- Prozesswiederholung (C_7)
- Erzeugnisspektrum (C_8)
- Fertigungsstruktur (C_9)

Zur dritten Gruppe gehören:

- Bedarfsauslöser (C_{10})
- Programm (C_{11})
- Gewicht der Faktorarten (C_{12})

Wesentlich für die Bildung der Elementartypen ist die Definition der Merkmalsausprägungen c_j . Dies geschieht für alle Merkmale wie im Folgenden beschrieben.

Handlingsstufen C_I

Mit diesem Merkmal wird erfasst, wie groß der logistische Aufwand ist, der in einer Fabrik erforderlich ist, um die Fertigung mit eingehendem Material zu versorgen. Der Aufwand korreliert stark mit der Anzahl an Handlingsstufen, die ein Material vom Wareneingang bis zum Verbrauchsort durchlaufen muss (vgl. Rosendahl, Radow 2004, S. 207). Die Verringerung der Anzahl der Handlingsstufen ist gleichzeitig ein Ansatzpunkt zur Optimierung von Materialflussprozessen (vgl. dazu unter anderem Cluss 1996, S. 171; Gudehus 2011, S. 77; Klug 2010, S. 316 f.). Zur Abgrenzung der einzelnen Handlingsstufen voneinander sind die beiden Tätigkeiten „aufnehmen“ und „abgeben“ relevant. Als eine Handlingsstufe soll jede (logistische) Tätigkeit verstanden werden, die mit einem „Aufnehmen“ beginnt und dem nächsten „Abgeben“ endet (siehe Abbildung 45). Das „Aufnehmen“ und das „Abgeben“ beziehen sich dabei immer auf das Material. Ob das Material direkt oder in einem Transporthilfsmittel manipuliert wird ist unerheblich. Erfolgt zwischen dem „Abgeben“ und dem „Aufnehmen“ eine Lagerung, so ist diese ebenfalls als Handlingsstufe zu zählen. Unter „Lagerstufen“ soll die Anzahl der Lager zwischen Wareneingang und Bereitstellung am Verbrauchsort (vgl. analog die Definition bei Schulte 2009, S. 459 f., sowie Gudehus 2011, S. 334.) verstanden werden.

Der Extremwert dieses Merkmals ist einerseits die Direktanlieferung (siehe Abbildung 46, Versorgungskonzept 1), bei der eingehendes Material ohne größeren Zeitverzug und ohne weitere Zwischenschritte direkt zum Verbrauchsort transportiert wird. Der andere Pol der Merkmalsausprägung sind Prozesse mit sehr vielen Zwischenschritten. Zwischen diesen Polen scheinen zwei weitere Abstufungen sinnvoll zu sein, so dass für das Merkmal *Handlingsstufen* die in Tabelle 7 dargestellten Ausprägungen Anwendung finden sollen.

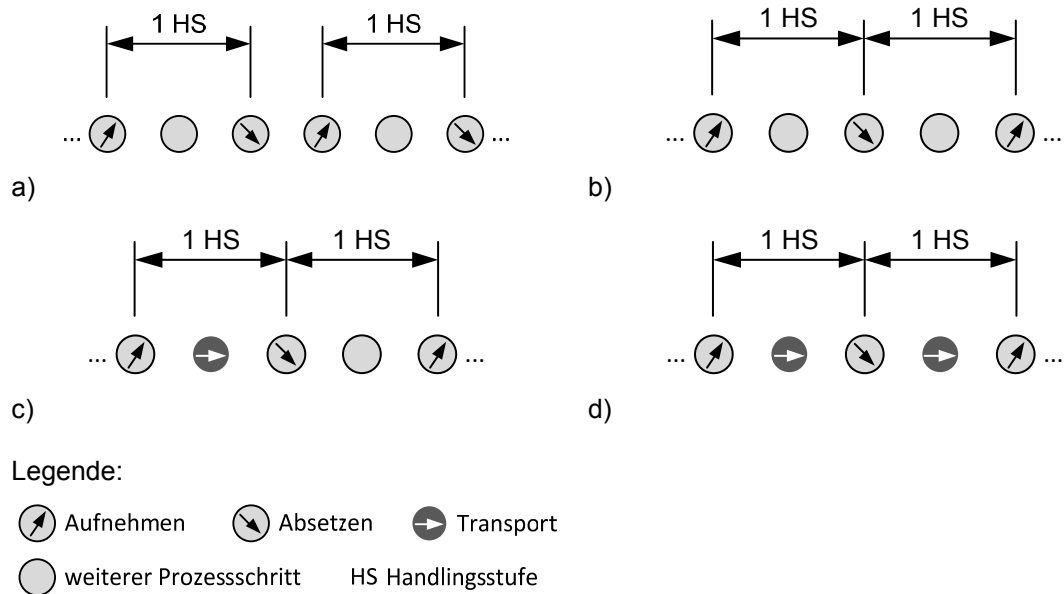


Abbildung 45: Abgrenzung der einzelnen Handlingsstufen

Tabelle 7: Ausprägungen für das Merkmal Handlingsstufen

Merkmal C ₁	Ausprägungen			
	Direktanlieferung	wenige	mittel	viele
Anzahl Handlingsstufen				

In Abbildung 46 ist für verschiedene Versorgungskonzepte der Aufwand beim Handling dargestellt. Mit „weiterer Prozessschritt“ ist in diesem Kontext bspw. kommissionieren, prüfen etc. gemeint.

Versorgungskonzept 1 aus Abbildung 46, die so genannte Direktanlieferung, verfügt nur über eine Handlingsstufe⁵³:

- (1) Aufnehmen vom Trailer → *Transport zum Verbrauchsort* → Absetzen am Verbrauchsort

Bei dem Versorgungskonzept 5 in Abbildung 46 sind es inklusive zweier Lagerstufen ((3) und (5)) sechs Handlingsstufen:

- (1) Aufnehmen vom Trailer → *Transport in den WE* → Absetzen im WE
- (2) Aufnehmen der Ware im WE → *Transport in das Lager* → Absetzen im Lager (= Einlagern)

⁵³ Unter der Prämisse, dass das innerbetriebliche Transportmittel während des Transports nicht gewechselt wird.

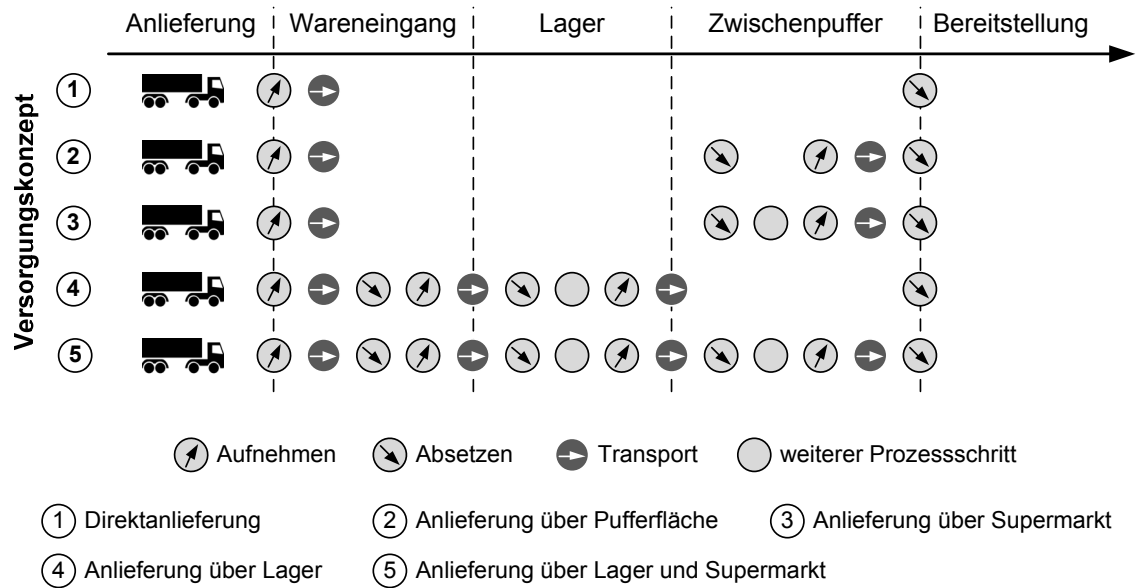


Abbildung 46: Erforderliche Handlingsaufwendungen für verschiedene Versorgungskonzepte⁵⁴

(3) Lagern (Lagerstufe 1)

(4) Aufnehmen der Ware im Lager (= Auslagern) → *Transport zum Supermarkt* → Absetzen im Supermarkt (= Bestücken des Supermarkts/Nachschub)

(5) Lagern (Lagerstufe 2)

(6) Aufnehmen der Ware im Supermarkt (= Kommissionieren) → *Transport zum Verbrauchsort* → Absetzen am Verbrauchsort

Auch eine weit größere Anzahl an Handlingsstufen ist bei realen Prozessen denkbar. Bspw. umfasste der Logistikprozess zur Versorgung der Motorenfertigung mit Hochdruckpumpen im Werk Steyr der BMW Group vor einer Optimierung 24 Handlingsstufen (vgl. Arlt 2009, S. 20).

Komplexität des Materialflusses C_2

Der Begriff *Komplexität* wird in den verschiedenen Wissenschaftszweigen unterschiedlich definiert (vgl. Mainzer 2008, S. 10 ff.; Mayer 2007, S. 20). Unter Komplexität eines Systems wird in den Wirtschaftswissenschaften die Vielfalt der Relationen zwischen den Elementen und deren Verhaltensmöglichkeiten sowie der Veränderlichkeit der Wirkungsverläufe der Gesamtheit aller Elemente eines Systems verstanden (vgl. u. a. Schwaninger 1996, S. 1947 f.). Die Komplexität des Materialflusses wird damit aus der

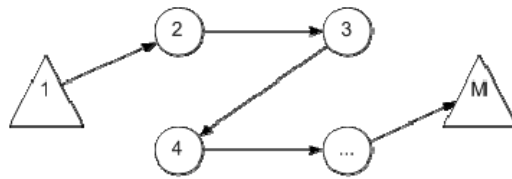
⁵⁴ Modifiziert nach Boppert, Schedlbauer, Günthner 2007, S. 353. Hier wurde Versorgungskonzept 5 ergänzt.

Anzahl der Elemente des Materialflusssystem (Varietät, vgl. dazu Schwaninger 2004, S. 6 f.) und der Vielzahl an Beziehungen zwischen diesen Elementen (Konnektivität) gebildet (vgl. Lücke 1999, S. 56 f.).

Erste Betrachtungen zur Komplexität von Materialflüssen in Fertigungssystemen wurden durch Büchel (vgl. Büchel 1968) und Sainis (vgl. Sainis 1975) vorgenommen und entsprechende Kennzahlen erarbeitet. Weitere Untersuchungen finden sich bei Lücke (vgl. Lücke 1999) und Bornhäuser (vgl. Bornhäuser 2009) sowie bei Lödding (vgl. Lödding 2005, S. 104 f.). Die genannten Autoren beziehen sich dabei jedoch nur auf den Materialfluss in Fertigungssystemen, das heißt nur auf den Materialfluss zwischen den einzelnen Arbeitsstationen der Fertigung und vernachlässigen explizit die Produktionslogistik zur Ver- und Entsorgung der Fertigung: „Die Beziehungen vom Rohlager zu den Maschinengruppen und von diesen zum Fertiglager sollen nicht berücksichtigt werden...“ (Büchel 1968, S. 26).

Die Betrachtungen lassen sich jedoch auf das Logistiksystem (in der in Abschnitt 2.1.1 dargestellten Abgrenzung) erweitern, indem als Elemente des Systems, nicht nur die Kapazitätseinheiten der Fertigung (vgl. Bornhäuser 2009, S. 30), sondern auch die Elemente des Logistiksystems (Lager, Zwischenpuffer, Wareneingang, Kommissionierung, Umschlagsflächen etc.) einbezogen werden. Die Elemente sollen allgemein als Materialflussknoten (MF_i) bezeichnet werden. Die Gesamtzahl an Materialflussknoten sei M .

Bei der Beschreibung von Materialflüssen wird – da Logistiksysteme Flusssysteme sind (vgl. Göpfert 2009, S. 58 f.) – auf die gleichen Grundtypen wie bei anderen Flusssystemstrukturen zurückgegriffen (vgl. Förster 1983, S. 33; Müller et al. 2008, S. 24). Die Darstellung kann, in Anlehnung an Förster (1983, S. 29), sowohl als Strukturgrafik (siehe Abbildung 47 a) als auch als Strukturmatrix erfolgen (siehe Abbildung 47 b, vgl. auch Förster 1983, S. 29; Müller et al. 2008, S. 24).



	MF ₁	MF ₂	MF ₃	MF ₄	..	MF _v
MF ₁					..	
MF ₂					..	
MF ₃					..	
MF ₄					..	
...		
MF _v						

a) Strukturgrafik

b) Matrix in Tabellenform

Abbildung 47: Darstellungsformen von Materialflusstrukturen⁵⁵

Die Materialflussknoten MF_i (mit $i = 2 \dots M-1$) werden in der Strukturgrafik als Kreise und die gerichteten Materialflüsse zwischen diesen Knoten als Pfeile dargestellt. Die Randstrukturen (mit $i = 1$ und $i = M$) sind durch die Darstellung als Dreieck hervorgehoben. Die Intensität des Materialflusses zwischen den Materialflussknoten MF_i und MF_j sei ψ_{ij} . Die Materialflussintensität kann quantitativ bspw. in der Anzahl der Transportaufträge je Zeiteinheit [TA/ZE] oder Anzahl der Gebinde je Zeiteinheit [GE/ZE] erfasst werden.

Die Materialflussknoten mit $i = 1$ und $i = M$ sind gleichzeitig die Randstrukturen des Systems, wobei MF_1 die Eingangs- und MF_M die Ausgangsrandstruktur ist (vgl. Förster 1983, S. 27; Müller et al. 2008, S. 24).⁵⁶

Die Gesamtheit aller Materialflüsse sei Ψ mit:

$$\Psi = \begin{pmatrix} 0 & \psi_{12} & \psi_{13} & \dots & \psi_{1M} \\ \psi_{21} & 0 & \psi_{23} & \dots & \psi_{2M} \\ \psi_{31} & \psi_{32} & 0 & \dots & \psi_{3M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{M1} & \psi_{M2} & \psi_{M3} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad [73]$$

In der Matrix Ψ (siehe Gleichung [73]) stellen die Werte der Materialflussintensität ψ_{ij} oberhalb der Diagonale die Hinflüsse⁵⁷ in dem betrachteten Materialflusssystem dar

⁵⁵ Nach Förster 1983, S. 29.

⁵⁶ Zur Kennzeichnung der besonderen Stellung der Randstrukturen eines Materialflusses verwenden einige Autoren eine gesonderte Kennzeichnung der Randstrukturen sowohl in der Matrix als auch in der Strukturgrafik (vgl. Müller et al. 2008, S. 24; Förster 1983, S. 27 f.; im Gegensatz dazu vgl. Sainis 1975, S. 9 f.). Die mathematische Beschreibung der Zusammenhänge innerhalb des Materialflusses ist jedoch deutlich einfacher, wenn darauf verzichtet wird.

(vgl. Sainis 1975, S. 10). Die Summe der Materialflussintensitäten der Hinflüsse sei $\hat{\Psi}$ mit:

$$\hat{\Psi} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \psi_{ij} \quad \forall i < j \quad [74]$$

Die Werte unterhalb der Diagonale in der Materialflussmatrix stellen die Rückflüsse dar (vgl. Sainis 1975, S. 10). Die Summe der Materialflussintensitäten der Rückflüsse sei $\underline{\Psi}$ mit:

$$\underline{\Psi} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \psi_{ij} \quad \forall i > j \quad [75]$$

Als Grundgestalt aller Materialflussstrukturen gelten Punkt-, Linien- und Netzstruktur (vgl. Förster 1983, S. 30 ff.). Durch die Attribute gerichtet/ungerichtet und zyklisch/nichtzyklisch werden diese Grundstrukturen detaillierter bestimmt (vgl. Förster 1983, S. 31 f.). Eine Punktstruktur ist durch Materialflussintensitäten gekennzeichnet, die ausschließlich zwischen einem Randstrukturknoten und den anderen Materialflussknoten verschieden von 0 sind (siehe Abbildung 48a; vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24):

$$\psi_{ij} \begin{cases} > 0 & \forall i = 1, \forall j < M \\ = 0 & \forall i > 0, \forall j < M \\ > 0 & \forall i > 0, \forall j = M \end{cases} \Bigg|_{\text{mit } i < j} \quad [76]$$

Die Linienstruktur wird durch solche Materialflussintensitäten gekennzeichnet, die lediglich zu dem Nachfolger in der Strukturdarstellung bestehen (siehe Abbildung 48b; vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24):

$$\psi_{ij} \begin{cases} > 0 & \forall i = j - 1 \\ = 0 & \forall i \neq j - 1 \end{cases} \quad [77]$$

Strukturen, die nicht den Bedingungen einer Punkt- oder Linienstruktur zuzuordnen sind, werden Netzstruktur genannt (siehe Abbildung 48d; vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24). Sie werden weiterhin dann als gerichtet bezeichnet, wenn nach [75] gilt, dass $\underline{\Psi} = 0$ ist (vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24). Wenn $\underline{\Psi} > 0$, wird von einer ungerichteten Struktur gesprochen (siehe Abbildung 48c

⁵⁷ Hinflüsse bedeutet in diesem Kontext Materialflüsse ψ_{ij} mit $i < j$ (vgl. Büchel 1968, S. 26, Sainis 1975, S. 10).

und d; vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24). Zyklisch ist eine Struktur, wenn gilt (vgl. Förster 1983, S. 30 f.; Müller et al. 2008, S. 24):

$$\psi_{M1} > 0 \quad [78]$$

Bei der Betrachtung der Komplexität ist eine Unterscheidung in die Komplexität aus Planungs- und die aus Steuerungssicht sinnvoll. Für die Betrachtung von *Fertigungssegmenten* nennt Bornhäuser folgende Merkmale, die die Planungskomplexität beschreiben: „die Anzahl zu fertigender Materialnummern, die Anzahl planungsrelevanter Kapazitätseinheiten und die Anzahl zu fertigender Aufträge je Periode“ (Bornhäuser 2009, S. 30). Diese Kriterien lassen sich leicht auf ein Materialflusssystem übertragen, so dass die Merkmale der Planungskomplexität des Logistiksystems beschrieben werden durch

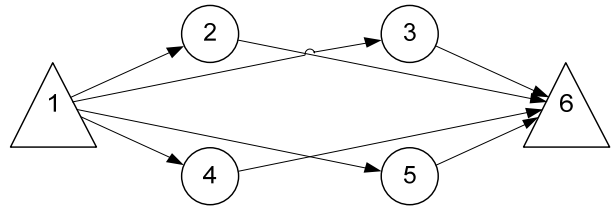
- die Anzahl an Materialnummern,
- die Anzahl M planungsrelevanter Materialflussknoten MF und
- die Anzahl der Aufträge (Lager-, Transport- und Kommissionieraufträge) je Periode.

Aus Steuerungssicht sind für die Bestimmung der Komplexität der Grad der Linearität und der Vernetzungsgrad des Materialflusses relevant (vgl. Bornhäuser 2009, S. 30). Die Linearität wird durch den Richtungskoeffizienten RK (vgl. Büchel 1968 S. 26 f.) beschrieben und die Vernetzung durch den Desintegrationsgrad DI (vgl. Sainis 1975, 11 ff.).

Büchel leitet den Richtungskoeffizienten RK aus folgender Überlegung ab (vgl. Büchel 1968, S. 25 f.): Die in der Materialflussmatrix Ψ beschriebenen Materialflussintensitäten sollen genau dann einen Richtungskoeffizienten von 100 % ergeben, wenn es keine Rückflüsse gibt und der Fluss vollkommen linear ist. Weiterhin soll RK bei völliger Unordnung den Wert 0 % annehmen, d.h. dann, wenn die Intensität der Rückflüsse gleich der Intensität der Hinflüsse ist:

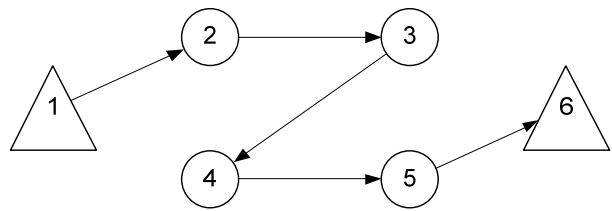
$$RK = \begin{cases} 0 \Leftrightarrow \Psi = \hat{\Psi} \\ 1 \Leftrightarrow \Psi = 0 \end{cases} \quad [79]$$

	MF ₁	MF ₂	MF ₃	MF ₄	MF ₅	MF ₆
MF ₁		ψ_{12}	ψ_{13}	ψ_{14}	ψ_{15}	
MF ₂						ψ_{26}
MF ₃						ψ_{36}
MF ₄						ψ_{46}
MF ₅						ψ_{56}
MF ₆						



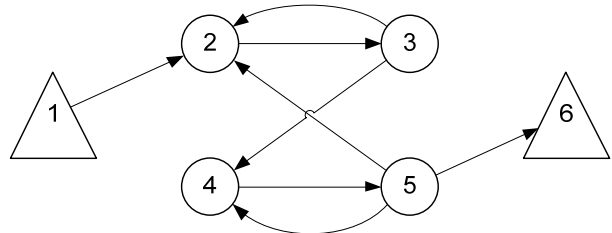
a) gerichtete, nichtzyklische Punktstruktur

	MF ₁	MF ₂	MF ₃	MF ₄	MF ₅	MF ₆
MF ₁		ψ_{12}				
MF ₂			ψ_{23}			
MF ₃				ψ_{34}		
MF ₄					ψ_{45}	
MF ₅						ψ_{56}
MF ₆						



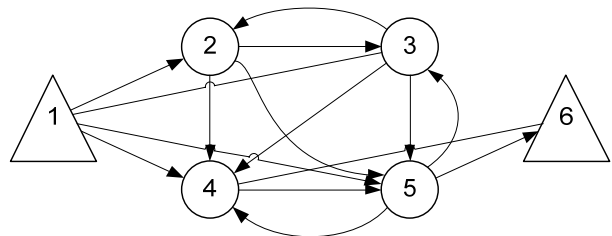
b) gerichtete, nichtzyklische Linienstruktur

	MF ₁	MF ₂	MF ₃	MF ₄	MF ₅	MF ₆
MF ₁		ψ_{12}				
MF ₂			ψ_{23}			
MF ₃		ψ_{32}		ψ_{34}		
MF ₄					ψ_{45}	
MF ₅		ψ_{52}		ψ_{54}		ψ_{56}
MF ₆						



c) ungerichtete, nichtzyklische Linienstruktur

	MF ₁	MF ₂	MF ₃	MF ₄	MF ₅	MF ₆
MF ₁		ψ_{12}	ψ_{13}	ψ_{14}	ψ_{15}	
MF ₂			ψ_{23}	ψ_{24}	ψ_{25}	ψ_{26}
MF ₃		ψ_{32}		ψ_{34}	ψ_{34}	
MF ₄					ψ_{45}	ψ_{46}
MF ₅			ψ_{53}	ψ_{54}		ψ_{56}
MF ₆						



d) ungerichtete, nichtzyklische Netzstruktur

Abbildung 48: Strukturgrundtypen

Büchel definiert auf Basis dieser Randbedingungen [79] den Richtungskoeffizienten auf folgende Weise (vgl. Büchel 1968, S. 26):

$$RK = \frac{\hat{\Psi} - \Psi}{\hat{\Psi} + \Psi} \cdot 100\% \quad [80]$$

Ein Wert von $RK = 100\%$ ist ein Kennzeichen von Logistiksystemen zur Versorgung von Fließproduktionen (vgl. auch die Ausführungen zum Merkmal Fertigungsorganisation). Bei einem Richtungskoeffizienten von $RK = 0\%$ würde ein System keinen Output erzeugen. Da jedem realen Logistiksystem, unabhängig von der Fertigungsorganisation, eine gewisse Grundrichtung eigen ist, ist RK auch bei der Werkstattfertigung stets deutlich verschieden von 0% .

Das zweite Kennzeichen der Komplexität ist die Vielzahl von Verbindungen zwischen den Elementen des Systems. Sainis hat der Maßzahl der Richtung des Materialflusses von Büchel eine der Vernetzung hinzugefügt. Der Grad der Vernetzung (Desintegrationsgrad, DI) beschreibt, wie vielfältig die Austauschbeziehungen zwischen den einzelnen Elementen des Materialflusses sind (vgl. Sainis 1975, S. 11). Bei totaler Vernetzung (siehe Abbildung 49a) ist jeder Materialflussknoten mit jedem anderen durch Hin- und Rückflüsse verbunden (vgl. Sainis 1975, S. 11). Mit M als der Anzahl der Materialflussknoten ergibt sich die maximal erreichbare Anzahl der Verknüpfungen N_{max} zu:

$$N_{max} = M(M-1) \quad [81]$$

Der Desintegrationsgrad DI wird definiert als folgender Quotient (vgl. Sainis 1975, S. 12):

$$DI = \frac{N}{M(M-1)} \cdot 100\% \quad [82]$$

wobei N die Anzahl an Materialflussbeziehungen mit

$$N = |\psi_{ij}| \text{ mit } \psi_{ij} \neq 0 \quad [83]$$

ist. Es werden nur die tatsächlichen Materialflussbeziehungen berücksichtigt und nicht alle theoretisch möglichen. Der Wertebereich von DI liegt zwischen 1 und M^{-1} (vgl. Sainis 1975, S. 12). Dabei ergeben sich aus den oben angeführten Überlegungen folgende Zwangszuordnungen (vgl. Sainis 1975, S. 12):

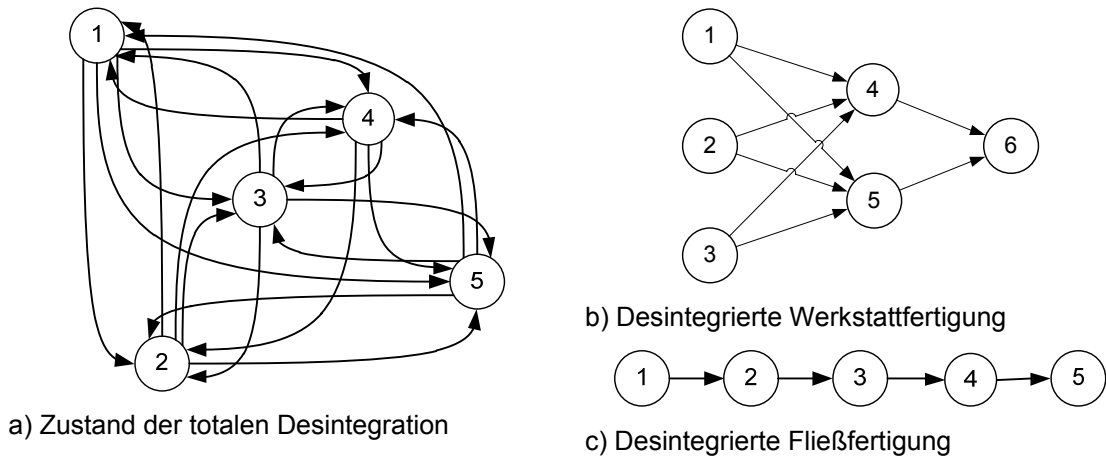


Abbildung 49: Verschiedene Zustände der Desintegration/Vernetzung⁵⁸

$$DI = \frac{1}{M} \Rightarrow RK = 1 \quad [84]$$

$$RK = 0 \Rightarrow DI = 1$$

Die Berechnung soll an einem Beispiel erläutert werden:

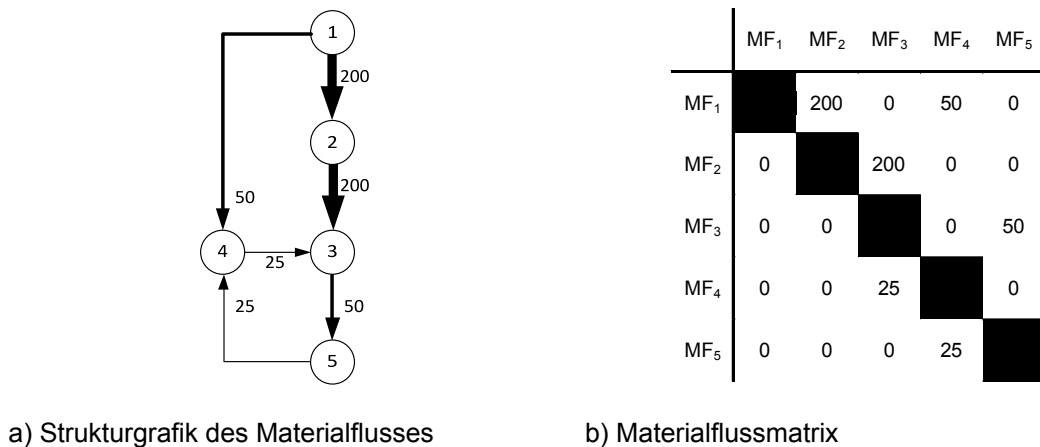


Abbildung 50: Bestimmung der Materialflusskomplexität anhand eines Beispiels

Gegeben sei ein Logistiksystem mit einem wie in Abbildung 50a gezeigten Aufbau und den dort dargestellten Beziehungen zwischen den Elementen. Die dazugehörige Materialflussmatrix Ψ ist als Tabelle in Abbildung 50b zu sehen.

Aus den in Abbildung 50 genannten Werten ergeben sich mit [80] und [82] der Richtungskoeffizient RK und der Desintegrationsgrad DI wie folgt:

⁵⁸ Modifiziert nach Sainis 1975, S. 11.

$$\begin{aligned} \hat{\Psi} &= 200 + 50 + 200 + 50 = 500 \\ \Psi &= 25 + 25 = 50 \\ RK &= \frac{500 - 50}{500 + 50} \cdot 100\% \\ &= \frac{450}{550} \cdot 100\% \\ &\approx \underline{82\%} \\ DI &= \frac{6}{5(5-1)} \cdot 100\% \\ &= \frac{6}{20} \cdot 100\% \\ &= \underline{30\%} \end{aligned} \quad [85]$$

Von Interesse ist nun, wie die Werte von *RK* und *DI* hinsichtlich einer qualitativen Interpretation der Komplexität einzuschätzen sind. Ein Hinweis auf die Beurteilung findet sich bei Bornhäuser (vgl. Bornhäuser 2009, S. 31). In Tabelle 8 sind die von ihm aufgezeigten Grenzwerte für eine qualitative Interpretation dargestellt. Das Beispiel ist gemäß Tabelle 8 als „überschaubar“ einzustufen.

Tabelle 8: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Steuerungssicht⁵⁹

		Materialflusskomplexität			
		gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
Steuerungssicht	Desintegrationsgrad	0 – 15 %	15 – 30 %	30 – 50 %	> 50 %
	Richtungskoeffizient	100 – 90 %	90 – 80 %	80 – 40 %	< 40 %

Exkurs: Bestimmung der Materialflusskomplexität, wenn die Interpretation von *DI* und *RK* zu verschiedenen Ergebnissen führen

Bei der praktischen Anwendung kann es vorkommen, dass die von Bornhäuser genannten Hinweise zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Steuerungssicht zu verschiedenen Einschätzungen führen. In solchen Fällen kann zunächst herangezogen werden, wie nah die einzelnen Werte für *RK* und *DI* an den Grenzen des jeweiligen Bereiches liegen. Weiterhin ist bei der Einschätzung zu beachten, dass der Wert für *DI* deutlich sensitiver ist, als der Wert für *RK*. Die Ursache dafür liegt in der Definition von *DI*, die lediglich die Anzahl der vorkommenden Materialflussbeziehungen zur Gesamt-

⁵⁹ Aus Bornhäuser 2009, S. 31.

anzahl aller möglichen Materialflussbeziehungen berücksichtigt, während *RK* das Verhältnis der Intensitäten der Hinflüsse in Relation zur Gesamtflussintensität darstellt. Aus diesem Grund ist *RK* deutlich weniger sensibel für Nebenprozesse.

Eine ähnliche Zusammenstellung zur Beurteilung der Materialflusskomplexität existiert auch für die Planungssicht und ist in Tabelle 9 dargestellt. Wie am Anfang der Erläuterungen zur Materialflusskomplexität ausgeführt, beziehen sich die Betrachtungen von Büchel, Sainis und Bornhäuser auf die Materialflusskomplexität eines Fertigungssegments und nicht auf ein Logistiksystem (vgl. Bornhäuser 2009, S. 30). Es ist daher zu untersuchen, inwieweit sich die Zahlenwerte für die Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungssicht von Fertigungssegmenten, wie sie in Tabelle 9 zusammengefasst sind, auf die Beurteilung der Materialflusskomplexität eines Logistiksystems übertragen lassen.

Tabelle 9: Morphologie zur Beurteilung der Materialflusskomplexität aus Planungssicht für *Fertigungssegmente*⁶⁰

		Materialflusskomplexität			
		gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
Planungssicht	Anzahl der Kapazitätseinheiten	1 – 5	5 – 20	20 – 70	> 70
	Anzahl zu fertigender Materialnummern/Jahr	1 – 10	10 – 50	50 – 500	> 500
	Anzahl zu fertigender Aufträge/Monat	1 – 10	10 – 100	100 – 1.000	> 1.000

Für die Übertragung ist es wichtig, Fertigungssegmente und (dazugehörige) Logistiksysteme hinsichtlich der Kriterien miteinander zu vergleichen. Eine Anpassung der Wertebereiche scheint notwendig. Da jedoch für die hier aufzustellende Typologie weniger die Planungssicht als vielmehr die operative Steuerungssicht relevant ist, soll dieser Ansatz nicht weiter verfolgt werden.

Die für die Typologie ausgewählten Ausprägungen für das Merkmal Materialflusskomplexität sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

⁶⁰ Nach Bornhäuser 2009, S. 31.

Tabelle 10: Ausprägungen für das Merkmal Materialflusskomplexität

Merkmal C₂	Merkmalsausprägungen			
Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex

Lagerorganisation C₃

Ein wichtiges Merkmal ist die Form der Lagerorganisation der betrachteten Fabrik. Grundsätzlich können dabei

- zentrale Lagerkonzepte und
- dezentrale Lagerkonzepte

unterschieden werden (vgl. Nebl 2007, S. 269). Bei einem zentralen Lagerkonzept wird ein sehr großer Teil der Bestands innerhalb einer Fabrik konzentriert (vgl. Schulte 2009, S. 247). Eine zentrale Lagerorganisation bietet verschiedene Vorteile:

- rationelle Raum- und Flächennutzung (vgl. Schulte 2009, S. 247)
- geringere Lagerkosten (vgl. Gudehus 2011, S. 366 und S. 368 f.) und
- geringere Lagerverwaltungskosten (vgl. Nebl 2007, S. 269).

Allerdings gibt es auch einige Nachteile der zentralen Lagerorganisation:

- relativ lange Transportwege zu den Verbrauchsorten (vgl. Schulte 2009, S. 249)
- lange Zugriffszeiten (vgl. Schulte 2009, S. 249) und
- zunehmende Komplexität (vgl. Pfohl 2004, S. 120).

Bei der dezentralen Lagerung werden in mehreren, zumeist verbrauchsornahen Bereichen Teilbestände gelagert. Dabei werden die Nachteile der zentralen Lagerung umgangen. Weitere Vorteile dezentraler Lager sind:

- mehr Flexibilität (vgl. Wannenwetsch 2010, S. 319) und
- genauere Disposition der Bedarfe (vgl. Nebl 2007, S. 269).

Jedoch gibt es spezifische Nachteile bei der dezentralen Lagerung:

- größere Bestände (vgl. Gudehus 2011, S. 368)
- höhere Lagerkosten (vgl. Nebl 2007, S. 269) und
- mehr Steuerungsaufwand.

Nachdem es zunächst vor allem aufgrund der Möglichkeit, Bestände zu reduzieren und die Lagerkosten zu senken (vgl. Gudehus 2011, S. 368 f.), einen Trend zur Zentralisierung der Lager gab (vgl. Weber, Kummer 1998, S. 90), hat sich dieser in letzter Zeit in

der Produktionslogistik umgekehrt (vgl. Klauke, Schreiber, Weißner 2005, S. 251 f.). Hintergrund dieser Entwicklung sind geänderte Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel die Möglichkeit der virtuellen Zentralisierung durch den Einsatz moderner Lagerverwaltungssysteme oder durch andere Methoden der Bestandsreduzierung (vgl. Haasis, Zimmermann, Plöger 2010, S. 268 f.). Bei der virtuellen Zentralisierung existieren zwar physisch dezentrale Lagerstrukturen, jedoch werden Bestände etc. durch das Lagerverwaltungssystem so geführt, als ob es nur ein zentrales Lager gäbe (vgl. Haasis, Zimmermann, Plöger 2010, S. 268 f.). Auch zur Reduzierung der Sicherheitsbestände wurden zunächst dezentrale Strukturen zentralisiert (vgl. u. a. Gudehus 2011, S. 398). In dem weiteren Bemühen, die Gesamtkosten des Systems Fabrik zu senken, wurden weitere Methoden angewendet (z.B. JIT-Belieferung), die nur durch eine dezentrale, fertigungsnahe Lagerung überhaupt umsetzbar waren (bspw. dadurch, dass bei JIT-Belieferung der Vorteil dezentraler Lagerung, kürzere Transportwege zu haben, ein erhebliches Gewicht gegenüber den spezifischen Nachteilen dezentraler Lagerung hat).

Da das Gewicht der genannten spezifischen Vor- und Nachteile der Lagerorganisationsformen auch vom zu lagernden Teilespektrum (bspw. klassifiziert nach ABC-, XYZ- und GMK-Methode; vgl. Nebl 2007, S. 242 ff.) abhängt, werden in manchen Unternehmen auch hybride Konzepte angewendet. Dabei werden die beiden Formen der Lagerorganisation gleichzeitig eingesetzt. In diesem Fall können bspw. hochwertige Teile mit einem großen und regelmäßigen Bedarf (so genannte Schnelldreher) in einem dezentralen, verbrauchsornahen Lager untergebracht und geringwertige Langsamdreher in einem zentralen Lager konsolidiert werden (vgl. Gleißner, Femerling 2008, S. 172). Für Teile, die innerhalb einer Fabrik an mehreren Verbrauchsorten benötigt werden, bietet sich ebenfalls eine zentrale Lagerung an, denn nur hier wirkt sich eine Zentralisierung auf die Größe der Bestände überhaupt aus (vgl. Gudehus 2011 S. 366 ff.). Auf Material, das nur an einer Verbrauchsstelle benötigt wird, hat eine zentrale Lagerung hinsichtlich der Bestände keinen Einfluss (vgl. Gudehus 2011 S. 368).

Damit sollen die in Tabelle 11 dargestellten Ausprägungen für das Merkmal Lagerorganisation definiert werden. Da auch bei einem Zentrallagerkonzept gewisse Bestände fertigungsnahe als Puffer zur Absicherung einer kontinuierlichen Produktion vorhanden sind, wurden als Grenze für die Ausprägung „zentral“ 80 % gewählt. In gleicher Weise gibt es – gerade für C-Artikel und Normteile – häufig auch bei eigentlich dezentral organisierten Lagern in einer Fabrik eine gewisse Zentralisierung. Aus diesem Grund scheinen für diese Merkmalsausprägung 60 % als Grenzwert sinnvoll zu sein.

Tabelle 11: Ausprägungen für das Merkmal Lagerorganisation

Merkmal C ₃	Ausprägungen		
Lagerorganisation	zentral (≥ 80 % des gelagerten Bestands in einem zentralen Lager)	hybrid	dezentral (≥ 60 % des gelagerten Bestands in dezentralen Lagern)

Layouttyp C₄

Mit diesem Merkmal wird das Fabriklayout klassifiziert. Darunter wird die Darstellung der räumlichen Struktur einer Fabrik verstanden (vgl. Grundig 2006, S. 159). Im Wesentlichen ist hier die Anordnung der Logistik- und der Fertigungsflächen von Interesse. Sonstige Flächenarten (Flächen für Verwaltung, Forschung und Entwicklung etc.) sollen nicht in das Merkmal mit einfließen.

Die in einer Fabrik hergestellten Produkte prägen auch die Struktur dieser Fabrik (vgl. Klauke, Schreiber, Weißner 2005, S. 244). Bei der Fabrikgestaltung wird angestrebt, die Struktur den sich ändernden Produkten anzupassen. Aufgrund der unterschiedlichen Lebenszykluslängen einzelner Fabrikobjekte (siehe Abbildung 51) ist diese Anpassung aus ökonomischen Erwägungen nicht immer sinnvoll.

Während in der Vergangenheit zentralisierte Logistikflächen vorherrschten, sind solche Flächen in den letzten Jahren dezentralisiert und in die Nähe der Verbrauchsorte gerückt (vgl. Klauke, Schreiber, Weißner 2005, S. 251 f. und Abbildung 52). In dem bei Klauke, Schreiber und Weißner gezeigten Beispiel ergab sich bei der Transportzeit eine Halbierung und bei den Transportstrecken eine Reduktion um über 80 % (vgl. Klauke, Schreiber, Weißner 2005, S. 254).

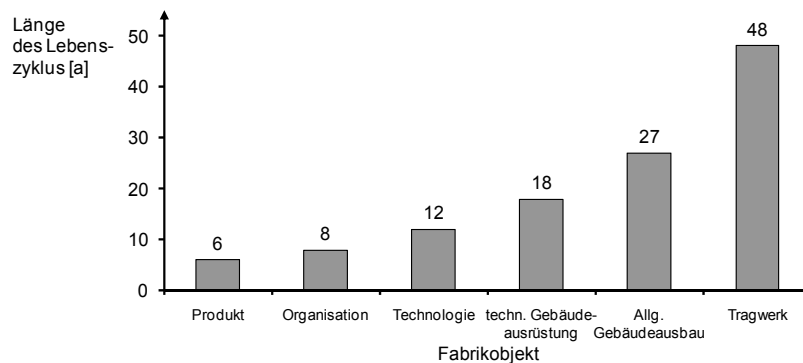


Abbildung 51: Vergleich der Längen der Lebenszyklen von verschiedenen Fabrikobjekten⁶¹

⁶¹ Nach Schenk, Schulte 2003, S. 2.

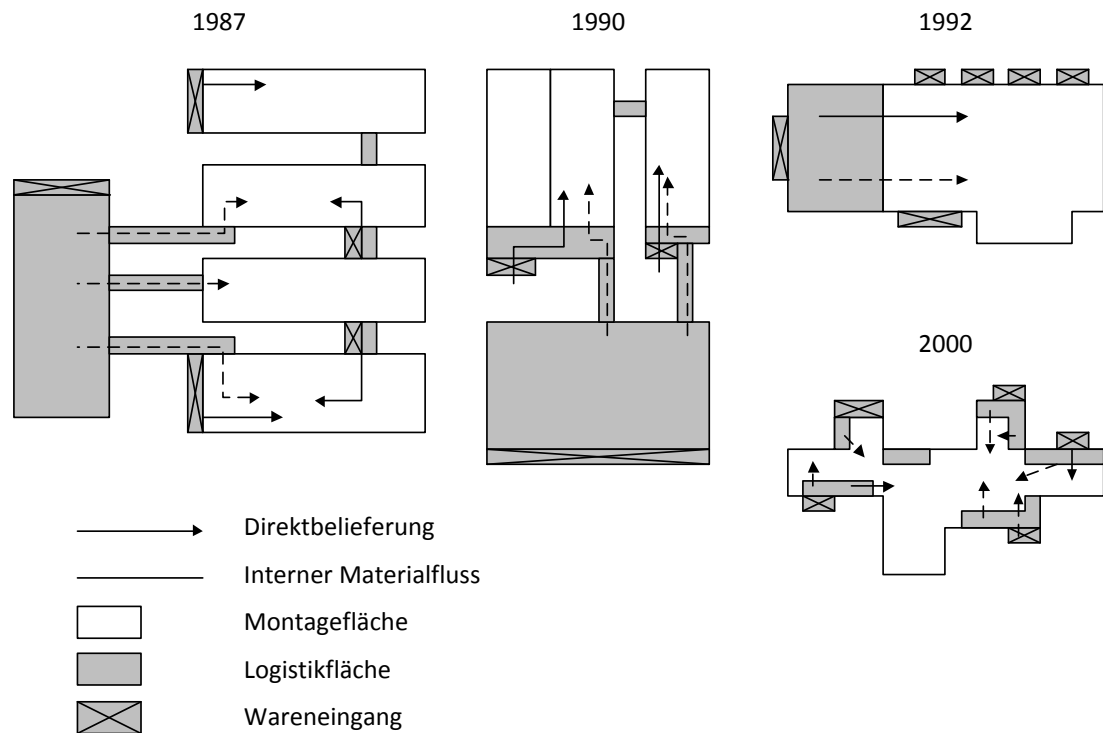


Abbildung 52: Evolution der Montage-Logistikflächenstruktur⁶²

Die in Abbildung 53 dargestellten Grundformen von Grundrissfiguren lassen sich in einem Fabriklayout voneinander unterscheiden (vgl. Apple 1977, S. 91 ff.; Maurer, Stark 2001, S. 11; Wiendahl, Reichardt, Nyhuis 2009, S. 368 ff.; Claussen 2007, S. 50). Die einfachste Form ist die I-Form (bzw. ein rechteckiger Grundriss). Diese kann beispielsweise durch eine einzelne, einfache Halle realisiert werden. Wareneingang und Warenausgang können sich entweder an den entgegengesetzten Enden der Halle oder am selben Ende befinden (vgl. Apple 1977, S. 228). Erweiterungen der I-Form stellen die L- und die U-Form dar. Es werden ein bzw. zwei Flügel angebaut. Die Campus-Form ist häufig das Ergebnis eines Fabrikentwicklungsprozesses über mehrere Jahre mit eingeschränkten Flächen zur Erweiterung, wie er gerade bei größeren, älteren Fabriken sehr verbreitet ist (vgl. Maurer, Stark 2001, S. 11). Moderne Grundformen sind die Kamm- (einseitig) bzw. Finger-Form (zweiseitig) sowie die Kreuz-Form, die eine gute, verbrauchsortnahe Anbindung externer Zulieferungen ermöglichen (vgl. Maurer, Stark 2001, S. 11). Die Kranz-Form wird als mögliche weitere Evolutionsstufe im Fabriklayout gesehen (vgl. Maurer, Stark 2001, S. 28).

⁶² Nach Klauke, Schreiber, Weißner 2005, S. 251.

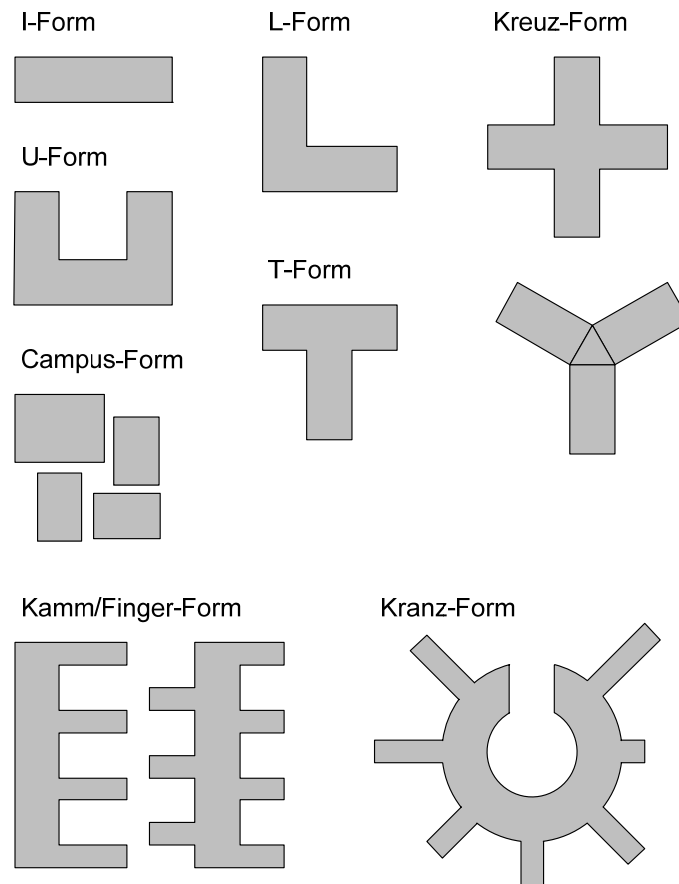


Abbildung 53: Archetypen von Layoutanordnungen

Bei Wiendahl, Reichardt, Nyhuis (2009) werden die Grundformen in zwei Gruppen eingeteilt, und zwar (vgl. Wiendahl, Reichardt, Nyhuis 2009, S. 368 f.):

- in kompakte, geschlossene Grundrisse und
- in gegliederte, ausgreifende Grundrisse.

Kompakte, geschlossene Grundrisse sind gekennzeichnet durch geometrisch einfache Formen mit einem – bezogen auf die Grundflächen – kleinen Umfang. Es befindet sich alles „unter einem Dach“ (vgl. Wiendahl, Reichardt, Nyhuis 2009, S. 368). Demgegenüber haben die gegliederten, ausgreifenden Grundrisse – bezogen auf die Grundflächen – einen relativ großen Umfang (bzw. ist die Hüllfläche des Gebäudes vergleichsweise groß). Wiendahl subsumiert die Campus-Form aus Gründen der Vereinfachung (vgl. Wiendahl, Reichardt, Nyhuis 2009, S. 369) unter die gegliederten Grundrisse. Im Rahmen dieser Arbeit soll sie als eigenständige Erscheinungsform betrachtet werden.

In der betrieblichen Praxis kommen die in Abbildung 53 aufgeführten Grundformen nur selten in reiner Ausprägung vor. Vielmehr sind Variationen oder auch Kombinationen zu beobachten. In Abbildung 55 wird als Beispiel für solch eine Kombination von

verschiedenen Grundformen das BMW-Werk in Leipzig dargestellt. Man erkennt, dass die Hauptgewerke (Rohbau, Lackiererei, Montage) der Fabrik als dreistrahligster Stern angeordnet sind. Die drei Gewerke wiederum haben ganz eigene Formen:

- Der Karosserierohbau hat eine kompakte I-Form.
- Die Lackiererei ist als U gestaltet und
- die Montage als Kamm-Form.

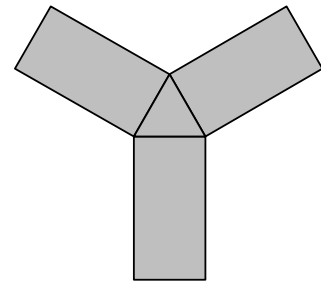
Die Gestaltung folgte dabei den spezifischen Anforderungen, die die einzelnen Bereiche an den Grundriss stellten (vgl. Claussen 2007, S. 68 ff.⁶³).

Aus Gründen der Praktikabilität und Handhabbarkeit der Typologie scheint es nicht angemessen, zwischen acht Merkmalsausprägungen (siehe Abbildung 53) zu differenzieren. Darum wird in Anlehnung an Wiendahl (vgl. Wiendahl, Reichardt, Nyhuis 2009, S. 368 f.) die in Tabelle 12 dargestellte Zusammenfassung der Layoutformen ausgewählt.

Tabelle 12: Ausprägungen für das Merkmal Layout

Merkmal C ₄	Ausprägung							
Layouttyp	kompakt				gegliedert			Campus
	I	U	L	T	Kamm	Kreuz	Kranz	

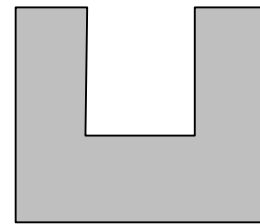
⁶³ Claussen stellt sehr detailliert die Planungsalternativen für das BMW-Werk Leipzig vor und auch die Entscheidungsgründe für die gewählte Struktur der Gesamtfabrik und der Hauptgewerke.



Karosserie-
rohbau



Lack-
iererei



End-
montage

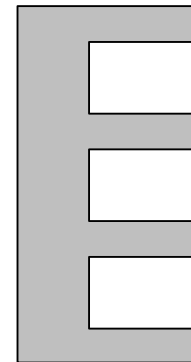


Abbildung 54: BMW-Werk Leipzig⁶⁴

⁶⁴ Eigene Darstellung. © Foto: BMW AG, Fotograf Martin Klindtworth, Aufnahme datum Gesamtlayout, Detailansicht Karosserierohbau und Lackiererei 06/2006, Detailansicht Endmontage 07/2007; Quelle: BMW Group

Bestandsreichweite C_5

Die Bestandsreichweite beschreibt, wie lange eine Fabrik ohne Einschränkung des Output weiterproduzieren könnte, ohne dass ein Wareneingang erfolgt. Da für unterschiedliche Materialien auch die Bestandsreichweiten im Allgemeinen unterschiedlich sind, wird diejenige einer Fabrik über die Relation „Wert der Lagerbestände zum Werteverzehr je Zeiteinheit“ gebildet. Dadurch wird gleichzeitig eine Gewichtung der Bestandsreichweite über den Wert des Materials (Materialeinzelkosten, MEK) vorgenommen, da Material mit hohen MEK einen größeren Einfluss auf die (wertmäßige) Bestandsreichweite hat als solches mit geringen MEK.

Die Ausprägungen dieses Merkmals (siehe Tabelle 13) haben dabei eine weite Spanne von einigen Stunden (bspw. bei JIT/JIS-Bauteilen in der Automobilindustrie) über wenige Tage bis hin zu mehreren Monaten (bspw. Normteile). Diese Spanne ergibt sich nicht nur für einzelne Bauteile, sondern auch für die Gesamtheit aller Bauteile, die in einer Fabrik verarbeitet werden.

Tabelle 13: Ausprägungen für das Merkmal Bestandsreichweite

Merkmal C_5	Ausprägungen		
Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch
	< 2d	< 10d	> 10d

Fertigungsorganisation C_6

Dieses Merkmal beschreibt „die organisatorische Gestaltung des Fertigungsablaufs.“ (Wöhe 1996, S. 556). Die Organisation umfasst dabei die Regelungen und Bedingungen, die das Verhalten der Elemente der betreffenden Struktureinheit räumlich, zeitlich, technisch und technologisch beschreiben.

Die Organisation der Fertigung kann grundsätzlich nach der Art der zu verrichtenden Tätigkeiten (Verrichtungsprinzip) und nach deren Reihenfolge (Prozessfolgeprinzip) geschehen (vgl. dazu Corsten 2000, S. 33). Es können prinzipiell drei Organisationsformen der Fertigung in einer Fabrik unterschieden werden (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 49; Corsten 2000, S. 33 f. und Buzacott et al. 2010, S. 8 f.):

- die Werkstattproduktion (Job Shop)
- die Zentrenproduktion
- die Fließproduktion (Flow Shop)

Bei einer Organisation nach dem Prinzip der Werkstattproduktion werden gleichartige Produktionseinrichtungen in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander angeordnet (vgl. Corsten 2000, S. 33). Bspw. können in einem metallverarbeitenden Betrieb alle Fräsmaschinen an einem Ort und alle Drehmaschinen an einem anderen Ort in der Fabrik konzentriert sein (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 49 f.). Einzelne Aufträge können manche Produktionseinrichtungen mehrfach durchlaufen (siehe Abbildung 55a).

Bei der Zentrenproduktion (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 50) bzw. Gruppenfertigung (vgl. Lödding 2005, S. 96) werden je nach Fertigungs- bzw. Teilefamilie verschiedenartige Produktionseinrichtungen in einem Bearbeitungs-/Fertigungszentrum bzw. einer Bearbeitungs-/Fertigungsgruppe zusammengefasst (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 50 f.; Corsten 2000, S. 36; siehe Abbildung 55b).

Bei der Fließproduktion werden die Produktionseinrichtungen nach der Fertigungsreihenfolge angeordnet (vgl. Corsten 2000, S. 34). Einzelne Stationen in der Reihenfolge der Produktionseinrichtungen können übersprungen werden. Andere Aufträge durchlaufen eine Produktionseinrichtung nicht mehrmals (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 50; siehe Abbildung 55c).

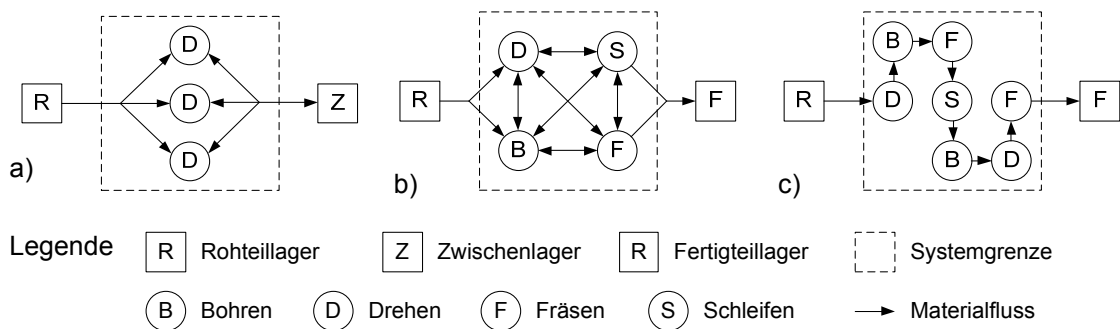


Abbildung 55: Aufbauprinzip verschiedener Fertigungsorganisationsformen⁶⁵

Die Merkmalsausprägungen der Fertigungsorganisation für die zu erstellende Typologie sind in Tabelle 14 zusammengefasst (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 44).

Tabelle 14: Ausprägungen für das Merkmal Fertigungsorganisation

⁶⁵ Nach Schulte 2009, S. 359.

Merkmal C ₆	Ausprägung			
	Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion technologie-bezogen organisations-bezogen	

Die Relevanz dieses Merkmals ergibt sich aus dem Einfluss der räumlichen Anordnung der Produktionseinrichtung auf die logistischen Größen Transport, Lagerung und Steuerung (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Wirkung von Organisationsformen auf die Logistik⁶⁶

Kriterium	Organisationsform		
	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion
Transport			
Weglänge	sehr lang	kurz	sehr kurz
Häufigkeit	gering	gering – hoch	sehr hoch
Losgröße	groß	klein	1
Gleichmaß	0	gering	hoch
Automatisierbarkeit	kaum	schwankend	hoch
Lagerung			
Bestände	hoch	mittel – gering	sehr gering
Liegezeit	sehr lang	mittel – gering	sehr gering
Durchlaufzeit	sehr lang	mittel – kurz	sehr kurz
Planung und Steuerung			
Transparenz	schlecht	gut – sehr gut	sehr gut
Aufwand	hoch	gering – mittel	gering
Beherrschbarkeit	kaum	gut – sehr gut	sehr gut
Vorteile	ungerichteter Transport möglich, hohe Flexibilität, Chance zur hohen Auslastung	ungerichteter Transport möglich, hohe Flexibilität, kurze Wege, übersichtlich, geringer Bestand	gerichteter Transport, hohe Kontinuität, kürzeste Durchlaufzeit
Nachteile	geringe Kontinuität, lange Durchlaufzeit, hoher Bestand	unterschiedliche Fertigungslosgrößen, variierende Bearbeitungsfolgen	geringe Flexibilität, ständige Versorgung sichern

⁶⁶ In Anlehnung an Nebl 2004, S. 614.

Prozesswiederholung C_7

Die Anzahl produzierter Produkte (nicht im Sinne der Verschiedenartigkeit) hat erheblichen Einfluss auf die Fertigungsorganisation (siehe oben). Grundsätzlich wird zwischen der Einzel- und der Mehrfachfertigung differenziert (vgl. Nebl 2007, S. 53). Unter Mehrfachfertigung wird die wiederholte Herstellung einer Produktart in unmittelbarer zeitlicher Folge verstanden (vgl. Nebl 2007, S. 53). Bei der Einzelfertigung wird ein Produkt lediglich einmalig hergestellt, wobei man von Einmalfertigung spricht, wenn es zu keiner Wiederholung kommt bzw. von Wiederholfertigung wenn es zu einem späteren Zeitpunkt zu einer Wiederholung kommt (vgl. Nebl 2007, S. 53). Bei der Mehrfachfertigung wird u. a. von Wöhe weiter je nach Art der Wiederholung zwischen Sorten-, Serien- und Massenfertigung differenziert (vgl. Wöhe 1996, S. 556 f.). Bei der Sortenfertigung wird eine Sorte eines Produkts in größerer Zahl unmittelbar hintereinander hergestellt und im Anschluss daran eine andere auf derselben Fertigungsanlage (vgl. Wöhe 1996, S. 556). Bei der Serienfertigung wird eine kleine bis große Menge eines Produkts unmittelbar hintereinander auf verschiedenen Anlagen gefertigt (vgl. Wöhe 1996, S. 556). Bei der Massenfertigung erfolgt die Produktion eines Produktes eine unbestimmte Zeit lang (vgl. Wöhe 1996, S. 556). Beispiele sind

- Einzelfertigung: Sondermaschine
- Serienfertigung: Pkw, Waschmaschinen
- Sortenfertigung: Bücher
- Massenfertigung: Rasierklingen

Die Kriterien für die Eingruppierung sind den Veröffentlichungen von Schomburg (1980, S. 92) und Büdenbender (1991, S. 44 f.) entnommen. Dabei ist N_A die Losgröße und N_w die Anzahl der Losauflagen (vgl. Büdenbender 1991, S. 45). Es scheint sinnvoll innerhalb der Serienfertigung weiter zu differenzieren, das Serien mit geringen Auflagehöhen (Einzel- und Kleinserien) eine andere Charakteristik der Logistik erfordern als Serien mit hohen Stückzahlen (vgl. Nebl 2007, S. 562 f.).

Tabelle 16: Ausprägungen für das Merkmal Prozesswiederholung

Merkmal C_7	Ausprägung			
Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
	$N_A \rightarrow$ gering $N_W = 0^{67}$	$N_A < 50$ $1 \leq N_W < 12$	$N_A \geq 50$ $12 \leq N_W < 24$	sehr hohe Stückzahl in ununterbrochener Folge

Erzeugnisspektrum C_8

Das Merkmal Erzeugnisspektrum beschreibt die Art des hergestellten Produkts in Bezug auf den Einfluss des Kunden auf dessen Gestaltung (vgl. Büdenbender 1991, S. 36). Bei dem Erzeugnisspektrum handelt es sich um ein kontinuierliches Merkmal. Die beiden Extrempositionen stellen einerseits Produkte nach Kundenspezifikation (z.B. Sondermaschinenbau oder Schiffsbau) und andererseits Standarderzeugnisse ohne jegliche Varianten (bspw. Rasierklingen) dar. Für eine praktikable Typologie sind kontinuierliche Merkmale weniger geeignet (vgl. Große-Oetringhaus S. 60 f.). Aus diesem Grund erfolgt eine Diskretisierung bzw. Abstufung der Merkmale (siehe Abbildung 56; vgl. auch Abschnitt 3.1.1). Die Abstufungen der Ausprägungen für das Merkmal Erzeugnisspektrum wurden in Anlehnung an Schomburg ausgewählt (vgl. Schomburg 1980, S. 39).

Beispiele für die Ausprägungen:

- nach Kundenspezifikation: Sondermaschine
- typisiertes Erzeugnis mit kundenspezifischen Varianten: Aufzüge
- Standarderzeugnis mit Varianten: Pkw
- Standarderzeugnis ohne Varianten: Rasierklinge

⁶⁷ Bei der Einmalfertigung kommt es zu keiner erneuten Auflage des Produktes.

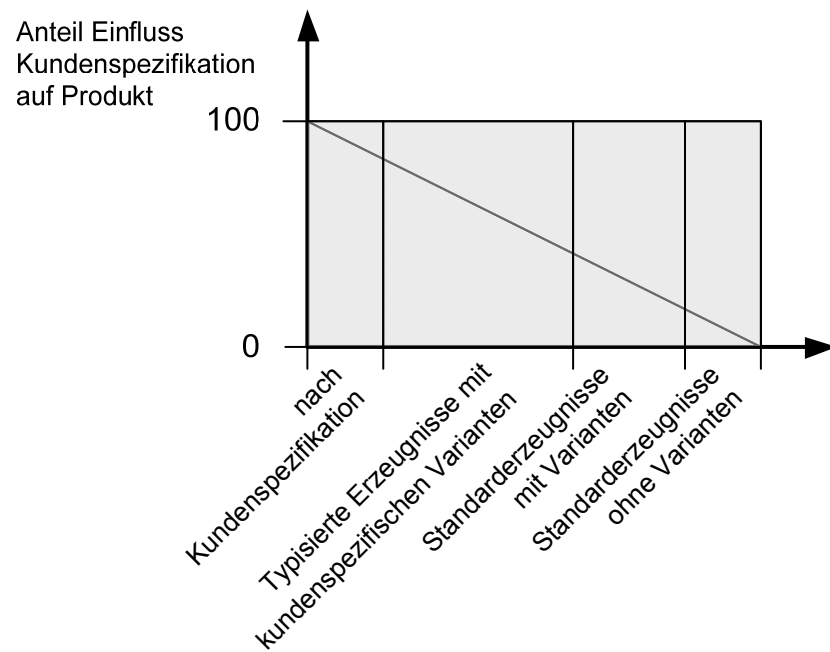


Abbildung 56: Kontinuum der Merkmalsausprägung und Abstufung⁶⁸

Tabelle 17: Ausprägungen für das Merkmal Erzeugnisspektrum⁶⁹

Merkmal C_8	Ausprägung			
Erzeugnis-spektrum	nach Kunden-spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standard-erzeugnisse mit Varianten	Standard-erzeugnisse ohne Varianten

⁶⁸ Nach Schomburg 1980, S. 39.

⁶⁹ Vgl. Schomburg 1980, S. 39

Fertigungsstruktur C_9

Das Merkmal C_9 – die Fertigungsstruktur – ist, ähnlich wie C_8 , ein komplexes Merkmal und setzt sich zusammen aus der Anzahl der Fertigungsstufen, der Anzahl der aufeinanderfolgenden Arbeitsvorgänge im Fertigungsprozess, der Dauer des Fertigungsablaufs und der Anzahl der Zwischenlager (vgl. Schomburg 1980, S. 84 und 86). Diese Merkmalsdefinition ist der Ausarbeitung von Schomburg (vgl. Schomburg 1980, S. 84 ff.) entnommen. Er grenzt drei Merkmalsausprägungen voneinander ab (siehe Abbildung 56 und Tabelle 18):

- „Fertigung mit geringer Tiefe,
- Fertigung mit mittlerer Tiefe und
- Fertigung mit großer Tiefe“

(Schomburg 1980, S. 84).

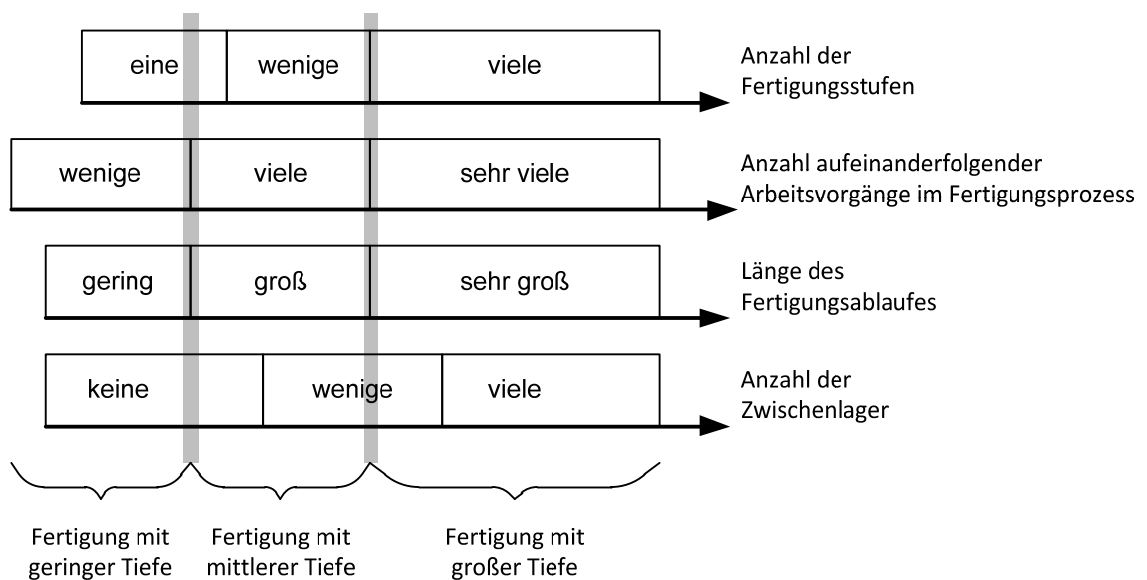


Abbildung 57: Abgrenzung der Ausprägungen der Fertigungsstruktur⁷⁰

⁷⁰ Modifiziert nach Schomburg 1980, S. 84 und 86. Es wurden die beiden getrennten Abbildungen der Zuordnung der Ausprägungen für die Fertigungsstruktur zur Anzahl der Fertigungsstufen und zur Anzahl aufeinanderfolgender Fertigungsprozesse (vgl. ebenda, S. 84) und zur Länge des Fertigungsablaufes und zu der Anzahl der Zwischenlager (ebenda, S. 86) zusammengefügt, so dass die Grenzen der einzelnen Ausprägungen eine Linie ergeben.

Tabelle 18: Ausprägungen der Fertigungsstruktur nach Schomburg (1980, S. 85) und Büdenbender (1991, S. 50)

Ausprägung der Fertigungsstruktur	Verbale Definition nach Schomburg (siehe auch hier Abbildung 57)	Quantitative Präzisierung nach Büdenbender	Beispiel
Fertigung geringer Tiefe	„...ist eine einstufige Fertigung mit einer geringen Anzahl aufeinanderfolgender Arbeitsvorgänge ...“ (Schomburg 1980, S. 85).	10 oder weniger Arbeitsvorgänge (vgl. Büdenbender 1991, S. 50)	Herstellung einfacher Stanz- und Pressteile
Fertigung mittlerer Tiefe	ist eine „...Fertigung mit geringer Stufenzahl und einer größeren Anzahl Arbeitsvorgängen ... gegebenenfalls mit einer Zwischenlagerung ...“ (Schomburg 1980, S. 85).	zwischen 10 und 20 Arbeitsvorgänge (vgl. Büdenbender 1991, S. 50)	Herstellung kleinerer Baugruppen für die Automobilindustrie
Fertigung großer Tiefe	ist eine „...Fertigung mit einer größeren Zahl von Fertigungsstufen und insgesamt sehr vielen Arbeitsvorgängen Charakteristisch ... sind ein sehr langer Fertigungsdurchlauf und eine größere Anzahl von Zwischenlagern.“ (Schomburg 1980, S. 85)	mehr als 20 Arbeitsvorgänge (vgl. Büdenbender 1991, S. 50)	Endmontage von Haushaltsgrößgeräten.

Die Fertigungsstruktur hängt eng mit den Merkmalen Produktstruktur und Beschaffungsart bzw. Eigenfertigungstiefe zusammen. Die Produktstruktur beschreibt „den konstruktionsbedingten Aufbau der Erzeugnisse“ (Schomburg, 1980, S. 44) des betrachteten Betriebs (vgl. Büdenbender 1990, S. 37). Sie setzt sich zusammen aus der durchschnittlichen Anzahl der Strukturstufen der Stückliste und der durchschnittlichen Anzahl der Stücklistenpositionen (vgl. Schomburg, 1980, S. 44 f.; Büdenbender 1990, S. 37 f.). Basierend auf diesen Kriterien werden drei Merkmalsausprägungen definiert (siehe Abbildung 58, vgl. auch Schomburg 1980, 44 ff.; Büdenbender S. 38):

- „geringteilige Erzeugnisse“ (Büdenbender S. 38) mit wenigen Strukturstufen und wenigen Stücklistenpositionen (Beispiel: Mijoteuse),
- „mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur“ (Büdenbender S. 38) und vielen Stücklistenpositionen (Beispiel: Kaffeemaschine) und

- „mehnteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur“ (Büdenbender S. 38) mit sehr vielen Stücklistenpositionen und vielen Strukturebenen (Beispiel: Külschrank).

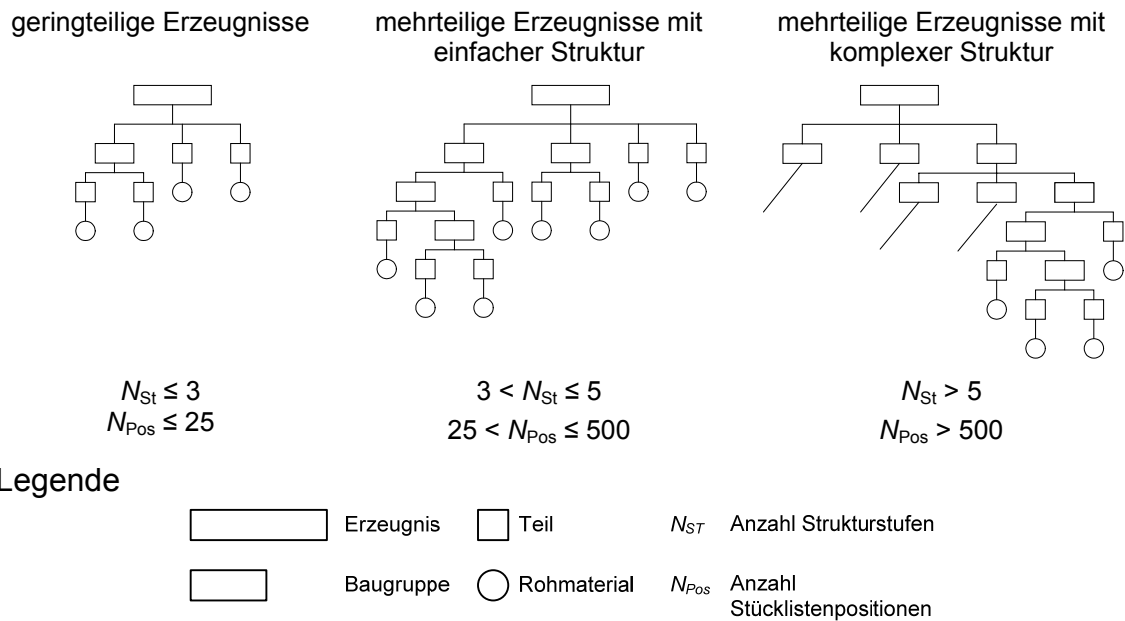


Abbildung 58: Produktstruktur⁷¹

Die Eigenfertigungstiefe beschreibt, welcher Anteil der Bedarfspositionen fremdbezogen wird (vgl. Schomburg 1980, S. 63). Büdenbender wählt als Kriterium den durchschnittlichen Anteil fremdbezogener Bedarfspositionen (A_B) an der Gesamtheit der Bedarfspositionen (vgl. Büdenbender 1991, S. 41 f. und siehe Abbildung 59).

Neben dieser mengenbasierten Bestimmung der Eigenfertigungstiefe wird in der Literatur häufig auch ein wertbasierender Ansatz aufgegriffen. Dabei wird der Wert der fremdbeschafften Materialien mit dem des Enderzeugnisses in Beziehung gesetzt.

⁷¹ Aus Büdenbender 1990, S. 38.

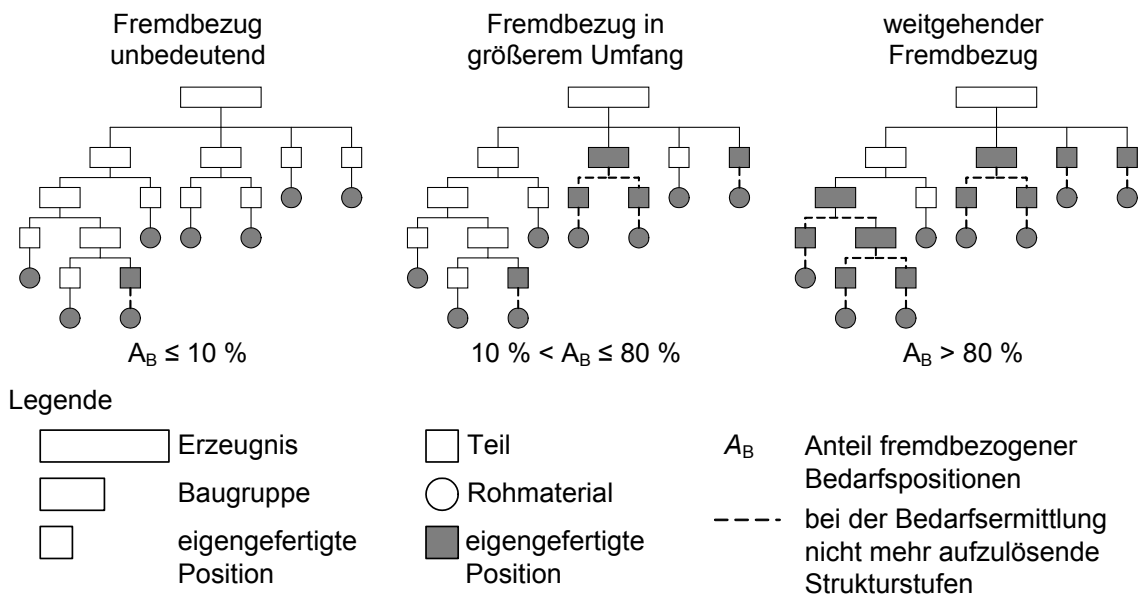


Abbildung 59: Beschaffungsart⁷²

Die Definition der optimalen Fertigungstiefe ist eine wesentliche Aufgabe der strategischen Unternehmensführung (vgl. Schneider 2008, S. 27), die in der betrieblichen Praxis dem Verantwortungsbereich der Logistik zugeschrieben wird (vgl. Gottschalk 2007, S. 397). Bei der Bildung von Typen ist diese Größe jedoch zunächst als gegeben vorzusetzen. Eine Zusammenfassung der Erklärungsansätze für die Bestimmung der optimalen Fertigungstiefe findet sich u. a. bei Krcal (2008, S. 796 f.).

Es lässt sich zeigen, dass die Produktstruktur und die Beschaffungsart der Fertigungsstruktur untergeordnete Merkmale sind. Die Korrelation zwischen der Fertigungsstruktur und der Produktstruktur lässt sich leicht herstellen, da die Fertigung nicht komplexer sein kann als das Produkt. Aus dieser Überlegung heraus sind von den neun möglichen Kombinationen der jeweils drei Merkmalsausprägungen nur sechs sinnvoll (siehe Abbildung 60). Beispielsweise sind bei einem einteiligen Produkt mit wenigen Stücklistenpositionen keine komplexe Fertigung über mehrere Stufen und keine langen Fertigungsdurchläufe zu erwarten. Aus diesem Grund ist die Kombination im Feld (3;1) nicht sinnvoll. Die in Abbildung 60 weiß dargestellten Felder sollen im Folgenden nicht weiter betrachtet werden, sondern nur die grau unterlegten (1;1), (1;2), (1;3), (2;2), (2;3) und (3;3).

⁷² Nach Büdenbender 1990, S. 42.

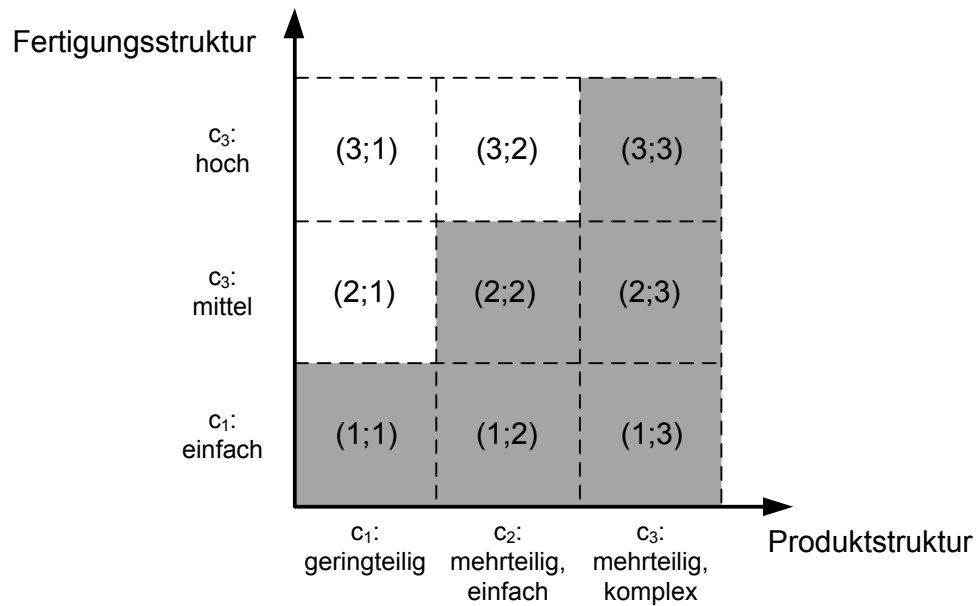


Abbildung 60: Zusammenhang zwischen der Fertigungs- und der Produktstruktur

Für ein Logistiksystem sind zunächst weniger der relative Anteil der zu beschaffenden Positionen und deren Wert relevant⁷³, sondern die absolute Anzahl der Materialien im Fremdbezug.

Bei einer einfachen Fertigungsstruktur und einer geringteiligen Produktstruktur (Abbildung 60, Feld (1;1)) ist die zu beschaffende Menge des Materials für das Logistiksystem *gering*, weil gemäß der in Abbildung 58 gezeigten Abgrenzung die Zahl der Positionen selbst bei $A_B = 0\%$, d.h. bei vollständiger Eigenfertigung, nur kleiner oder gleich 25 ist. Eine ähnliche Überlegung ergibt für eine große Fertigungstiefe bei einem mehrteiligen und komplexen Produkt (Abbildung 60, Feld (3;3)) immer eine *große* Beschaffungsmenge. Die für das Logistiksystem relevante absolute Beschaffungsmenge steigt mit zunehmender Produktkomplexität und zunehmender Fertigungsstrukturtiefe an (siehe Abbildung 61). Auf dieser Basis lassen sich die einzelnen Felder aus Abbildung 61 den Ausprägungen für die Beschaffungsmenge zuordnen:

- gering (1;1) und (1;2)
- mittel (2;2), (2,3) und (1;3)
- hoch (3;3)

⁷³ Bezogen auf die zu beschaffenden Positionen ist deren Werteverteilung für die Logistik wiederum relevant.

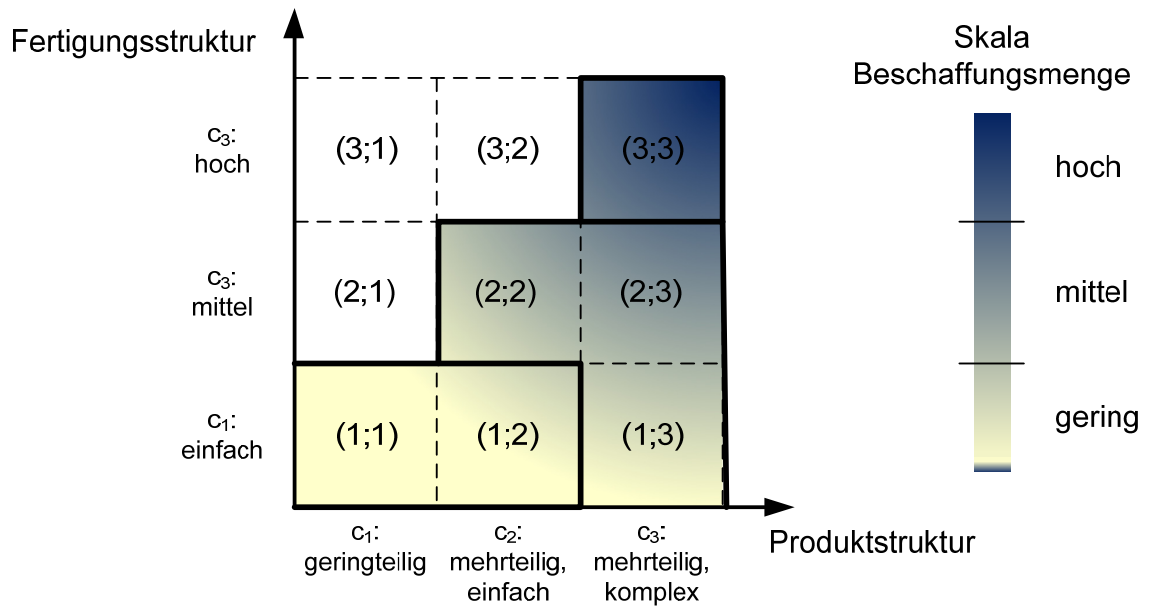


Abbildung 61: Zusammenhang zwischen der Fertigungs- und der Produktstruktur sowie der Beschaffungsmenge

In Tabelle 19 sind die für die Logistiksystemtypologie gewählten Merkmale zu sehen.

Tabelle 19: Ausprägungen der Fertigungsstruktur

Merkmal C ₉	Ausprägung		
Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe

Bedarfsauslöser C₁₀

Der Bedarfsauslöser „beschreibt die Bindung der Produktion an den Absatzmarkt.“ (Schomburg 1980; S. 48). Ausschlaggebend ist dabei der Auslöser für die Herstellung der Primärbedarfe (vgl. Buzacott et al. 2010, S. 233 ff.) und damit für die Erstellung des Produktionsprogramms.

Grundsätzlich werden in der Literatur dabei zwei Arten unterschieden (vgl. u. a. Schlüter 2001, S. 57, Buzacott et al. 2010, S. 233):

- die Produktion auf Lager (Make to Stock) und
- die Produktion auf Bestellung (Make to Order).

Bei der Produktion auf Lager wird der Primärbedarf durch eine Absatzerwartung, die auf Basis von – beispielsweise – Prognosen erzeugt wird, ausgelöst. Durch die

Lagerung der Erzeugnisse wird die Produktion teilweise von Absatzschwankungen entkoppelt, da das Lager als Puffer genutzt wird.

Bei einer Produktion auf Bestellung wird der Primärbedarf durch die konkrete Bestellung eines Kunden ausgelöst. Dabei ist eine Unterscheidung zwischen

- Einzelbestellungen und
- Rahmenaufträgen

sinnvoll (vgl. Schomburg 1980, S. 49). Bei Einzelaufträgen erfolgt die Auslösung des Primärbedarfs durch eine einzige, einmalige Bestellung eines Kunden. Die Produktion ist dadurch in Abhängigkeit vom Absatzmarkt unter Umständen größeren Schwankungen ausgesetzt. Bei Rahmenaufträgen werden längerfristige Liefervereinbarungen geschlossen, die das Produktionsprogramm definieren. Anpassungen sind nur in größeren Zeitintervallen notwendig (vgl. Schomburg 1980, S. 49).

Die in Tabelle 20 zusammengefassten Merkmalsausprägungen sind Schomburg (1980, S. 91) entnommen und werden für die zu erstellende Typologie verwendet.

Tabelle 20: Ausprägungen für das Merkmal Bedarfsauslöser⁷⁴

Merkmal C₁₀	Ausprägung		
Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager

Eine weitere Differenzierung der Bedarfsauslöser ist möglich und wird vielfach in der Literatur beschrieben (vgl. u. a. Rücker 2006, S. 12 f.; Buzacott et al. 2010, S. 233). Für eine Typologie von Logistiksystemen ist dies jedoch nicht zielführend.

Programm C₁₁

Die Breite des Produktionsprogramms beschreibt, wie viele verschiedene Produkte in einer Fabrik hergestellt werden. Grundsätzlich soll dabei nur zwischen einem oder wenigen und vielen unterschiedlichen Produkten differenziert werden, so dass dieses Merkmal nur die in Tabelle 21 gezeigten beiden Ausprägungen hat.

Tabelle 21: Ausprägungen für das Produktionsprogramm

Merkmal C₁₁	Ausprägung	
Programm	ein – wenige Produkte	viele Produkte

⁷⁴ Aus Schomburg 1984, S. 91.

Gewicht der Faktorarten C_{12}

Nach dem Anteil der Kosten der jeweiligen Faktorarten an den Herstellkosten werden Unterscheidungen getroffen in

- eine arbeitsintensive,
- eine materialintensive und
- eine anlagenintensive

Produktion (vgl. Hahn, Laßmann 1999, S. 63; Corsten 2000, S. 32; Nebl 2007, S. 48 f.). Indikator für eine arbeitsintensive Produktion ist ein relativ hoher Anteil der Personalkosten an den gesamten Produktionskosten. Hohe Materialkosten deuten auf eine materialintensive Fertigung und relativ hohe Abschreibungskosten zzgl. anteiliger Zins- und Instandhaltungskosten auf eine anlagenintensive Produktion hin.

Schlüter (vgl. Schlüter 2001, S. 55 und 57) differenziert außer nach den drei vorher genannten Ausprägungen zusätzlich noch nach informations- und energieintensiven Produktionen bzw. Gütern. Diese Unterscheidung soll hier wegen der Beschränkung des Untersuchungsbereichs auf die Fertigungsindustrie nicht weiter verfolgt werden.

Tabelle 22: Ausprägungen für den vorherrschenden Einsatzfaktor

Merkmal C_{12}	Ausprägung		
Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

Zusammenfassung

Auf Basis der vorgestellten Merkmale und der ausgewählten Ausprägungen lässt sich das in Tabelle 23 dargestellte morphologische Schema bilden.

Es wurden $q = 12$ Merkmale C_i mit $i = 1, \dots, q$ und n_i merkmalspezifischen Ausprägungen c_j definiert. Nach Ripperger berechnet sich die Anzahl möglicher Kombinationstypen A_T zu (vgl. Ripperger 1999, S. 71):

$$A_T = \prod_{i=1}^q |M_i| \quad [86]$$

mit

$$|M_i| = n(M_i) = n_i \quad [87]$$

Somit ergibt sich nach Tabelle 23:

Tabelle 23: Zusammenfassung der Merkmale

	Merkmal	Ausprägung				n
Logistiksystem	C ₁ : Handlings- stufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele	4
	C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex	4
	C ₃ : Lager- organisation	zentral	hybrid		dezentral	3
	C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus	3
	C ₅ : Bestands- reichweite	gering	mittel		hoch	3
Produktionssystem	C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion		Fließ- produktion	3
	C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung	4
	C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten	4
	C ₉ : Fertigungs- struktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe	3
Umweltsystem	C ₁₀ : Bedarfs- auslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager	3
	C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte			viele Produkte	2
	C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion	3

$$\begin{aligned}
 A_T &= |C_1| \cdot |C_2| \cdot |C_3| \cdot |C_4| \cdot |C_5| \cdot |C_6| \cdot |C_7| \cdot |C_8| \cdot |C_9| \cdot |C_{10}| \cdot |C_{11}| \cdot |C_{12}| \\
 &= 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 \\
 &= 1.119.744
 \end{aligned}
 \tag{88}$$

Die Anzahl möglicher Kombinationstypen A_T von über einer Million Typen entspricht dabei nicht mehr dem Kriterium der Praktikabilität (vgl. Förster 1988, S. 46 ff.).

Weiterhin sind nicht alle bildbaren Typen relevant. Die Anzahl der Typen muss also auf eine praktikable Menge mit sinnvollen bzw. relevanten Typen reduziert werden.

3.2.3 Bildung der compulsiven Verbundmerkmale

Die im vorangegangenen Abschnitt eingeführten Merkmale und ihre Ausprägungen treten in der betrieblichen Praxis nicht ausschließlich in freier Kombination auf. Vielmehr gibt es zwischen den Ausprägungen einzelner Merkmale Korrelationen oder Zwangszusammenhänge. Diese Abhängigkeiten werden in einem nächsten Schritt herausgearbeitet. Große-Oetringhaus nennt diesen Schritt die „Bildung von zwangsmäßigen Verbundtypen“ (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 64). Neben den zwangsmäßigen Typen sollen in diesem Schritt aber auch die sinnvollen Kombinationen geprüft werden.

Für die Prüfung der Zwangszusammenhänge soll zunächst die Korrelation der Merkmale untereinander untersucht werden. In Tabelle 24 sind diejenigen Kombinationen in der oberen Halbmatrix mit „X“ gekennzeichnet, bei denen eine Korrelation zwischen den Merkmalsausprägungen vorliegt.

Tabelle 24: Korrelations- und Intensitätsmatrix

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
C ₁ : Handlingsstufen	■	X			X				X			
C ₂ : Materialflusskomplexität		■				X			X			
C ₃ : Lagerorganisation			■	X								
C ₄ : Layouttyp				■								
C ₅ : Bestandsreichweite					■							
C ₆ : Fertigungsorganisation						■	X	X		X	X	
C ₇ : Prozesswiederholung							■	X		X		
C ₈ : Erzeugnisspektrum								■		X	X	
C ₉ : Fertigungsstruktur									■			
C ₁₀ : Bedarfsauslöser										■		
C ₁₁ : Programm											■	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten												■

Die Untersuchung derjenigen Merkmale, zwischen deren Merkmalsausprägungen Zwangsabhängigkeiten vermutet werden, kann zu einer (deutlichen) Reduzierung der bildbaren Typen führen. Dadurch ist die Typologie besser handhabbar. Die Untersuchung der Abhängigkeiten erfolgt mit den in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Mehrfeldertafeln. Dafür werden von zwei (oder drei) Merkmalen die Ausprägungs-

möglichkeiten in die Mehrfeldertafel eingetragen und anschließend diejenigen Kombinationen gekennzeichnet, die sinnvoll sind.

Tabelle 25 ist die Mehrfeldertafel der Merkmale C_1 (Handlingsstufen) und C_2 (Materialflusskomplexität). Von den 16 möglichen Kombinationen ($A_T(C_1, C_2)$) der Merkmale werden acht von der Betrachtung ausgeschlossen, und es verbleiben acht Merkmalskombinationen $A_S(C_1, C_2)$. Der Ausschluss erfolgt auf Basis der Möglichkeit bzw. Realitätsnähe der Kombination von zwei Ausprägungen. Ein Logistiksystem mit Direktbeistellung ($C_1.c_1$) kann keinen komplexen oder sehr komplexen Materialfluss zur Folge ($C_2.c_3$ und $C_2.c_4$) haben, da auf Grundlage der Annahme einer Direktbeistellung RK sehr groß und der DI sehr klein sein muss. Für andere Paare können ähnliche Überlegungen angestellt werden. Durch diese Betrachtung wird die Anzahl der möglichen Typen um 50 % reduziert.

Tabelle 25: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_2

$A_T(C_1, C_2) = 16$ $A_S(C_1, C_2) = 8$		C_1 Handlingsstufen			
		c_1	c_2	c_3	c_4
C_2 Materialfluss- komplexität	c_1	x	x		
	c_2	x	x	x	
	c_3			x	x
	c_4				x

Die Mehrfeldertafel für die Kombination C_1 und C_5 ist in Tabelle 26 abgebildet. Auch hier kann die Anzahl der zu betrachtenden Kombinationen von zwölf auf acht reduziert werden.

Tabelle 26: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_5

$A_T(C_1, C_5) = 12$ $A_S(C_1, C_5) = 8$		C_1 Handlingsstufen			
		c_1	c_2	c_3	c_4
C_5 Bestands- reichweite	c_1	x	x		
	c_2	x	x	x	x
	c_3			x	x

Die Reduzierung der zu betrachtenden Kombinationen ist bei C_1/C_9 (Handlingsstufen/Fertigungsstruktur, siehe Tabelle 27) geringer als bei den vorhergehenden. Die Anzahl

reduziert sich von $A_T(C_1, C_9) = 12$ auf $A_S(C_1, C_9) = 9$. Hintergrund dessen ist, dass lediglich komplexere Fertigungsstrukturen mit vielen Fertigungsstufen (vgl. auch Abbildung 57 auf S. 123) eine Vielzahl von Handlingsstufen nach sich ziehen können. Bei einfachen Fertigungsabläufen ist dies zwar grundsätzlich möglich, aber unwahrscheinlich, so dass diese Kombinationen (c_1c_3 , c_1c_4 , c_2c_4 in Tabelle 27) ausgeschlossen werden.

Tabelle 27: Kompulsive Verbundmerkmale C_1/C_9

$A_T(C_1, C_9) = 12$ $A_S(C_1, C_9) = 10$		C_1 Handlingsstufen			
		c_1	c_2	c_3	c_4
Fertigungsstruktur	c_1	x	x		
	c_2	x	x	x	x
	c_3	x	x	x	x

Ähnlich wie bei der vorangegangenen Kombination verhält es sich auch bei den Kombinationstypen der Merkmalsausprägungen C_2 und C_9 (siehe Tabelle 28). Hier können zwei Kombinationen ausgeschlossen werden, da einfache Fertigungsstrukturen keine komplexen und sehr komplexen Materialflüsse induzieren. Die Ursache liegt im geringen erreichbaren Desintegrationsgrad und im relativ hohen Richtungskoeffizienten.

Tabelle 28: Kompulsive Verbundmerkmale C_2/C_9

$A_T(C_2, C_9) = 12$ $A_S(C_2, C_9) = 10$		C_2 Materialflusskomplexität			
		c_1	c_2	c_3	c_4
Fertigungsstruktur	c_1	x	x		
	c_2	x	x	x	x
	c_3	x	x	x	x

Eine deutliche Reduzierung der betrachteten Typen liefert eine Untersuchung der Zwangsverknüpfungen zwischen dem Merkmal Fertigungsorganisation (C_6) und Prozesswiederholung (C_7). In der betrieblichen Praxis korreliert die Häufigkeit von C_7 sehr stark mit der Ausprägung von C_6 . Im Rahmen einer Werkstattfertigung (6.1) erfolgt nur die Herstellung einzelner Stücke (7.1) bis hin zu kleineren Serien (7.2). Größere Serien werden nur in der Organisationsform der Zentrenproduktion (6.2) oder

in Form einer Fließfertigung (6.3) hergestellt. Hintergrund dessen ist, dass mit steigender Losgröße eine bessere Arbeitsteilung und Taktung der Arbeitsgänge wirtschaftlicher werden.

Tabelle 29: Kompulsive Verbundmerkmale C_6/C_7

$A_T(C_6, C_7) = 12$ $A_S(C_6, C_7) = 6$		C_6		
		Fertigungsorganisation		
		C_1	C_2	C_3
C_7 Prozess- wiederholung	C_1	x		
	C_2	x	x	
	C_3		x	x
	C_4			x

Die in Tabelle 29 definierten Verbundmerkmale werden für die weiteren Betrachtungen als Merkmal C_{67} zusammengefasst. Der Index der Merkmalsausprägungen besteht aus dem Index der Merkmalsausprägung von C_6 , gefolgt vom Index der Ausprägung von C_7 .

Nun sollen die kompulsiven Verbundmerkmale des eben abgeleiteten Merkmals C_{67} mit dem Erzeugnisspektrum C_8 betrachtet werden. Auch hier gibt es einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Ausprägungen. Die „Individualität“ des Erzeugnisses nimmt mit zunehmendem Index der Merkmalsausprägung ab (vgl. dazu auch Abbildung 56 aus Seite 122) Mit abnehmender Individualität steigt aber gleichzeitig die Losgröße (und damit die Prozesswiederholung) an, und damit wirken auch die oben erläuterten Zusammenhänge bzgl. der Fertigungsorganisation, so dass von den 24 möglichen Kombinationen nur 13 relevante übrigbleiben (siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: Kompulsive Verbundmerkmale C_{67}/C_8

$A_T(C_{67}, C_8) = 24$ $A_S(C_{67}, C_8) = 13$		C_{67}					
		Fertigungsorganisation & Prozesswiederholung					
		C_{11}	C_{12}	C_{22}	C_{23}	C_{33}	C_{34}
C_8 Erzeugnisspektrum	C_1	x	x	x	x		
	C_2	x	x	x	x		
	C_3			x	x	x	
	C_4					x	x

Auch bei der Betrachtung der zwangsmäßigen Verbundtypen zwischen den Merkmalen C_6 und C_2 (siehe Tabelle 31) können einige Kombinationen ausgeschlossen werden. Aufgrund der Einflussfaktoren auf die Materialflusskomplexität – Richtungsfaktor und Desintegrationskoeffizient – ist die Komplexität bei einer Werkstattfertigung potenziell größer und bei Fließfertigung potenziell geringer.

Tabelle 31: Kompulsive Verbundmerkmale C_2/C_6

$A_T(C_2, C_6) = 12$ $A_S(C_2, C_6) = 7$		C_6 Fertigungsorganisation		
		C_1	C_2	C_3
C_2 Materialfluss- komplexität	C_1			X
	C_2	X	X	X
	C_3	X	X	
	C_4	X		

Eine gewisse Abhängigkeit gibt es auch zwischen der Lagerorganisation und dem Layouttyp (siehe Tabelle 32), denn es lassen sich nicht alle Lagerungskonzepte in allen Grundrissformen realisieren.

Tabelle 32: Kompulsive Verbundmerkmale C_3/C_4

$A_T(C_3, C_4) = 9$ $A_S(C_3, C_4) = 6$		C_3 Lagerorganisation		
		C_1	C_2	C_3
C_4 Layouttyp	C_1	X		
	C_2		X	X
	C_3	X	X	X

Die Kombinationen der Merkmalsausprägungen von Bedarfsauslöser und Erzeugnisspektrum sind in Tabelle 33 zusammengefasst.

Tabelle 33: Kompulsive Verbundmerkmale C_8/C_{10}

$A_T(C_8, C_{10}) = 12$ $A_S(C_8, C_{10}) = 7$		C_{10} Bedarfsauslöser		
		C_1	C_2	C_3
C_8 Erzeugnisspektrum	C_1	x		
	C_2	x	x	
	C_3	x	x	x
	C_4			x

Tabelle 34 stellt die Mehrfeldertafel für die Merkmale C_8 und C_{11} dar. Von den acht möglichen Kombinationen können drei ausgeschlossen werden. Ausgeschlossen wird die Kombination c_1c_1 – ein bis wenige Produkte und Erzeugnisse nach Kundenspezifikation –, weil sie in der Praxis nicht vorkommt. Weiterhin ausgeschlossen werden die Kombinationen c_2c_3 und c_2c_4 – viele Produkte und Standarderzeugnisse mit und ohne Varianten –, da auch diese in der Praxis nicht vorkommen.

Tabelle 34: Kompulsive Verbundmerkmale C_8/C_{11}

$A_T(C_8, C_{11}) = 8$ $A_S(C_8, C_{11}) = 5$		C_8 Erzeugnisspektrum			
		C_1	C_2	C_3	C_4
C_{11} Programmmumfang	C_1		x	x	x
	C_2	x	x		

Weitere Reduzierungen ergeben sich bei der Betrachtung der Zwangsverbünde zwischen den Merkmalen

- Prozesswiederholung und Bedarfsauslöser (siehe Tabelle 35),
- Fertigungsorganisation und Bedarfsauslöser (siehe Tabelle 36) und
- Fertigungsorganisation und Programmmumfang (siehe
- Tabelle 37).

Tabelle 35: Kompulsive Verbundmerkmale C_7/C_{10}

$A_T(C_7, C_{10}) = 12$ $A_S(C_7, C_{10}) = 7$		C_7 Prozesswiederholung			
		C_1	C_2	C_3	C_4
C_{10} Bedarfsauslöser	C_1	x	x	(x)	
	C_2		x	x	
	C_3		x	x	x

Tabelle 36: Kompulsive Verbundmerkmale C_6/C_{10}

$A_7(C_6, C_{10}) = 9$ $A_S(C_6, C_{10}) = 7$		C_6 Fertigungsorganisation		
		c_1	c_2	c_3
C_{10} Bedarfs- auslöser	c_1	x	x	
	c_2	x	x	x
	c_3		x	x

Tabelle 37: Kompulsive Verbundmerkmale C_6/C_{11}

$A_7(C_6, C_{11}) = 6$ $A_S(C_6, C_{11}) = 4$		C_6 Fertigungsorganisation		
		c_1	c_2	c_3
C_{11} Programmumfang	c_1		x	x
	c_2	x	x	

Man kann bei der Bildung der zwangsmäßigen Verbundtypen anhand der Matrixdarstellung leicht erkennen, dass überproportional häufig Kombinationen herausfallen, für die

$$(c_i; c_j) = \emptyset \Leftrightarrow \begin{cases} (i \cong 1; j \cong 1) \wedge (i \cong n; j \cong n) \\ \quad \wedge / \vee \\ (i \cong 1; j \cong n) \wedge (i \cong n; j \cong 1) \end{cases} \quad [89]$$

gilt. Das sind vor allem die Kombinationen in den einander gegenüberliegenden Ecken der Matrix (vgl. exemplarisch Tabelle 36). Da bei der Typenbildung zumindest ordinal abstufbare Merkmale gewählt wurden und deren Anordnung von einem (sehr) geringen Ausprägungsgrad bei kleinem i zu einem eher hohen Ausprägungsgrad bei $i \approx n$ erfolgt, werden in den Ecken Verbundtypen von extremen Merkmalsausprägungen gebildet, die wegen der doppelten Extremausprägung entweder nicht relevant sind oder Prototypen darstellen. Anders formuliert: Die Matrizen sind in der Nähe der Diagonalen besonders dicht besetzt.

3.2.4 Ableitung von Logistiksystemtypen

Bei einer Klassifizierung realer Fabriken nach den in Abschnitt 3.2.2 eingeführten Merkmalen ist zu erwarten, dass – über die in Abschnitt 3.2.3 aufgezeigten Verbundmerkmale hinaus – eine Häufung bei bestimmten Kombinationen von Merkmalsausprägungen auftritt. Auf dieser Basis ließen sich Logistiksystemtypen definieren, die in Bezug auf eine größere Anzahl an Fabriken als repräsentativ anzusehen wären. Für die Ermittlung der realen Merkmalsausprägungen und die anschließende Bestimmung der typischen Kombinationen ist eine Datenerhebung bei einer hinreichend großen Stichprobe von Fabriken notwendig. Der erforderliche Umfang n der Stichprobe, um ein statistisches Signifikanzniveau von 5 % zu erhalten, berechnet sich nach Heddrich und Sachs auf Basis der Grundgesamtheit G folgendermaßen⁷⁵:

$$n = \frac{G}{1 + 0,05^2 \cdot G} \quad [90]$$

Der Verlauf von $n(G)$ ist in Abbildung 62 dargestellt.

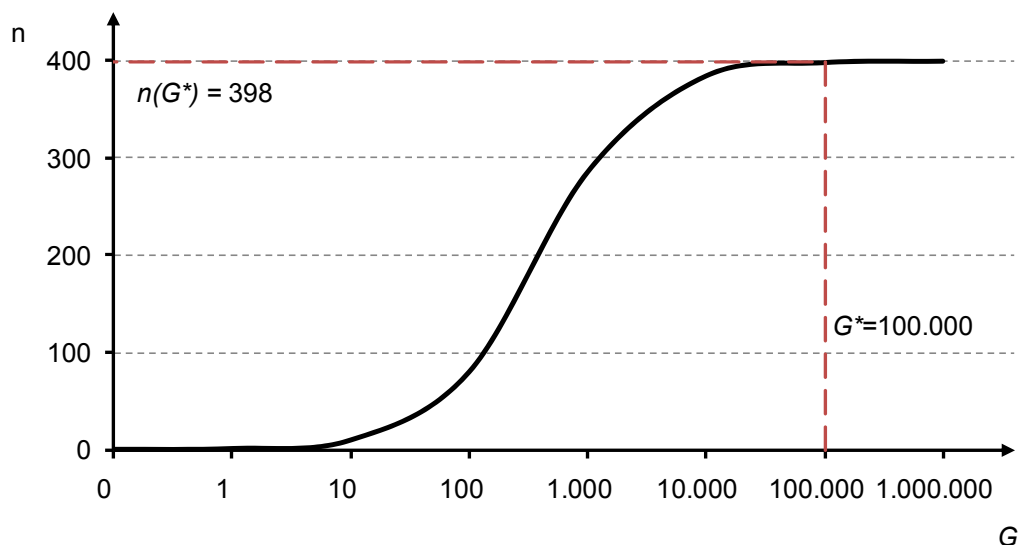


Abbildung 62: Minimaler Stichprobenumfang in Abhängigkeit von der Grundgesamtheit G bei $\alpha = 0,05$

Nach Erhebungen des Statistischen Bundesamtes (vgl. Jung 2010, S. 43) gibt es in Deutschland ca. 1,8 Millionen Unternehmen. Davon werden ca. 200.000 dem Wirtschaftsbereich D, verarbeitendes Gewerbe, zugerechnet (vgl. Jung 2010, S. 43). Eine weitere Differenzierung nach einer Zuordnung zur Fertigungsindustrie und nach Anzahl der Betriebsstätten je Unternehmen findet in der o.g. Statistik nicht statt (vgl.

⁷⁵ Formel nach Hedderich, Sachs 2012, S. 324, Formel (6.14); Symbole angepasst.

Jung 2010, S. 43). Wenn man jedoch für eine Abschätzung des benötigten Stichprobenumfangs davon ausgeht, dass es lediglich 10.000 (100.000) Betriebsstätten mit einem Logistiksystem gibt, wäre für eine empirische signifikante Ableitung von Logistiktypen eine Stichprobe von 384 (398) zufällig ausgewählte Fabriken notwendig. Da diese Methode aus zeitlichen und finanziellen Gründen verworfen werden musste, geschieht die Typenbildung durch eine logische Herleitung (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 34 f.; Schomburg 1980, S. 94 f.).

Folgende Vorgehensweise wird dazu gewählt (in Anlehnung an das methodische Vorgehen von Schomburg (1980, S. 94 f.)): Ausgehend von einem Extremtyp (LS 1, ein auf individuelle, kundenspezifische Produkte ausgerichteter Werkstattfertiger mit einer großen Fertigungstiefe, vielen Handlingsstufen, einem komplexen Materialfluss und verschiedenen Lagern in einer sukzessive gewachsenen Fabrik – beispielweise ein Entwickler für Sonderladungsträger – „werden im typologischen Grundmuster durch logische Veränderung einer oder mehrerer zusammenhängender Merkmalsausprägungen neue Kombinationen von Merkmalsausprägungen hergeleitet.“ (Schomburg 1980, S. 95). Entsteht dabei eine sinnvolle Kombination von Ausprägungen, wird auf dieser Basis ein neuer Systemtyp (LS 2) definiert und als Ausgangspunkt für weitere Varianten genutzt (vgl. Schomburg 1980, S. 95). Durch iteratives Fortsetzen dieses Vorgehens entsteht ein Netz von verschiedenen Logistiksystemtypen, die sich immer mehr dem entgegengesetzten Extremtyp nähern (vgl. Schomburg 1980, S. 95). Wird dieser Extremtyp erreicht, ist das Verfahren abgeschlossen (vgl. Schomburg 1980, S. 95). Das Vorgehen und die entstandenen Typen sind in Abbildung 63 dargestellt.

Ausgehend vom Logistiksystemtyp LS 1, einem Extremtyp, werden die Merkmalsausprägungen C_2 (Materialflusskomplexität) und C_3 (Lagerorganisation) c.p. variiert (siehe Abbildung 64). Durch diese Operation (O_{1-2}) entsteht ein neuer Typ, LS 2. Weiterhin werden, ausgehend von LS 2 c.p., die Merkmale C_7 (Repetitionsrate), C_8 (Erzeugnisspektrum) und C_{10} (Bedarfsauslöser) durch die Operation O_{2-3} verändert. Es entsteht ein neuer Typ, LS 3. Durch erneute Variation von C_2 und C_3 sowie C_{10} kann ein neuer Typ LS 4 gebildet werden (siehe Abbildung 64).

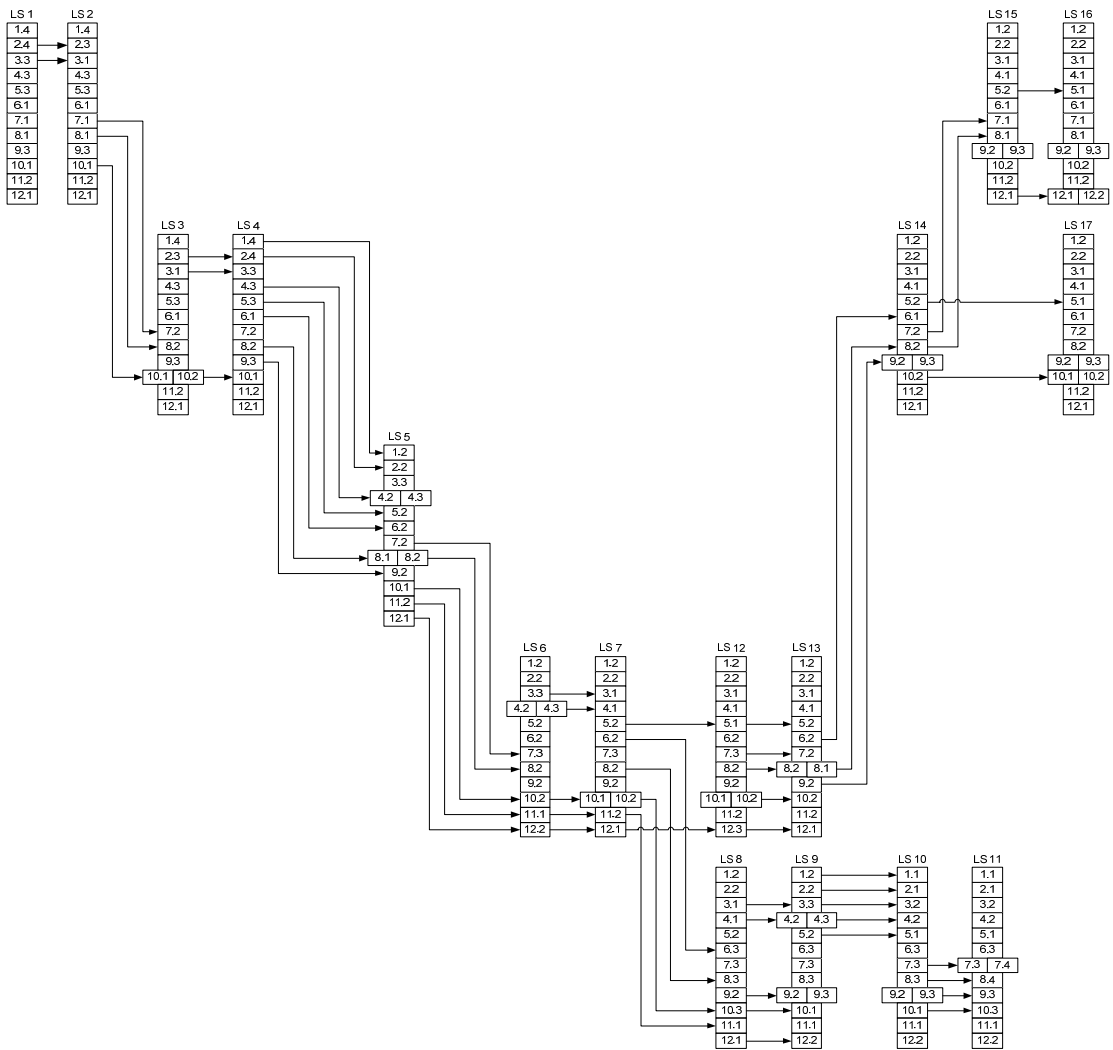


Abbildung 63: Verlauf und Ergebnis der logischen Herleitung der Typen von Logistiksystemen⁷⁶

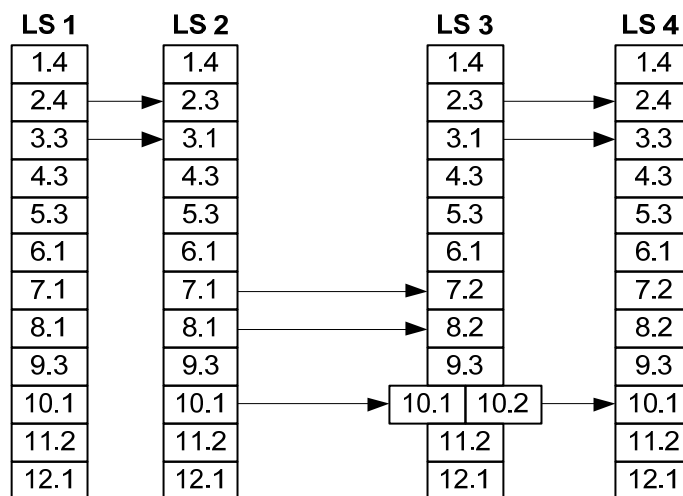


Abbildung 64: Exemplarische Ableitung von LS 1, 2, 3 und 4⁷⁷

⁷⁶ Modifiziert nach Schomburg 1980, S. 96

Darstellung der Logistiksystemtypen

Die Typen, die in Abbildung 63 abgeleitet wurden, sind in den Tabelle 38 sowie in den Tabellen 50 bis 65 im Anhang detailliert mit ihren den Ausprägungen dokumentiert. Die grau gefüllten Felder des morphologischen Schemas stellen jeweils die selektierte Merkmalsausprägung c des entsprechenden Merkmals C für den beschriebenen Typ dar.

Tabelle 38: Dokumentation des Logistiksystemtyps 1 (LS 1) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C_1 : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C_2 : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C_3 : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C_4 : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C_5 : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C_6 : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion		Zentren- produktion	Fließ- produktion
C_7 : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C_8 : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C_9 : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C_{10} : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C_{11} : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C_{12} : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion		materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

Der Typ LS 1, dargestellt in Tabelle 38, lässt sich beschreiben als eine Fabrik, in der in Werkstattproduktion eine Vielzahl kundenspezifischer Erzeugnisse nach Einzelbestellungen einmalig hergestellt wird. Die Fertigungsstruktur weist eine hohe

⁷⁷ Modifiziert nach Schomburg S. 98 f.

Fertigungstiefe auf. Die Bestände sind hoch, und der Fabrikgrundriss ist campusförmig. Es existieren mehrere dezentrale Lager, über die sehr komplexe Materialflüsse mit vielen Handlingsstufen abgewickelt werden. Die Fertigung ist arbeitsintensiv. Derartige Logistiksysteme lassen sich beispielsweise im Sondermaschinenbau finden.

Die 17 gebildeten Logistiksystemtypen sind in Tabelle 39 zusammengefasst dargestellt. Dabei stehen nur die jeweiligen Indizes der Merkmalsausprägung in der Tabelle.

Tabelle 39: Zusammenfassung der Ausprägungen der Logistiksystemtypen

	Logistiksystemtyp																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Merkmalsausprägung c_j																	
c_i	1	4	4	4	4	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
	2	4	3	3	4	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
	3	3	1	1	3	3	3	1	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1
	4	3	3	3	3	2/3	2/3	1	1	2/3	2	2	1	1	1	1	1	1
	5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1
	6	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	2	2	1	1	1	1
	7	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3/4	3	2	2	1	1	2
	8	1	1	2	2	1/2	2	2	3	3	3	4	2	1/2	2	1	1	2
	9	3	3	3	3	2	2	2	2	2/3	2/3	3	2	2	2/3	2/3	2/3	2/3
	10	1	1	1/2	1	1	2	1/2	3	1	1	3	2	2	1	1	1	1/2
	11	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2
	12	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	3	2	1	1	1/2	1

4. Anwendung der durchlaufzeitbasierten Kennzahlen in Logistiksystemen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Anforderungen an Logistiksysteme abgeleitet, beschrieben und Kennzahlen zur Messung des Intensitätsgrades der Erfüllung dieser Anforderungen definiert (Kapitel 2). In Abschnitt 3.2 wurde eine Typologie von Logistiksystemen erarbeitet und die Vielzahl von denkbaren Ausprägungsformen auf die wesentlichen reduziert. Diese Typologie ermöglicht es nun, von wenigen typischen Logistiksystemen Schlüsse auf reale logistische Systeme in der Fertigungsindustrie zu ziehen (vgl. Große-Oetringhaus 1974, S. 20 und S. 337 ff.). Dadurch wird gerade auch die Konzeption bzw. Planung von realen Systemen stark vereinfacht. Die Unterstützung bei der Planung geschieht auf zweierlei Wegen. Zum einen ist es möglich, die Wirkung der einzelnen Merkmale und ihrer Ausprägungen hinsichtlich der Anforderungen, die an logistische Systeme gestellt werden (vgl. 2.2), zu qualifizieren, und zum anderen wird dadurch, dass die wesentlichen, ein Logistiksystem beschreibenden Merkmale identifiziert sind, eine strukturierte Planung der einzelnen Systemmerkmale ermöglicht.

Dazu werden zunächst in Abschnitt 4.1 die Interdependenzen zwischen den Merkmalen eines logistischen Systems und den Anforderungen, denen es genügen muss, betrachtet. In 4.2 wird dann ein Vorgehensmodell zur Planung von logistischen Systemen vorgestellt, das sowohl auf Neu- als auch auf Optimierungs- und Erweiterungsplanungen anwendbar ist. Anhand von zwei Beispielplanungen wird in Abschnitt 4.3 die Anwendung des Vorgehensmodells demonstriert.

4.1 Einfluss der Merkmale der Logistiksystemtypen auf den Wertebereich der Kennzahlen

Die in Abschnitt 3.2.2 vorgestellten Merkmale (die Lagerorganisation, der Layouttyp, die Bestandsreichweite, die Fertigungsorganisation, die Prozesswiederholung, das Erzeugnisspektrum, die Fertigungsstruktur, der Bedarfsauslöser, das Produktionsprogramm und das Gewicht der Faktorarten) haben unterschiedlichen Einfluss auf die drei in Abschnitt 2.3.1 definierten Kennzahlen des Logistiksystems.

Der Einfluss der Merkmale auf Schlankheit, Robustheit und Flexibilität lässt sich in zwei Kategorien einteilen:

- Merkmale, die je nach ihrer Ausprägung als Befähiger (enabler) eines bestimmten Grades der Ausprägung der Systemeigenschaften dienen, und
- Merkmale, die je nach ihrer Ausprägung, als Forderer (requester/claimer) einer Eigenschaftsausprägung fungieren.

Ein Merkmal kann Befähiger, Forderer oder beides bezüglich der Ausprägung der Kennzahl sein. Ein Befähiger erzeugt ein Potenzial hinsichtlich des erreichbaren Wertebereichs. In Tabelle 40 sind die Einflüsse der Elementartypen auf die drei Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 40: Einfluss der Merkmale auf die Kennzahlen

	Schlankheit		Robustheit		Flexibilität	
	Potenzial	Bedarf	Potenzial	Bedarf	Potenzial	Bedarf
C ₁ : Handlingsstufen	X		X		X	
C ₂ : Materialfluss-komplexität	X		X		X	
C ₃ : Lagerorganisation			X		X	
C ₄ : Layouttyp	X	X	X	X	X	X
C ₅ : Bestandsreichweite	X					
C ₆ : Fertigungs-organisation	X	X	X	X	X	X
C ₇ : Prozesswiederholung		X		X		X
C ₈ : Erzeugnisspektrum	X					X
C ₉ : Fertigungsstruktur	X					
C ₁₀ : Bedarfsauslöser		X		X		X
C ₁₁ : Programm		X		X		X
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	X	X	X	X	X	X

Eine isolierte Betrachtung von einzelnen Merkmalen liefert dabei nur eine teilweise Erklärung, da aufgrund der Zwangsabhängigkeiten der Ausprägungen der Merkmale untereinander (siehe Abschnitt 3.2.3) Potenziale und Bedarfe gegenseitig beeinflusst werden.

Die Anzahl der *Handlingsstufen* (C₁) hat einen Einfluss auf das Potenzial bzgl. Schlankheit und Robustheit des Systems. In diesem Fall ist die Relation zwischen der Merkmalsausprägung und dem Wertebereich der Kennzahl bei beiden reziprok proportional: Je weniger Handlingsstufen existieren, desto stärker können sich *L* und *R* dem

Wert 1 annähern. Ursache dieses Potenzials von C_1 ist die Erwartung, dass mit zunehmender Anzahl an Stufen und damit Umschlägen die Wahrscheinlichkeit – bzw. in der Praxis auch die Notwendigkeit – von Entkopplungspuffern und Wartezeiten entsteht. Im Gesamtprozess führt das zu längeren realen Durchlaufzeiten (DLZ_{IST}) und zu einer größeren Streuung der Durchlaufzeiten (σ_{IST}). Ein höherer Wert dieser beiden Größen führt nach den Gleichungen [4] und [8] zu geringeren Werten von L und R .

Das Merkmal *Materialflusskomplexität* wirkt ähnlich auf das Potenzial der Schlantheit und Robustheit wie die Anzahl der Handlingsstufen. Eine geringe Komplexität vergrößert das Potenzial für ein schlankes und robustes Logistiksystem. Ursache ist, dass eine geringe Komplexität sich durch einen hohen Richtungskoeffizienten, d.h. eine deutliche Gerichtetheit der Materialflüsse, und einen geringen Desintegrationsgrad, d.h. eine geringe Vernetzung, auszeichnet.

Es können ebenfalls Zusammenhänge zwischen der *Lagerorganisation* und dem Potenzial von Robustheit und Schlantheit hergestellt werden. Dezentrale Lager gehen zumeist mit kurzen Wegen zwischen Lager- und Verbrauchsort einher. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Schlantheit und die Robustheit aus. Mit modernen Lagerverwaltungssystemen hat die hybride Lagerorganisation die gleichen Vorteile bzgl. der Bestände und Transparenz wie zentrale Lagerkonzepte, kombiniert diese aber zusätzlich mit den Transportwegvorteilen der dezentralen Organisation.

Der *Layouttyp* hat erheblichen Einfluss auf das Potenzial aller drei Kennzahlen. Offene Grundrisse (siehe Abbildung 53 auf S. 114) sind hinsichtlich der Gestaltung schlanker und flexibler Prozesse gut geeignet, da sie zum einen kurze Wege für die Intralogistik ermöglichen und zum anderen genügend Erweiterungspotenzial lassen. Geschlossene Grundrisse sind vor allem bei kleinen Fabriken hinsichtlich der Wege von Vorteil. Bei größeren Fabriken kann sich dies auch in das Gegenteil verkehren. Campusartige Grundrisse erschweren eher einen robusten, flexiblen und schlanken Logistikablauf.

Auch das Merkmal *Bestandsreichweite* hat Auswirkungen auf die Schlantheit und die Robustheit, jedoch ist dieser bei den Kennzahlen entgegengesetzt gerichtet: große Bestände haben eher gute Werte bei der Robustheit und eher schlechte bei der Schlantheit (und vice versa) zur Folge. Bezüglich der Wirkung auf die Flexibilität ist dieses Merkmal indifferent. Große Bestände erhöhen zwar einerseits die Wahrscheinlichkeit, dass Materialien für einen nicht antizipierten Fertigungsauftrag zur Verfügung stehen, andererseits gibt es neben einem erheblichen Verschrottungsrisiko, wenn infolge von

Umweltveränderungen bestimmte Erzeugnisse nicht mehr hergestellt werden, auch Risiken, Aufträge nicht annehmen zu können, weil Vormaterial nicht mehr gelagert werden kann.

Die *Fertigungsorganisation* beeinflusst die Bedarfe und Potenziale von L , R und F auf verschiedene Weise. Werkstattfertigungen haben einerseits ein hohes Flexibilitäts-potenzial, da es zwischen den einzelnen Arbeitsstationen systembedingt keine Zwangs-verknüpfungen gibt, sich also eine geänderte Bearbeitungsreihenfolge sehr leicht umsetzen lässt. Eine geänderte Reihenfolge in der Bearbeitung kann dabei mehrere Ursachen haben:

- ein neues Produkt, das eine andere Folge von Fertigungsschritten erfordert,
- die Optimierung des Ablaufs eines bestehenden Produkts oder
- der Ausfall einer Arbeitsstation, so dass ein Bypass notwendig ist.

Andererseits ist in der Werkstattfertigung der Bedarf bezüglich schlanker Abläufe der Ver- und Entsorgung der Arbeitsstationen relativ groß. In der Gruppenfertigung sinkt das Flexibilitätspotenzial bereits, da einige Zwangsverknüpfungen zwischen den einzelnen Operationen existieren. In der Fließfertigung sind die Potenziale bzgl. der Flexibilität am geringsten.

Die Ausprägungen des Merkmals *Prozesswiederholung* beeinflussen den Bedarf bezüglich aller drei Kennzahlen. Dabei nimmt der Bedarf hinsichtlich der Eigenschaft Flexibilität mit zunehmender Losgröße ab. Entgegengesetzt verhält es sich mit der Robustheit und der Schlankheit. Je höher die Losgröße ist, desto stärker würde sich eine mangelhafte Ausprägung dieser beiden Eigenschaften auf die Performance des Systems aufwirken.

Das *Erzeugnisspektrum* definiert einen Teil des Bedarfs an Flexibilität. Dabei ist dieser Bedarf umso größer, je mehr sich die nacheinander hergestellten Produkte voneinander unterscheiden. Bei der Fertigung kundenindividueller Erzeugnisse ist der Flexibilitätsbedarf am größten, während der bei der Herstellung von standardisierten Produkten ohne Varianten ($C_{8.c4}$) am geringsten ist.

Die Ausprägung des *Bedarfsauslösers* (C_{10}) erzeugt einen Bedarf bzgl. der Ausprägung der drei Kennzahlen. Einzelbestellungen, vor allem in Kombination mit kunden-individuellen Produkten,

Die Wirkung der *Produktprogrammbreite* (C_{11}) ist mit der des Erzeugnisspektrums vergleichbar.

Der *vorherrschende Einsatzfaktor* hat erheblichen Einfluss auf Potenzial und Bedarf bezüglich aller drei Kenngrößen. Allerdings muss zwischen den Ausprägungen von C_{12} differenziert werden. Logistiksysteme zur Versorgung sehr anlagenintensiver Produktionen ($C_{12}.c_3$) haben vor allem einen großen Bedarf an Robustheit, um die Anlagenauslastung maximieren zu können und nicht durch fehlendes oder zu viel Material Stillstände zu generieren (siehe Tabelle 41, wobei „+B“ bedeutet, dass der entsprechende Potentialfaktor den Bedarf an einer deutlicheren Ausprägung der Kennzahl befördert). Materialintensive Fertigungen ($C_{12}.c_2$) haben einen großen Bedarf an schlanken Logistiksystemen, was dazu führt, dass das *WIP* und somit das gebundene Material möglichst gering ist. Arbeitsintensive Herstellverfahren verlangen wiederum eher nach flexiblen und robusten Logistiksystemen, um den relativ teuren Potenzialfaktor Arbeit optimal auszulasten.

Tabelle 41: Einfluss der Merkmalsausprägungen auf die Logistiksystemkennzahl

		Logistiksystemkennzahl		
		Schlankheit	Robustheit	Flexibilität
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	c ₁ : arbeitsintensiv		+B	+B/+P
	c ₂ : materialintensiv	+B		
	c ₃ : anlagenintensiv		+B	-P

Ein weiterer Aspekt ist der, wie schnell sich die einzelnen Merkmale hinsichtlich ihrer Ausprägung unter normalen Voraussetzungen anpassen lassen. Einige lassen sich eher kurzfristig anpassen. Beispiele dafür sind die Anzahl der Handlingsstufen und mit Einschränkungen auch die Bestandsreichweite. Mittelfristige Anpassungen sind bspw. bei der Lagerorganisation möglich. Viele Merkmale des Logistiksystems sind jedoch nur langfristig bzw. mit großem Aufwand anpassbar (siehe Tabelle 42).

Tabelle 42: Zeitlicher Horizont der Veränderbarkeit der Merkmalsausprägungen

	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
C ₁ : Handlingsstufen	X		
C ₂ : Materialflusskomplexität	X	X	
C ₃ : Lagerorganisation		X	X
C ₄ : Layouttyp			(X)
C ₅ : Bestandsreichweite	(X)	X	
C ₆ : Fertigungsorganisation			X
C ₇ : Prozesswiederholung			X
C ₈ : Erzeugnisspektrum			X
C ₉ : Fertigungsstruktur			X
C ₁₀ : Bedarfsauslöser			X
C ₁₁ : Programm			X
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten			X

Bei einem Vergleich der Tabellen 41 und 39 kann man sehen, dass es eine gewisse Korrelation zwischen der Kategorie des Merkmals hinsichtlich Befähiger/Forderer und dem zeitlichen Horizont der Anpassbarkeit gibt. Alle kurz- und mittelfristig anpassbaren Größen sind eher Befähiger.

4.2 Gestaltung realer Logistiksysteme

„Aufgabe der *Systemplanung* ist die Entwicklung [oder die Optimierung, Anmerkung durch Verfasser] eines Systems, das die gestellten *Leistungsanforderungen* bei gegebenen *Randbedingungen* zu minimalen *Leistungskosten* erfüllt.“ (Gudehus 2011, S. 553, Hervorhebungen im Original). Ziel der Systemoptimierung ist die Senkung der Leistungskosten bzw. die Steigerung des Leistungsvermögens (vgl. Gudehus 2007b, S. 553). Man kann drei Arten von Aufgaben bzgl. der Gestaltung von Logistiksystemen unterscheiden:

- die Neuplanung eines Logistiksystems bspw. beim Neuaufbau einer Fabrik (Greenfield-Planung, siehe Abschnitt 1.2)
- die Erweiterungsplanung eines Logistiksystems bspw. bei einer wesentlichen Erweiterung einer Fabrik und
- die Optimierungsplanung eines Logistiksystems bei einer bestehenden Fabrik (sog. Brownfield-Planung, siehe Abschnitt 1.2).

Die drei Planungsfälle unterscheiden sich primär in ihrem Freiheitsgrad und den Randbedingungen. Die Freiheitsgrade sind allgemein bei einer Neuplanung des kompletten Logistiksystems einer neuen Fabrik am größten und bei einer Optimierung am geringsten. Hinsichtlich der Planungskomplexität und des Planungsaufwands kann nur aufgrund der Planungsart keine Unterscheidung getroffen werden.

Für die Planung und Realisierung von Logistiksystemen gibt es in der Literatur eine Vielzahl von Ansätzen.⁷⁸ Diese weisen jedoch eine große Ähnlichkeit miteinander auf. Hier soll der Ansatz des Systems Engineering (SE) von Haberfellner vorgestellt werden (siehe Abbildung 65 und Haberfellner 1982b, S. 54). Das Systems Engineering ist eine Problemlösungsmethodik, mit der sich auch komplexe Problemstellungen methodisch zweckmäßig bearbeiten lassen (vgl. Daenzer, Huber 1997, S. XVIII f.). Weitere wichtige Aspekte sind der Ansatz, dass im Rahmen des SE in mehreren Phasen vom Groben zum Detail geplant wird und dass die Planungsmethodik in Abhängigkeit von der Komplexität des Planungsproblems skalierbar ist (vgl. Daenzer, Huber 1997, S. XXII und 30 f.). Ein Vergleich mit anderen Vorgehensmodellen findet sich bei Daenzer, Huber (1997, S. 60 ff.).

Der SE-Ansatz umfasst sechs Phasen, die durchlaufen werden:

- „Vorstudie
- Hauptstudie,
- Detailstudien, [...]
- Systembau,
- Systemeinführung,
- Systembenützung[sic!]“

(Haberfellner 1982a, S. 26)

In den ersten drei Phasen geschieht dies (ggf. mehrfach) in einem Problemlösungszyklus, der sich aus drei Stufen zusammen setzt (siehe Abbildung 65):

- „Zielsuche (mit der Situationsanalyse und der Zielsetzung),
- Lösungssuche (mit der Synthese und der Analyse) und
- Auswahl (mit der Bewertung und der Entscheidung)“

⁷⁸ Es sei hier nur exemplarisch auf die Ansätze von Gudehus (vgl. 2011, S. 67 ff.), Kuhn (vgl. 1991, S. 13f.) und Reichmann (vgl. 1997, S. 8) verwiesen. Eine Übersicht findet sich auch bei Daenzer, Huber (vgl. 1997, S. 60 ff.).

(Haberfellner 1982a, S. 40). Die einzelnen Phasen werden dabei als Makro-Logik und der Problemlösungszyklus als Mikrologik des Vorgehensmodells bezeichnet (vgl. Daenzer, Huber 2002, S. 37 und S. 47).

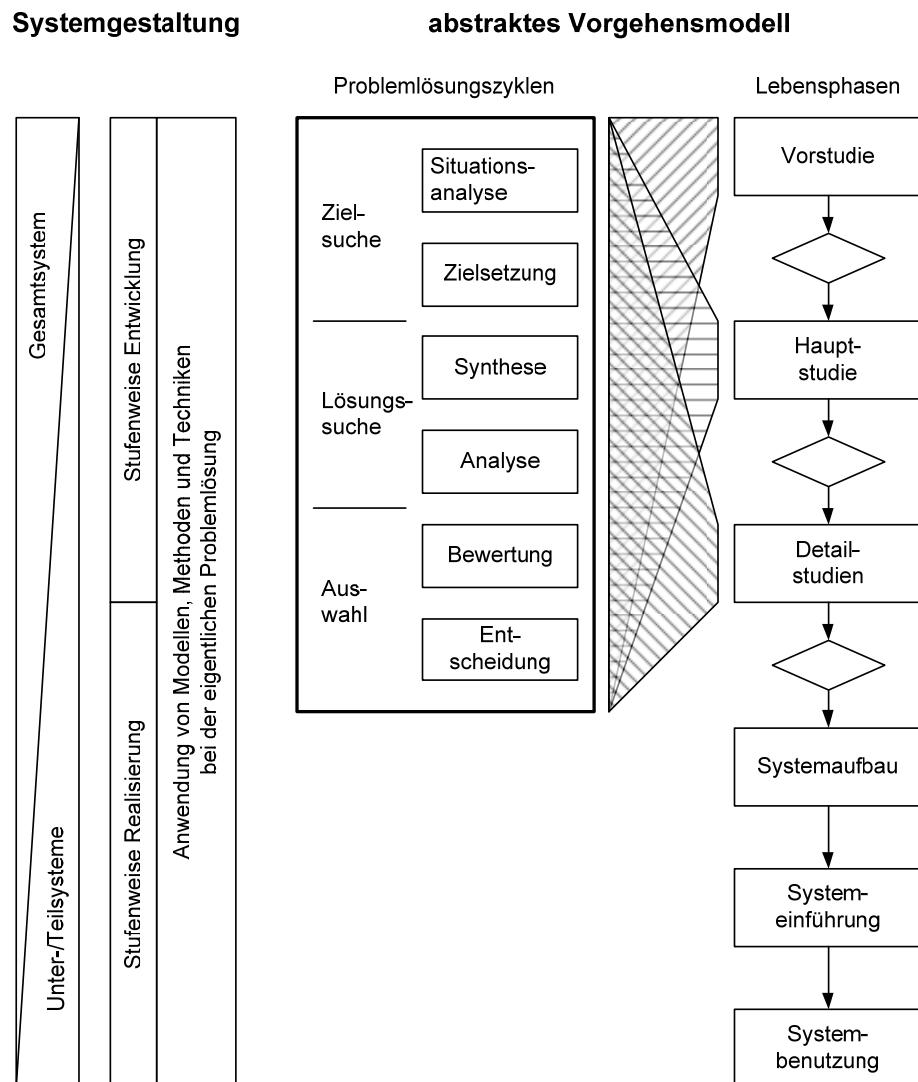


Abbildung 65: Phasen der Planung und Realisierung von Logistiksystemen⁷⁹

Wesentlich für die Gestaltung des Logistiksystems sind die ersten beiden Phasen (vgl. zur allgemeinen Bedeutung der ersten beiden Phasen Daenzer, Huber 2002, S. 37). In der Vorstudie werden die Systemgrenzen und die Anforderungen definiert. Ebenfalls in diesem Schritt werden die Anforderungen an das Logistiksystem bezüglich der Schlankheit, Robustheit und Flexibilität festgelegt. Dafür ist es hilfreich, zunächst eine Priorisierung dieser drei Größen vorzunehmen und damit eine Reihenfolge festzulegen. Sofern verfügbar, können auch die Zielgrößen (Servicegrad, akzeptierter WIP etc.) erfasst werden.

⁷⁹ Nach Haberfellner 1982b, S. 54.

Weiterhin werden die grundsätzlichen Lösungsmöglichkeiten bzw. -prinzipien untersucht (vgl. Haberfellner 1982a, S. 31f.). Dabei werden die Merkmale der Typologie definiert, die als nicht veränderbar anzusehen sind und somit die Randbedingungen für das zu gestaltende Logistiksystem bilden. Das Ergebnis der Vorstudie ist ein Rahmenkonzept (vgl. Haberfellner 1982a, S. 33).

Auf Basis des in der Vorstudie erarbeiteten Rahmenkonzepts wird in der Hauptstudie die Struktur des Gesamtsystems verfeinert. Die Ausprägungen der noch nicht festgelegten Merkmale werden hinsichtlich ihres Beitrags zur Erfüllung der Anforderungen, die an das zu gestaltende Logistiksystem gestellt werden, untersucht und diejenigen Merkmalsausprägungen bestimmt, die eine Erfüllung der Anforderungen erwarten lassen. Im Rahmen der Hauptstudie sind zunächst Lösungsvarianten zu erarbeiten und zu bewerten. Die Bewertungskriterien sind diejenigen, die in der Vorstudie erarbeitet wurden. In der Hauptstudie sollten auch Systemmerkmale, die besonders wichtig sind oder bei denen Anlass zur Vermutung besteht, dass in einer späteren Phase Probleme mit deren Gestaltung auftreten, bereits detailliert untersucht werden (vgl. Daenzer, Huber 2002, S. 41 f.). Das Ergebnis der Hauptstudie ist ein Gesamtkonzept für ein logistisches System. Bestandteil dieses Gesamtkonzepts sind auch die Prioritäten für weitere Detailstudien und ein erster Umsetzungsplan (vgl. Daenzer, Huber 2002, S. 41 f.). Die Notwendigkeit der Priorisierung ergibt sich aus der Überlegung, dass wichtige bzw. kritische Systemteile zuerst zu definieren sind und die anderen Elemente sich daran ausrichten müssen, da jede Entscheidung für eine konkrete Merkmalsausprägung auch die Freiheitsgrade für die Wahl der Ausprägungen der anderen Merkmale einschränkt (vgl. 3.2.3). Ein weiterer, eher praktisch orientierter Aspekt ist der, dass bei der Systemgestaltung nur beschränkte Kapazitäten für die Planung und Durchführung zur Verfügung stehen (vgl. Haberfellner 1982a, S. 33).

Für die Detailstudie werden nun einzelne Subsysteme herausgegriffen und detaillierte Lösungen erarbeitet, die sich in das Gesamtkonzept einfügen müssen. Die Typologie der Logistiksysteme dient in dieser Phase nur noch als Anhaltspunkt dafür, welche einzelnen Aspekte bearbeitet werden müssen. Die konkreten Lösungen zur Umsetzung der Merkmalsausprägung im realen Logistiksystem werden durch die Typologie nicht mehr erfasst.

Die Gestaltung eines Logistiksystems wird zumeist gemeinsam mit der des Produktionssystems und ggf. anderer betrieblicher Subsysteme durchgeführt. Für die

Gestaltung dieser Systeme eignet sich das vorgestellte Vorgehensmodell ebenso. Zu beachten ist jedoch, dass es zwischen diesen einzelnen Gestaltungsaufgaben zu Interdependenzen kommt. Die Produktionssystemplanung liefert wichtige Eingangsgrößen für die Logistiksystemplanung und vice versa. Dieses Zusammenspiel wird in den beiden folgenden Fallbeispielen noch einmal sehr deutlich werden.

4.3 Anwendung des Vorgehensmodells in Beispielfällen

Das im vorangegangenen Abschnitt geschilderte Vorgehensmodell für die Gestaltung von Logistiksystemen soll in zwei Beispielfällen aus der betrieblichen Praxis angewendet und die einzelnen Schritte verdeutlicht werden. Die Grundlage der beiden Fallstudien bilden zwei in der Literatur beschriebene Planungsfälle. Der erste stammt von Apple und hat eine Fabrikneuplanung zum Gegenstand (vgl. Apple 1977, S. 42 ff.). Der Fall einer Optimierungsplanung wird anhand des zweiten Beispiels verdeutlicht und ist Grundig entlehnt (vgl. Grundig 2009, S. 303 ff.).

Es wurden die Rahmendaten der Beispiele aus der Literatur als Basis für die Demonstration der Anwendung des Vorgehensmodells zur Gestaltung von Logistiksystemen verwendet. Die notwendigen zusätzlichen Annahmen und Ergänzungen sind in den Fallschilderungen gekennzeichnet. Durch die Verwendung der literarischen Vorlagen ist die Konzentration auf die Gestaltung des Logistiksystems möglich, während die anderen, tangierenden Planungsbereiche (Produktions-, Technologie-, Generalbebauungsplanung etc., vgl. Schenk, Wirth 2004, S. 225 ff.; Helbing 2010, S. 93 ff.) durch die literarischen Vorlagen abgedeckt und bei Bedarf dort ausführlich nachvollzogen werden können (vgl. auch Abschnitt 4.3.3).

4.3.1 Beispiel einer Greenfield-Planung

Die Grunddaten dieses Beispiels sind Apple entnommen (vgl. Apple 1977, S. 42 ff.). An dieser Fallstudie werden verschiedene Techniken und Methoden der Fabrikplanung vorgestellt. Planungsgegenstand ist der Entwurf einer Fabrik zur Produktion einer mechanischen Vorrichtung. Diese wird unter dem Markennamen Pow-R-Arm⁸⁰ vertrieben und dient zur Positionierung eines Werkstücks in beliebiger Lage, um es so (besser) bearbeiten zu können. In Abbildung 67 ist das Modell 301 dargestellt. Es existieren weitere Modelle, die prinzipiell gleich aufgebaut sind.

⁸⁰ Die Schreibweise orientiert sich an derjenigen des aktuellen Markeninhabers. Apple benutzt die Schreibweise *Powrarm* (vgl. Apple 1977, S. 42).

Die Funktionsweise des Pow-R-Arm beruht darauf, dass über einen Bolzen, der mechanisch oder hydraulisch bewegt werden kann, eine Kugel gegen die zwei-sphärische Innenseite einer Kappe gepresst und dadurch fixiert wird (siehe Abbildung 67). An dieser Kugel befindet sich eine Vorrichtung (im Beispiel zwei Schrauben), mit der ein Werkstück eingespannt werden kann. Durch das Zusammenspiel von Bolzen, Kugel und Kappe ist eine Fixierung der Kugel in nahezu jeder Lage möglich (siehe Abbildung 66).

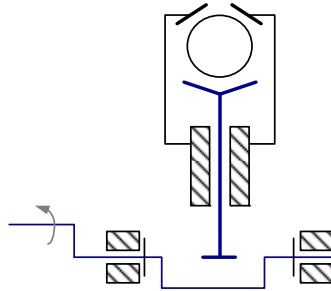


Abbildung 66: Technisches Prinzip des Pow-R-Arm⁸¹

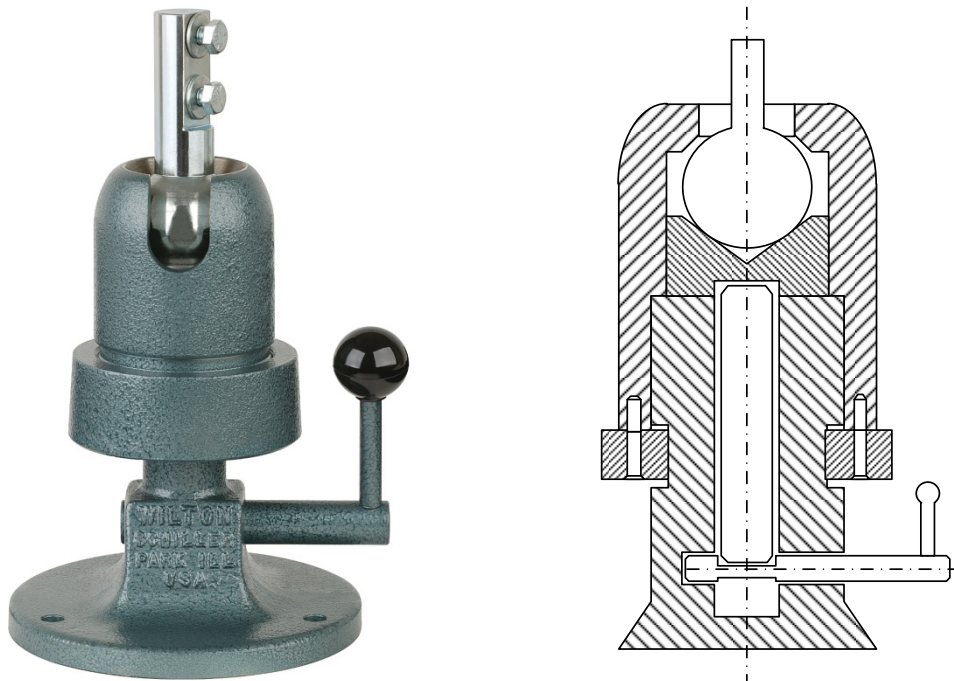


Abbildung 67: Der Pow-R-Arm No. 301⁸² und eine Schnittdarstellung⁸³

⁸¹ Eigene Darstellung auf Basis der Informationen bei Apple 1977, S. 43 f. (Explosionsdarstellung (S. 43) und Einzelteilzeichnung der Basis (S. 44)).

⁸² Das Bild wurde der Bilderdatenbank von Wilton Tools (<http://www.wmhtoolgroup.com/imagelibrarywm/>) am 08.03.2011 entnommen.

⁸³ Eigene Darstellung auf Basis der Informationen bei Apple 1977, S. 43 f. (Explosionsdarstellung (S. 43) und Einzelteilzeichnung der Basis (S. 44)).

Grunddaten

Die Annahmen und Randbedingungen dieses Beispiels lehnen sich an Apple an (vgl. Apple 1977, S. 42 ff.). Erweiterungen oder zusätzliche Annahmen sind gesondert gekennzeichnet.

Die Vorrichtung wird aus 13 Einzelteilen zusammengebaut (vgl. Stückliste in Tabelle 43; $N_{Pos} = 13$; vgl. Apple 1977, S. 45). Vier Positionen werden fremdbezogen (alles Normteile, vgl. Apple 1977, S. 45). Für die eigengefertigten Bauteile wird Halbzeug aus Walzstahl, Aluminium- und Grauguss verwendet. Die Produktstruktur ist fünfstufig ($N_{ST} = 5$: Rohmaterial \rightarrow Bauteil \rightarrow Unterbaugruppe \rightarrow Baugruppe \rightarrow Endprodukt). Die Maße des Endprodukts sind 17,5 cm \times 16,3 cm \times 23,1 cm (Länge \times Breite \times Höhe), und es hat ein Gewicht von ca. 6,4 kg.

Der prinzipielle Ablauf der Fertigung ist in Abbildung 68 vereinfacht – ohne die Fertigungsschritte zur Herstellung der Bauteile aus dem Rohmaterial – dargestellt. Die folgende Beschreibung basiert auf der Darstellung der Fertigung bei Apple (1977, S. 126):

Aus dem entsprechenden Halbzeug werden die Bauteile 1 bis 3, 5 und 7 bis 11 gefertigt. Die Bauteile 3 und 4 werden zur Unterbaugruppe *Handgriff* (SSA1) vormontiert. Durch den Zusammenbau mit der *exzentrischen Welle* (Pos. 2) entsteht die Baugruppe *Exzenter* (SA1), die anschließend in die *Basis* (A1) eingebaut wird. Die Bauteile Pos. 5, 9 und 10 werden danach ebenfalls an der *Basis* montiert. Die Baugruppe *Schwenkkugel* (SA3) wird dann im nächsten Fertigungsschritt eingepasst (A3).

Abschließend werden *Gehäuse* (Pos. 7) und *Kappe* (Pos. 8) mit den *Sechskantschrauben* (Pos. 6) an A3 befestigt (A4). Das Produkt wird dann geprüft und durch Entfetten (A6) für das Lackieren vorbereitet. Nachdem es lackiert worden ist (A7), wird es verpackt (A8). Damit ist der Herstellungsprozess abgeschlossen (siehe Abbildung 68).

Der erwartete jährliche Absatz beträgt 134.000 Stck (= N_A ; vgl. Apple 1977, S. 82). Die Fabrik soll im Ein-Schicht-Modell mit acht Arbeitsstunden pro Tag und 250 Arbeitstagen pro Jahr betrieben werden (vgl. Apple 1977, S. 82). Der Ziel-Lagerbestand sind zehn Arbeitstage (vgl. Apple 1977, S. 251).

Tabelle 43: Stückliste des Pow-R-Arm⁸⁴

Pow-R-Arm M1				
Nr.	Bauteilbenennung	Anzahl	Material	Fremdbezug
1	Basis	1	Alu-Guss	
2	Exzentrische Welle	1	Walzstahl	
3	Griff	1	Walzstahl	
4	Knauf	1	Kunststoff	x
5	Bolzen	1	Walzstahl	x
6	Sechskantschraube	4		x
7	Gehäuse	1	Alu-Guss	
8	Kappe	1	Alu-Guss	
9	Stift	1	Walzstahl	
10	Druckplatte	1	Grauguss	
11	Schwenkkugel	1	Walzstahl	
12	Unterlegscheibe	2		x
13	Sechskantschraube	2		x

⁸⁴ In Anlehnung an Apple 1977, S. 45. Bei Apple ist Bauteil Nr. 5 nicht als Fremdbezug gekennzeichnet. Aus den späteren Prozessdarstellungen geht allerdings hervor, dass der Bolzen nicht weiter bearbeitet wird, bevor er montiert wird (vgl. Apple 1977, S. 128 und S. 140 f.).

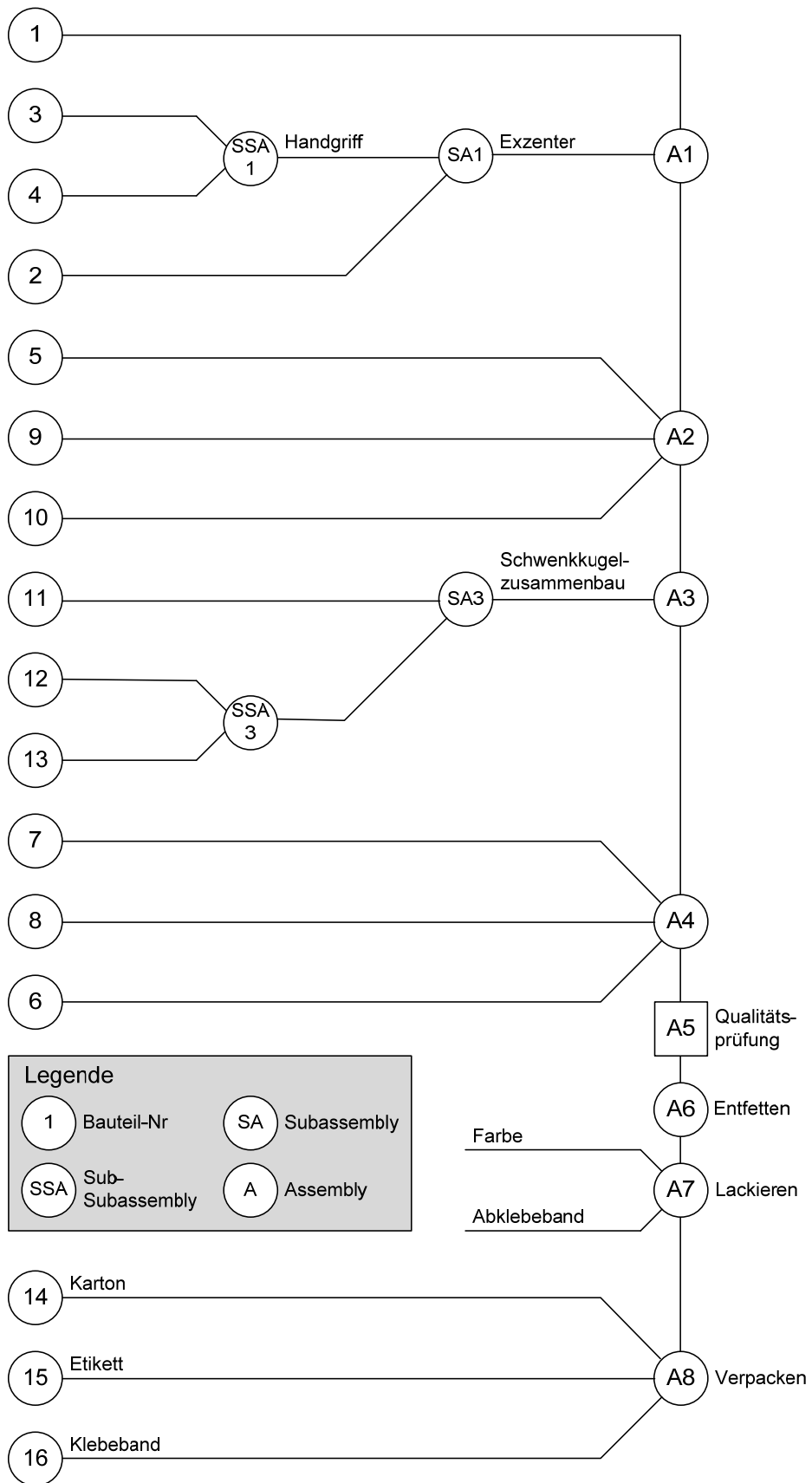


Abbildung 68: Zusammenbau-Graph⁸⁵

⁸⁵ Nach Apple 1977, S. 126 Abbildung 6-1 (Übersetzt und Legende ergänzt).

Vorstudie

Gegenstand der Vorstudie ist zunächst die Erfassung der Rahmenbedingungen bzw. der Ist-Daten bzgl. des zu gestaltenden Logistiksystems (vgl. auch Abbildung 65 auf S. 151). Dafür kann das morphologische Schema der Typologie von Logistiksystemen genutzt werden. Dazu werden in der Grundform gemäß Tabelle 23 diejenigen Merkmalsausprägungen gekennzeichnet, die durch die Aufgabenstellung gegeben sind. Im Einzelnen sind dies:

- das Erzeugnisspektrum: Standarderzeugnis mit Varianten
- die Fertigungsstruktur: mittlere Fertigungstiefe
- der Bedarfsauslöser: Produktion auf Lager
- das Programm: ein bis wenige Produkte

Das Ergebnis dieses ersten Schritts ist in Tabelle 45 dargestellt. Anschließend sind die Zielvorgaben zu erfassen, nämlich:

- die Bestandsreichweite – die Ziel-Bestandsreichweite ist mit zehn Tagen als Mittel einzustufen – und
- die Prozesswiederholung – da ohne Unterbrechung nur ein Typ eines Produkts ohne Varianten in einer nicht von vornherein begrenzten Stückzahl gefertigt werden soll, handelt es sich um eine Massenfertigung –.

Nach der Erfassung der Rahmenbedingungen und Zielgrößen ist der Lösungsraum einzugrenzen. Dazu werden die Merkmale, bei denen noch keine Ausprägung vorgegeben wurde, daraufhin untersucht, welche Ausprägungen sinnvoll wären.

- *Handlingsstufen*: Die Anzahl der Handlingsstufen kann in diesem Beispiel im Rahmen der Vorstudie nur bedingt eingegrenzt werden. Grundsätzlich ist eine geringere Anzahl von Stufen vorzuziehen. Da das Material aus einem Lager bezogen werden soll, scheidet die Variante Direktanstellung jedoch hier aus.
- *Materialflusskomplexität*: Die einfache Produktstruktur und der geringe Anteil von zugekauften Bauteilen sollten sich auch in einem möglichst einfachen Materialfluss widerspiegeln.
- *Layouttyp*: Da es sich um eine neue Fabrik handelt, in der nur ein Produkt in sehr hoher Stückzahl hergestellt werden soll, kann die Campus-Form ausgeschlossen werden. Aufgrund der geometrischen Abmessungen des Endprodukts, der Bauteile und Halbzeuge ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass die benötigten Flächen für Lagerung und Produktion eher gering sein werden (< 2.500 m²). Weiterhin gibt es nur einen sehr kleinen Anteil zugelieferter

Komponenten, die in der Endmontage verbaut werden. Die meisten Einzelteile werden in der Komponentenfertigung selbst hergestellt. Daher bietet sich ein kompaktes Layout an.

- *Fertigungsorganisation*: Wegen der hohen Stückzahl von 134.000 Einheiten pro Jahr und der daraus resultierenden Taktzeit von 54 s, scheint eine Fertigung nach dem reinen Verrichtungsprinzip, trotz vieler gleichartiger Verrichtungen (siehe Tabelle 44) wenig zielführend. Ein Aufbau als Fließfertigung bzw. als Gruppenfertigung ist jedoch möglich.

Tabelle 44: Bearbeitungsformen je Bauteil


	Bauteil Nr.										Anz.
	1	2	3	7	8	9	10	11			
Drehen	x	x	x	x	x		x	x			7
Bohren	x	x		x	x					x	5
Sägen	x						x				2
Anlassen		x									1
Fräsen	x	x		x	x						4
Schleifen		x									1

- *Gewicht der Faktorarten*: Im vorliegenden Beispiel wird ein Produkt mit Halbzeugen aus Walzstahl, Grau- und Aluminiumguss sowie einigen wenigen Normbauteilen (Schrauben, Unterlegscheiben, Kunststoffkugel) gefertigt. Der Materialaufwand ist somit gegenüber den anderen beiden Aufwandsarten gering. Das Verhältnis von Personal- zu Anlagenaufwand hängt in erster Linie davon ab, ob für die Produktion eher Maschinen mit einem geringeren oder einem höheren Automatisierungsgrad gewählt werden. Grundsätzlich wären aber beide Ausprägungen noch möglich.

Damit ist der Lösungsraum eingegrenzt. Er ist in Tabelle 45 als morphologisches Schema dargestellt.

Eine weitere Aufgabenstellung im Rahmen der Vorstudie ist die Priorisierung der Kenngrößen des Logistiksystems aus Schlankheit, Robustheit und Flexibilität. In der zu planenden Fabrik soll gemäß der Aufgabenstellung ein einzelnes Produkt ohne Varianten in hoher Stückzahl hergestellt werden. Aus diesem Grund ist die Bedeutung

Tabelle 45: Morphologisches Schema der Pow-R-Arm Vorstudie

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion		Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion
Legende:				
 Ist-Ausprägung				
Fett Kann-Ausprägung				

einer (Produktwechsel-)Flexibilität eher gering. Da es sich entweder um eine anlagen- oder um eine personalintensive Produktion handeln wird (vgl. dazu die Erläuterungen zur Ausprägung des Merkmals *Gewicht der Faktorarten*), soll der Robustheit große

Bedeutung zukommen, um diese beiden Faktoren optimal zu nutzen. Weil keine detaillierteren Zielvorgaben gemacht werden, soll von folgender Prioritätenreihenfolge ausgegangen werden: Robustheit vor Schlankheit, Schlankheit vor Flexibilität.

Hauptstudie

In der Hauptstudie wird das definierte Rahmenkonzept weiter verfeinert und eingegrenzt. Alle das Logistiksystem beschreibenden Merkmalsausprägungen werden eindeutig bestimmt. Dabei werden die einzelnen Ausprägungen nicht in einem sequenziellen Prozess festgelegt, vielmehr handelt es sich um ein iteratives Vorgehen, auch unter Einbeziehung anderer Planungsbereiche (insbesondere der Fertigungsplanung). Wesentliche Ergebnisse dieses Prozesses sind die detaillierte Maschinenbedarfsplanung (siehe Tabelle 46), die Flächenbedarfsplanung und ein Materialflussschema (siehe Abbildung 69).

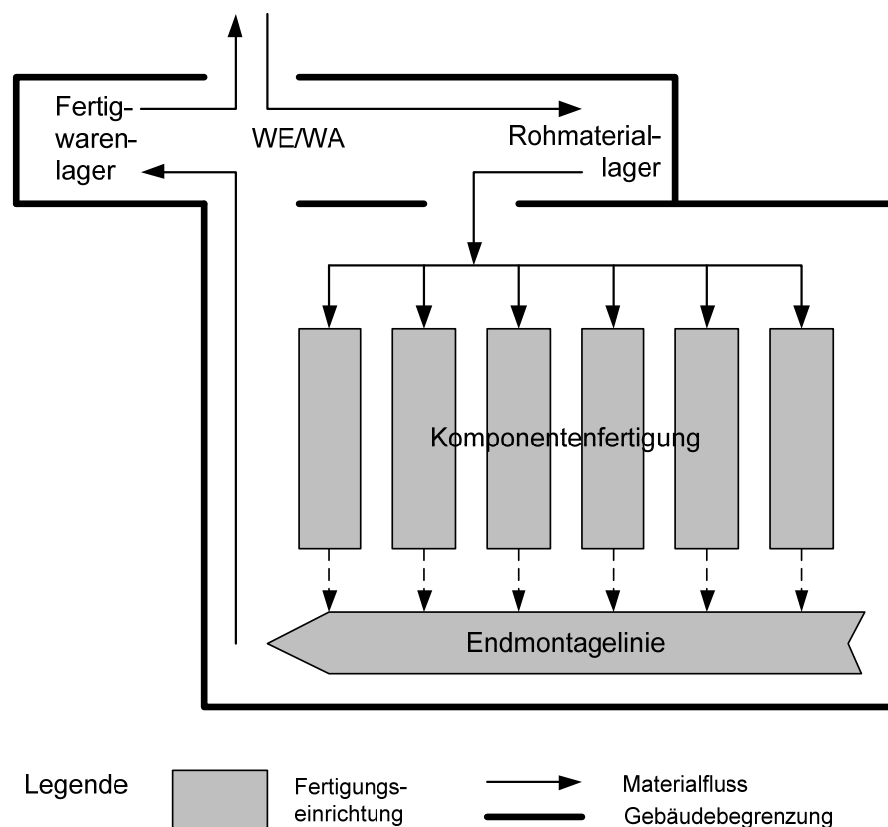


Abbildung 69: Materialflussschema der Pow-R-Arm-Fabrik⁸⁶

⁸⁶ Eigene Darstellung auf Basis der Daten bei Apple 1977, S. 315 und S. 408 f.

Für die Ausprägung der Merkmale des Logistiksystems können folgende Festlegungen getroffen werden⁸⁷:

- *Handlingsstufen*: Auf Basis des relativ kompakten Layouts (vgl. Ausführungen zum Merkmal Layout weiter unten), des zentralen Lagerkonzepts (vgl. Merkmal Lagerorganisation) und der geringen Materialflusskomplexität (vgl. Merkmal Materialflusskomplexität) wurde ein Logistiksystem mit wenigen Handlingsstufen ausgewählt⁸⁸. Dadurch wird das Potenzial für einen robusten Logistikprozess verbessert.
- *Materialflusskomplexität*: Im Rahmenkonzept der Vorstudie wurde eine geringe bis überschaubare Materialflusskomplexität als Ziel definiert. Im Zuge der weiteren Spezifizierung der benötigten Fertigungsanlagen (siehe Tabelle 46 und die Ausführungen zum Merkmal Fertigungsorganisation) wurde eine 2-stufige Fließfertigung festgelegt. Im Zusammenspiel mit dem zentralen Lagerkonzept konnte ein Materialfluss ohne Rückflüsse realisiert werden. Gemäß der Definition des Richtungskoeffizienten RK nach [80] ist dieser hier 100 %, da $\Psi = 0$ gilt. Der Desintegrationsgrad DI nach [82] ist klein, da die Anzahl der Materialflussbeziehungen im Vergleich zum Quadrat der Anzahl Materialflussknoten gering ist. Der Materialfluss ist schematisch in Abbildung 69 dargestellt.
- *Layout*: Auf Basis der Maschinenbedarfsplanung (siehe Tabelle 46) wurde u. a. auch eine Flächenbilanz aufgestellt. Auf die gleiche Weise wurde die benötigte Lagerfläche ermittelt. Für Fertigung, Wareneingang und Lager sind demnach zusammen ca. 800 m² notwendig (vgl. Apple 1977, S. 284 ff. und S. 313).⁸⁹ Aufgrund dieser relativ kleinen Fläche und weil das zur Verfügung stehende Grundstück es zulässt kann ein kompaktes Layout realisiert werden (vgl. auch Abbildung 69).
- *Lagerorganisation*: Im Rahmen der Vorstudie wurden sowohl ein zentrales als auch ein dezentrales Konzept für realisierbar erachtet. Auf Basis der Analyse der Halbzeuge und der fertigen Waren wurde im Rahmen der weiteren Planungsschritte ermittelt, dass ca. 130 m² Lagerfläche und ca.

⁸⁷ Die Reihenfolge der Darstellung der Merkmale folgt der Reihenfolge im morphologischen Schema der Typologie von Logistiksystemen.

⁸⁸ Der hier relevante Versorgungsprozess entspricht dem Versorgungsprozess Nr. 4 in Abbildung 46 auf S. 101.

⁸⁹ Zu den 800 m² Lager- und Fertigungsfläche kommen noch ca. 353 m² sonstige Flächen (für Büros, Sozialräume und Werkstätten) hinzu (vgl. Apple S. 284 ff. und S. 313).

75 m² Wareinein- und Wareenausgangsfläche benötigt werden (vgl. Apple 1977, S. 284). 130 m² benötigte Lagerfläche bei einem Zielbestand von zehn Arbeitstagen sind relativ wenig. Wegen dieses geringen Flächenbedarfs und der mehrfachverwendeten Halbzeuge ist eine zentrale Lagerung der dezentralen vorzuziehen.

- *Fertigungsorganisation*: Im Rahmen der Vorstudie konnte bereits eine Werkstattfertigung aufgrund der hohen Stückzahl und der geringen Taktzeit von 54 s ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Hauptstudie stehen jetzt detailliertere Daten für den Fertigungsablauf zur Verfügung. Für die Fertigung der einzelnen Bauteile wurden die Maschinenbelegung und – darauf aufbauend – der Bedarf an Betriebsmitteln bestimmt (die detaillierte Berechnung befindet sich im Anhang). Die Ergebnisse sind in Tabelle 46 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass von einigen Maschinen mehrere Exemplare notwendig sind. Im Rahmen der Layoutplanung wurde eine Fließfertigung festgelegt, die nach dem in Abbildung 69 dargestellten Schema aufgebaut ist (vgl. auch Apple 1977 S. 408 f.).

Tabelle 46: Ergebnis der Maschinenbedarfsplanung⁹⁰

	Bauteil-Nr									Summe
	1	2	3	7	8	9	10	11		
Leitspindeldrehmaschine	1,5	0,5								2,0
Universaldrehmaschine	3,5		0,7	1,4	2,7		2,0	2,8		13,2
Ständerbohrmaschine G	1,0			0,6						1,6
Ständerbohrmaschine K	0,3	1,0								1,3
2 Spindel Bohrmaschine	1,2				1,3				1,2	3,6
Sägemaschine	0,1					0,1				0,2
Brennofen		0,1								0,1
Schleifen		0,2								0,2
Universalfräse				0,6			0,6			1,3
Vertikalfräse					0,9					0,9
Schleifmaschine									3,2	3,2
Simplex-Fräse									0,9	0,9

- *Gewicht der Faktorarten*: In der Vorstudie wurden sowohl eine arbeits- als auch eine anlagenintensive Produktion als mögliche Variante angesehen.

⁹⁰ Werte sind eine Zusammenfassung der im Anhang berechneten Maschinenbedarfe. Die Berechnung erfolgt auf Basis der Werte von Apple (1977). Detaillierte Quellnachweise sind im Anhang an den entsprechenden Stellen angegeben.

Aufgrund der gewählten Fertigungsanlagen (vgl. Anhang), die einen großen Anteil menschlicher Eingriffe erfordern, kann das System als personalintensiv klassifiziert werden (49 Mitarbeiter werden für die Fertigung benötigt, vgl. Apple 1977, S. 408 f.). Der Hauptgrund für diese Auswahl an Fertigungsmitteln liegt in der Verfügbarkeit von alternativen Werkzeugmaschinen. NC-Werkzeugmaschinen waren erst ab Ende der 1950er-Jahre verfügbar und benötigten einige Zeit sich durchzusetzen (vgl. Hesse 1994, S. 149; Corry 1990, S. 422 ff.). Auf Basis der aktuell verfügbaren Werkzeugmaschinen würden für viele Arbeitsschritte heute CNC-Maschinen bzw. CNC-Automaten zum Einsatz kommen. Gegenüber konventionellen Werkzeugmaschinen bieten diese einige Vorteile. So können aufwendige Umspannvorgänge entfallen, die Fertigungsgeschwindigkeit und -genauigkeit sind besser und der notwendige Personalaufwand ist geringer.

Somit sind für alle Merkmale die erforderlichen Ausprägungen bestimmt. Das Ergebnis ist in Tabelle 47 zusammengefasst. Der ermittelte Typ entspricht dem Logistiksystemtyp LS 8 (vgl. Tabelle 39 und der Beschreibung im Anhang auf S. 189).

Weiteres Vorgehen

Mit dem Abschluss der Hauptstudie ist das zu realisierende Logistiksystem eindeutig bestimmt. In den folgenden Phasen ist das System auf Basis der getroffenen Auswahl im Detail zu planen. Zur Umsetzung der einzelnen Merkmalsausprägungen werden verschiedene Varianten in der realen Fabrik erzeugt und bewertet. In der Praxis kommt es vor, dass die Haupt- und die Detailstudie teilweise zeitgleich bearbeitet werden, da Detaillösungen eines Merkmals Rückkopplungseffekte auf die Gestaltungsmöglichkeiten eines anderen haben können. Beispielsweise kann in der Hauptstudie für das Merkmal *Lagerorganisation* die Ausprägung *zentral* definiert werden, in der Detailstudie ergibt sich aber, dass infolge anderer Einflüsse ein zentrales Lagerkonzept (bspw. wegen fehlender Flächen, einer ungeeigneten Grundstücksgestalt oder unterschiedlicher Anforderungen der zu lagernden Güter) nicht oder nicht wirtschaftlich realisierbar ist.

Tabelle 47: Beschreibung des Logistiksystems der Fabrik zur Herstellung des Pow-R-Arm

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral		hybrid	dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt		gegliedert	Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering		mittel	hoch
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion		Zentren- produktion	Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe		mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge		Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte			viele Produkte
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion		materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

Fazit

Man kann an diesem Beispiel für die Neuplanung nachvollziehen, dass sich die Typologie von Logistiksystemen gut eignet, diese bei der Gestaltung methodisch zu unterstützen. Zwei weitere Aspekte sind diesbezüglich ebenfalls für die Anwendung in der Praxis wichtig: Die Anwendung der Typologie darf und kann nicht losgelöst von den anderen Planungsbereichen im Kontext der Fabrikplanung erfolgen. Weiterhin ist es mitunter schwierig, die einzelnen Phasen voneinander abzugrenzen, da sie sich zum

einen zeitlich überschneiden und zum anderen auch Rückkopplungen auf eine vorhergehende Phase möglich sind.

4.3.2 Beispiel einer Brownfield-Planung

Die Rahmendaten des folgenden Beispiels sind Grundig entnommen (vgl. Grundig 2009, S. 303 ff.). Es handelt sich dabei um die partielle Neugestaltung eines bestehenden Logistiksystems im Rahmen einer Reorganisation der Fertigung. Bei der untersuchten Fabrik geht es um einen Fertigungsstandort, an dem Maschinen und Geräte produziert werden. Es existieren zwei Produktlinien: Gerätefertigung und Schaltschrankbau, was weitgehend mit getrennter Infrastruktur in der Fabrik geschieht (siehe Abbildung 70).

Die Gerätefertigung erfolgt in einem zweistufigen Produktionsprozess: In der Vorfertigung werden die einzelnen Teile für die Geräte produziert. In der Endmontage werden die Geräte aus vorgefertigten und zugekauften Bauteilen zusammengesetzt. Die Vorfertigung soll reorganisiert und das Logistiksystem neu ausgerichtet werden.

Im Gegensatz zum vorhergehenden Fallbeispiel, ist dies eine Brownfield-Planung. Das Vorgehen bei der Neugestaltung des Logistiksystems ist grundsätzlich das gleiche wie bei einer Greenfield-Planung. Im Unterschied zum ersten Fall ist jedoch im Rahmen der Vorstudie für *alle* Merkmale die aktuelle Ist-Ausprägung festzulegen.

Grunddaten

Für die Planungsaufgabe sind folgende Informationen für den Bereich der Vorfertigung bekannt (vgl. Grundig 2009, S. 303 f.):

- Größe der Bauteile: Klein- und Mittelteile
- Anzahl der Bauteiltypen (Sortimentsbreite): 3.000
- Jahresstückzahl: 100 bis 20.000 Stück/Bauteiltyp.
- Fertigungslosgröße: 100 bis 500 Stück/Bauteiltyp
- Anzahl der Arbeitsvorgänge: 2 bis 25 je Bauteiltyp
- wiederkehrende Klein- und Mittelserienfertigung
- Werkstattfertigung mit Dreh-, Fräs-, Bohr- und Schleifmaschinen an 110 Arbeitsplätzen
- Durchlaufzeit: 1 bis 2 Monate
- Fertigungs- und Lagergrundfläche der Vorfertigung: 3360 m² (eine Sheddachhalle mit rechteckigem Grundriss)

– programmgebundene Disposition

(alle aufgeführten Informationen wurden unverändert der Fallbeschreibung von Grundig (2009, S. 303 f.) entnommen)

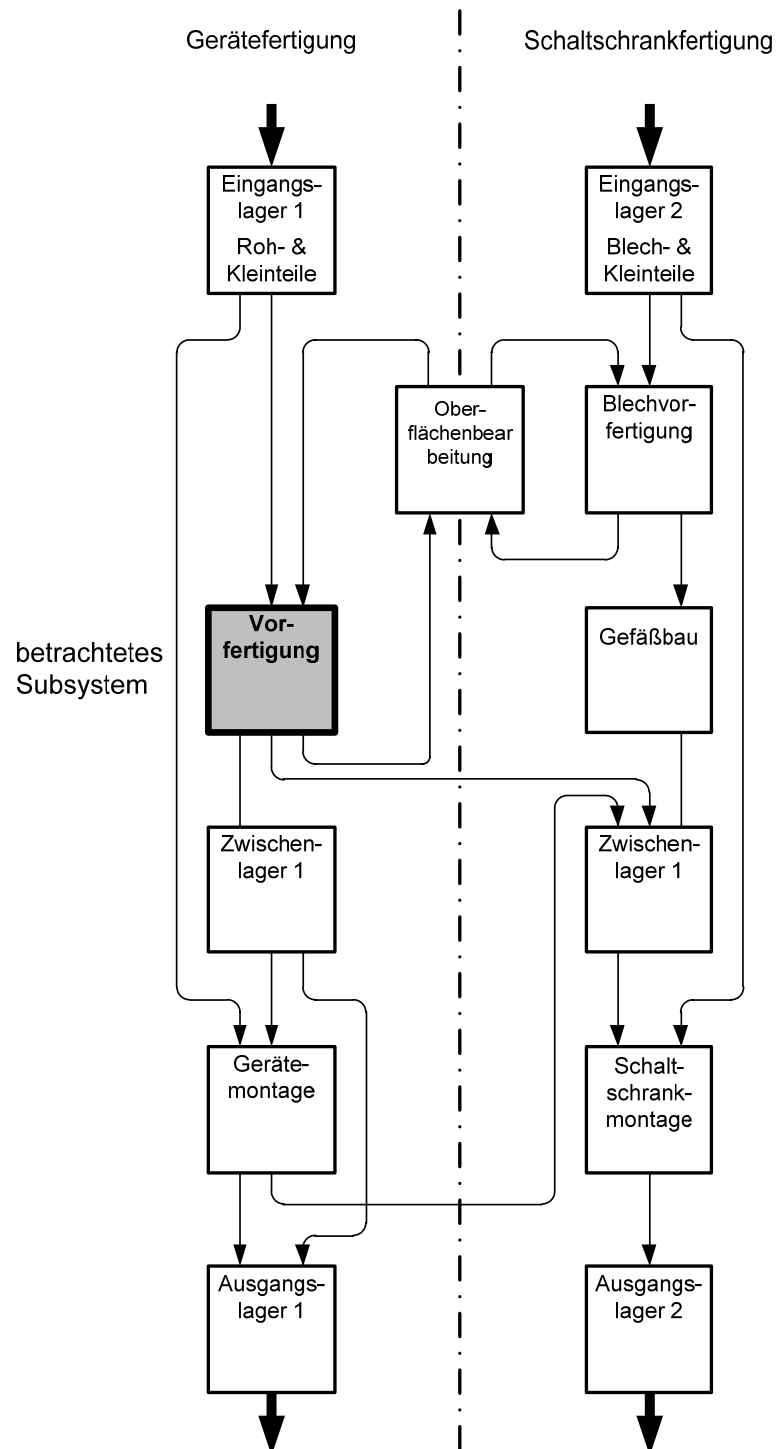


Abbildung 70: Funktionsschema der untersuchten Fabrik⁹¹

⁹¹ Nach Grundig 2009, S. 305.

Als Ziele der Reorganisation wurden folgende Faktoren vorgegeben:

- die Einführung einer auftragsbezogenen Vorfertigung
- die Reduzierung von Beständen (Rohmaterial und Zwischenprodukte)
- die Senkung der Durchlaufzeit
- die Reduzierung der belegten Flächen
- die Reduzierung der Materialflusskomplexität
- die Verbesserung der Termintreue

(Alle Aufgeführten Ziele sind unverändert der Fallbeschreibung von Grundig (2009, S. 306 f.) entnommen worden). Im betrachteten Beispiel sind die Ziele bereits vorgegeben. Wenn dies nicht der Fall ist oder die Ziele nicht hinreichend konkret durch den Auftraggeber benannt wurden, so sind diese im Rahmen der Vorstudie zu präzisieren. Insbesondere eine quantitative Beschreibung der Zielgrößen ist notwendig, um den Erfolg der Restrukturierung auch messbar zu machen. Der Darstellung von Grundig kann entnommen werden, dass das hier betrachtete Unternehmen quantitative Vorgaben gemacht hat, die jedoch hier nicht konkret ausgeführt werden (vgl. Grundig 2009, S. 307 f.).

Vorstudie

In diesem Beispiel lassen sich relativ leicht aus den umfangreichen Vorgaben des Falles die Ist-Ausprägungen des Logistiksystems ableiten. Hier sei nur noch einmal angemerkt, dass es sich bei dem zu planenden System um ein Subsystem der Beispielfabrik handelt und dass das hier betrachtete Logistiksystem lediglich ein Subsystem des Fabrik-Logistiksystems ist. In gleicher Weise sind die Merkmale zu interpretieren.

Die Ausprägungen der Merkmale des Logistiksystems für die Vorfertigung sind in Tabelle 48 dargestellt. Es gibt drei Arten von Ausprägungen: Ist-, Ziel- und Kann-Ausprägungen. Die Ist-Ausprägungen sind ein Ergebnis der Vorstudie (vgl. Ablauf des Problemlösungszyklus in Abbildung 65), oder – wie in diesem Beispiel – das Ziel einer präzisen Aufgabenstellung. Sie spiegeln die aktuelle Konfiguration des Logistiksystems wider. In Tabelle 48 sind diese Felder grau hinterlegt. Die Ziel-Ausprägungen, dargestellt durch schraffierte Felder in Tabelle 48, haben sich ebenfalls aus der Aufgabenstellung ergeben. In der Praxis kann es aber vorkommen, dass diese Ziel-Ausprägungen erst zusammen mit dem Auftraggeber erarbeitet werden müssen. Auch dieser Schritt ist Bestandteil des Problemlösungszyklus. Sofern für ein Merkmal kein Ziel definiert wurde bzw. kein Anpassungsbedarf besteht, wurde nichts in die Tabelle eingetragen.

Tabelle 48: Ist- und Ziel-Ausprägung der Merkmale des Logistiksystems für die Vorfertigung

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- bestellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion		Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion
Legende:				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> Ist-Ausprägung </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-right: 5px;"></div> Ziel-Ausprägung </div> </div>				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-weight: bold; margin-right: 5px;">Fett</div> Kann-Ausprägung </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-style: italic; margin-right: 5px;">Kursiv</div> Konstante Ausprägung </div> </div>				

Im Verlauf der Vorstudie werden neben den Ist- und Ziel-Werten auch die Kann-Werte für das Rahmenkonzept ermittelt. Die Kann-Ausprägungen sind diejenigen, die das bestehende Logistiksystem aufgrund der gegebenen und als unveränderlich klassifizierten Merkmale (kursiv dargestellt in Tabelle 48) zur Erreichung des Ziel-

zustands annehmen kann. Unveränderlich sind im betrachteten Beispielfall die Fertigungsstruktur, das Produktionsprogramm, das Erzeugnisspektrum, das Layout und die Auflagenhöhe.

Hauptstudie

In der Hauptstudie ist das aufgestellte Rahmenkonzept zu präzisieren. Die möglichen Merkmalsausprägungen sind dahingehend zu untersuchen, welche den höchsten Zielbeitrag zur Erreichung der gestellten Anforderungen leistet.

- *Die Anzahl an Handlingsstufen*: Durch die Reorganisation der Fertigung und der Lagerbereiche können Handlingsstufen (v.a. für die Zwischenlagerung) entfallen. Da das Lager zentral in der Halle positioniert werden kann (vgl. Grundig 2009, S. 333), sind Prozesse mit *wenigen* Handlingsstufen umsetzbar. Eine Direktanstellung ist nicht möglich, da alle Materialflussprozesse über den Wareneingang und den Lagerbereich führen.
- *Materialflusskomplexität*: Die Neugestaltung der Fertigung sowie der Lager ermöglicht auch eine Vereinfachung der Materialflüsse (vgl. Grundig 2009, S. 333). Auf diese Weise ist eine *überschaubare* Materialflusskomplexität umsetzbar. Dadurch würde das Potenzial für robuste und schlanke Prozesse verbessert werden. Die Reduzierung der Materialflusskomplexität ist weiterhin Voraussetzung für eine Steigerung der Transparenz und eine Senkung des WIP.
- *Lagerorganisation*: Um die Ziele Flächenkonsolidierung und Reduzierung der Materialflusskomplexität zu erreichen, ist ein zentrales Lagerkonzept dasjenige mit dem größten Zielbeitrag. Da laut dem Produktionsprogramm teilweise gleiche Vorprodukte für verschiedene Zwischenprodukte an verschiedenen Fertigungsstationen benötigt werden (vgl. Grundig 2009, S. 303), hat ein zentrales Lagerkonzept den Vorteil, dass eine Materialart nur an einer Stelle gelagert werden muss. Weiterhin wird hier durch ein zentrales Lagerkonzept der Desintegrationsgrad gesenkt, da die Anzahl der Materialflussknoten und die Anzahl verschiedener Beziehungen zwischen diesen reduziert werden
- *Bestandsreichweite*: Die Bestandsreichweite soll reduziert werden. Optimal für dieses Ziel wäre eine geringe Bestandsreichweite. Diese lässt sich aufgrund der Rahmenbedingungen für das Vormaterial (Beschaffungszeiten,

Mindestabnahmemengen, wirtschaftliche Beschaffungslosgröße) nicht realisieren, so dass für das Vormaterial eine mittlere Bestandsreichweite gewählt wird. Weiterhin ist zu beachten, dass ein zu kleiner Bestand ggf. auch die Robustheit der folgenden Prozesse beeinflusst. Aufgrund der Umstellung des Bedarfsauslösers auf eine kundenorientierte Fertigung kann der Bestand an Zwischenprodukten stark reduziert werden, und die Ausprägung dieses Merkmals als *gering* ist realistisch.

- *Fertigungsorganisation*: Im Rahmen einer Analyse der Fertigungsbeziehungen und der Auftragsverteilung wurde entschieden, die Fertigung vom Werkstatt- auf das Gruppenprinzip umzustellen. Neben einer besseren Auslastung der einzelnen Anlagen und einer Konsolidierung der benötigten Flächen können dadurch gleichzeitig der *WIP* (der auf Transport zur nächsten Bearbeitung wartet) und der Komplexitätsgrad des Materialflusses reduziert werden. Für die Analyse wird von Grundig auf die Methode der Simulation zurückgegriffen (vgl. Grundig 2009, S. 323 ff.)
- *Bedarfsauslöser*: Die Änderung der Bedarfsauslösung von einer Programmfertigung auf Lager hin zu einer kundenorientierten Fertigung nach Einzelaufträgen trägt viel zu den Zielen Bestandsreduzierung und Durchlaufzeitreduzierung bei. Weiterhin ist die Umstellung selbst ein Ziel. Hierbei ist zu beachten, dass der Kunde in dem betrachteten Fall die Gerätefertigung ist.

Die ermittelten Ausprägungen des Logistiksystems der Vorfertigung sind in Tabelle 49 zusammengefasst. Das Logistiksystem entspricht dem Typ LS 7 (vgl. Tabelle 39 und die verbale Beschreibung auf S. 188 im Anhang).

Weitere Schritte

Nach Abschluss der Hauptstudie sind im Rahmen der Detailstudie die einzelnen Bereiche feinzuplanen und konkrete technische Lösungen für die verschiedenen Merkmale zu erarbeiten. Im Rahmen der Fallschilderung führt Grundig diese Schritte exemplarisch ebenfalls durch (vgl. Grundig 2009, S. 340 ff.)

Tabelle 49: Logistikkonzept der Vorfertigung

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral		hybrid	dezentral
C ₄ : Layouttyp	<i>kompakt</i>		gegliedert	Campus
C ₅ : Bestands- reichweite ⁹²	gering		mittel	hoch
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion		Zentren- produktion	Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe		mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge		Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte			<i>viele Produkte</i>
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion		materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

4.3.3 Schlussfolgerungen zur Anwendung der Typologie

In den beiden Beispielen konnte gezeigt werden, dass die Typologie der Logistiksysteme im Zusammenspiel mit dem vorgestellten Vorgehensmodell zur Gestaltung dieser Systeme ein geeignetes Werkzeug ist, um die Logistik von neuen oder bestehenden Fabriken zu analysieren, zu planen und zu verbessern. Es hat sich auch erwiesen, dass die Planung eines Logistiksystems keine unabhängige Aufgabenstellung sein kann,

⁹² Es werden beide Ausprägungen realisiert.

sondern immer im Wechselspiel mit der Gestaltung des Produktionssystems geschehen muss. Die Auslegung dieser beiden Subsysteme der Fabrik erfolgt iterativ, d.h. Festlegungen bzw. Einschränkungen bei dem einen führen zu neuen Randbedingungen und Einengungen von Lösungsmöglichkeiten bei dem anderen.

Weiterhin wurde gezeigt, dass es nicht nur zwischen verschiedenen Planungsbereichen Interdependenzen gibt, sondern dass auch zwischen den einzelnen Phasen der Gestaltung Wechselwirkungen auftreten.

4.4 Bildung des Zielsystems realer Logistiksysteme

Neben der Gestaltung des Logistiksystems sind die Festlegung des Zielsystems und die Überwachung des Zielerreichungsgrades wesentlich. Ein Zielsystem ist die Zusammenfassung der wesentlichen Ziele eines Unternehmens oder eines Teils eines Unternehmens. Für die Logistik gibt es in der Literatur eine Vielzahl von unterschiedlichen Zielsystemen (vgl. u. a. bei Syska 1990, S. 35 ff.; Pfohl 2010, S. 45 ff. und Wiendahl 2010, S. 252 ff.). Hauptsächlich können die Zielsysteme nach Detaillierungsgrad und ihrem Verständnis der Logistik unterschieden werden.

Ein in der Logistik bekanntes Zielsystem umfasst vier Ziele (vgl. Kuhn, Wenzel 2008, S. 75, dieses Zielsystem findet sich aber auch bei anderen Autoren in dieser Form, wie z.B. bei Heiserich et al. 2011, S. 20; Koether 2006, S. 28 f.; Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 4 f.):

- „geringe Durchlaufzeit
- hohe Termintreue
- niedrige Bestände
- hohe Auslastung“

Die Ziele hinsichtlich der Durchlaufzeit und der Termintreue sind entscheidend für die Logistikleistung und die beiden Ziele des Bestands und der Auslastung ausschlaggebend für die Logistikkosten (vgl. Wiendahl 2010, S. 252 und Abbildung 71). Um hohe Logistikleistungen zu erreichen sind eine geringe Durchlaufzeit und eine hohe Termintreue anzustreben. Für geringe Logistikkosten sind niedrige Bestände und hohe Auslastungen relevant.

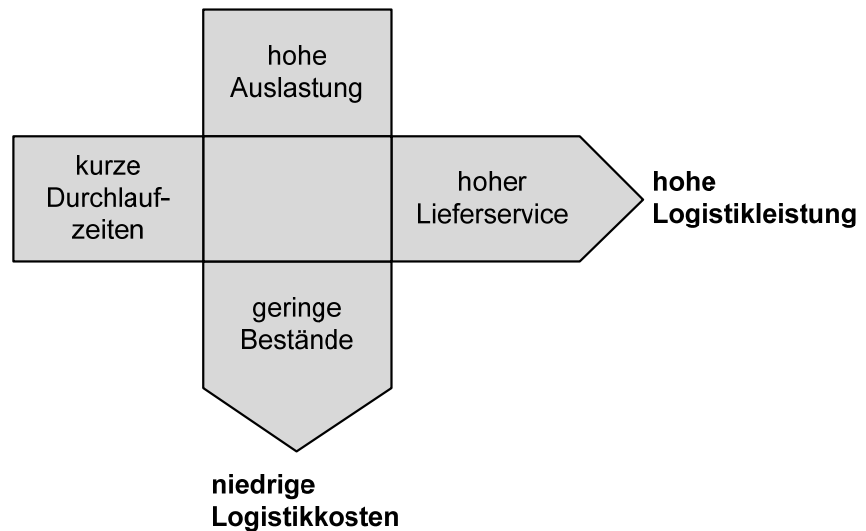


Abbildung 71: Zielsystem der Logistik⁹³

Die vier Logistikziele sind zum Teil gegenläufig und können nicht gleichermaßen realisiert werden. Der Zielkonflikt zwischen kurzen Durchlaufzeiten und der Auslastung wird von Gutenberg als „Dilemma der Ablaufplanung“ bezeichnet (vgl. Gutenberg 1983, S. 216). Auch die beiden Ziele hohe Termintreue und geringe Bestände beinhalten einen Konflikt. Eine gleichzeitige Optimierung aller vier Größen ist daher nicht möglich (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 5) und es ist eine Gewichtung vorzunehmen.

Allgemein hat sich der Schwerpunkt der Gewichtung des Zielbereichs in den letzten Jahren zu geringen Durchlaufzeiten, hoher Termintreue und niedrigen Beständen verschoben (vgl. dazu Heiserich et al. 2011, S. 22 f.; Wiendahl 2010 S. 253 ff. sowie Abbildung 72). Im Einzelfall ist die Gewichtung der Ziele auf Basis der Rahmenbedingungen und Kundenanforderungen vorzunehmen.

Die vier oben genannten Ziele der Logistik lassen sich auf die in dieser Arbeit herausgearbeiteten Eigenschaften von Logistiksystemen übertragen. Offensichtlich ist der Zusammenhang zwischen der Schlankheit und dem Ziel der geringen Durchlaufzeiten sowie zwischen der Robustheit und einer hohen Termintreue. Nach der hier verwendeten Definition (siehe Abschnitt 2.3.1) ist die Schlankheit das Verhältnis zwischen dem Erwartungswert der Durchlaufzeit und der minimalen Durchlaufzeit. Je mehr sich diese beiden einander annähern, desto mehr nähert sich die Schlankheit dem maximalen Wert von eins an. Ähnlich verhält es sich bei der Robustheit. Ein System gilt als umso robuster, je geringer die Auswirkungen von Störgrößen sind (siehe Abschnitt 2.3.1),

⁹³ Nach Koether 2006, S. 29.

was sich in geringen Varianzen der Durchlaufzeit widerspiegelt und das bedeutet, dass die einzelnen Werte der Durchlaufzeit wenig voneinander abweichen und dadurch zuverlässige Aussagen bzgl. der Lieferzeit gemacht werden können, was dann zu einer hohen Termintreue führt.

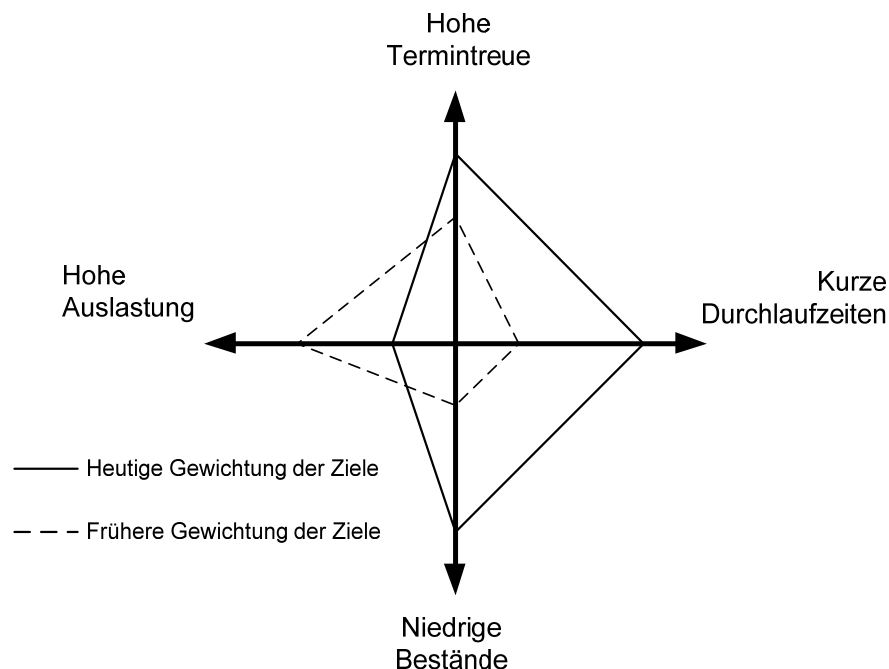


Abbildung 72: Veränderung des Schwerpunkts des Zielsystems der Logistik⁹⁴

Niedrige Bestände spiegeln sich sowohl in der Schlankheit als auch in der Robustheit wider. Bei einem hohen Schlankheitsgrad L ist der Umlaufbestand (WIP) gering (siehe Abschnitt 2.4.1) und der statische Bestand zur Abpufferung von Schwankungen bei hohen Werten der Robustheit klein (siehe Abschnitt 2.4.2). Da, wie in Abschnitt 2.4.2 gezeigt, von der Robustheit nicht nur der Sicherheitsbestand abhängig ist, sondern im Gegenzug auch der notwendige Vorhalt für Überbestände, wird der zusätzliche Flächenbedarf ebenfalls mit dieser Zielgröße erfasst. Die Auslastung ist über die Leistungskennlinien ebenfalls mit der Schlankheit verknüpft. Hier ist die Relation allerdings indirekt proportional (im Übergangs- und Sättigungsbereich der Kennlinien). Ein weiterer Aspekt der Auslastung ist die Flexibilität. Flexible Systeme können einen höheren Grad der Auslastung erreichen, da eine Anpassung an die aktuelle Nachfragesituation leichter möglich ist.

Nyhuis und Wiendahl (vgl. Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 4 f.) zeigen, dass die Gewichtung der einzelnen Ziele vom Kundenentkopplungspunkt abhängig ist (siehe Abbildung

⁹⁴ Nach Heiserich, Helbing, Ullmann 2011, S. 23

73). Dieser Aspekt wird in der hier eingeführten Logistiksystemtypologie mit dem Merkmal C_{10} (Bedarfsauslöser) berücksichtigt.

Allerdings haben auch die anderen Merkmalsausprägungen Einfluss auf die Gewichtung der einzelnen Ziele im Zielsystem. Diese ist vor allem abhängig von denjenigen Merkmalen, die bei der Gestaltung des Logistiksystems als Randbedingungen definiert wurden (siehe Abschnitt 4.2). Die Auswirkungen auf die Zielgewichtung lassen sich aus dem in Abschnitt 4.1 dargelegten Einfluss der einzelnen Merkmalsausprägungen auf den Wertebereich der Kennzahlen direkt ableiten. Der Logistiksystemtyp bestimmt damit die Gewichtung der Ziele des Zielsystems.

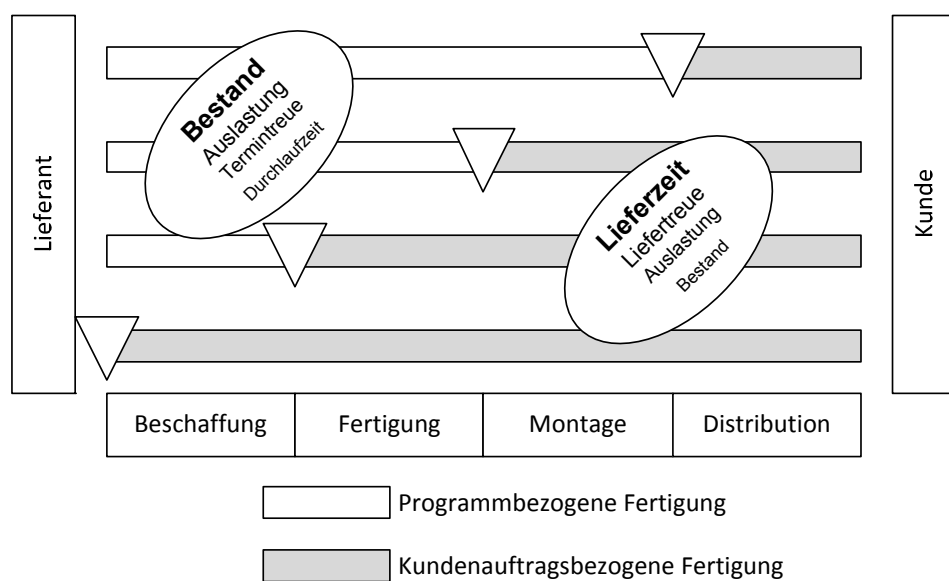


Abbildung 73: Gewichtung der Ziele in Abhängigkeit von dem Entkopplungspunkt⁹⁵

Da die einzelnen Ziele miteinander konkurrieren und die konkrete Gewichtung innerhalb des Zielsystems vom Typ des logistischen Systems abhängig ist, kommt dem Monitoring der einzelnen Größen eine große Bedeutung zu. Unter Monitoring wird die Überwachung der Entwicklung von definierten Kennzahlen (Ist-Werte) im Vergleich zu Referenzwerten (Soll-Werte) oder Vergangenheitswerten verstanden. Dadurch soll eine genaue Einschätzung der Logistikleistung ermöglicht werden. Wichtig für ein effektives Monitoring sind die Auswahl der geeigneten Kennzahlen, deren richtige und zeitnahe Erfassung sowie die entsprechende Darstellung.

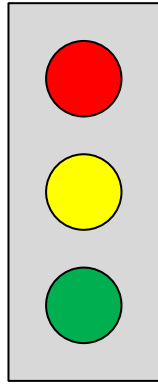
Aufgrund des gezeigten direkten Zusammenhangs zwischen den Größen des Zielsystems und den Kennzahlen Schlankeheit, Robustheit und Flexibilität des Logistiksys-

⁹⁵ Nach Nyhuis, Wiendahl 2003, S. 4.

tems scheinen diese für das Monitoring geeignet zu sein. Die Erfassung der Eingangswerte kann in modernen Produktionen automatisiert erfolgen.⁹⁶ Auf diese Weise können die Kennzahlen sowohl für Subprozesse erfasst werden als auch für bereichsübergreifende Werte verfügbar sein. Dadurch ist es möglich, in der übergreifenden Übersicht Abweichungen zu erkennen und mit Hilfe einer detaillierten Auswertung den Auslöser für die Abweichung des Ist-Werts vom Soll-Wert zu identifizieren, um abschließend die Ursache beheben zu können.

Außer der im Abschnitt 2.3.2 eingeführten Visualisierung, die sich eher für die Detailebene eignet, gibt es noch weitere Möglichkeiten der Darstellung. Neben derjenigen auf einer metrischen Skala (siehe Abbildung 12 f. in Abschnitt 2.3.2), die zwar eine sehr detaillierte und genaue Abbildung der Kennzahlen wiedergibt, aber unter Umständen unübersichtlich ist, wäre auch eine ordinale Darstellung geeignet. Eine in der Praxis weit verbreitete Darstellungsform folgt der Ampelsystematik. Dabei werden entweder stilisierte Straßenverkehrsampeln verwendet (siehe Abbildung 71a), oder es wird die Farbsystematik (rot – gelb – grün; siehe Abbildung 71b) aufgegriffen. Dabei bedeutet eine *grüne Ampel*, dass keine oder nur sehr geringe Zielabweichungen vorliegen. Ein Eingreifen ist bei diesem Status nicht notwendig. Eine *gelbe Ampel* kennzeichnet einen Zustand, bei dem deutliche Zielabweichungen auftreten, die aber noch beherrschbar sind. Ein Eingriff in das System ist notwendig. Mit einem *roten* Status werden erhebliche Abweichungen gekennzeichnet, die umfangreiche Eingriffe in das System erfordern. Auf diese Weise sind auch übersichtliche Visualisierungen über längere Zeiträume möglich (siehe Abbildung 71c).

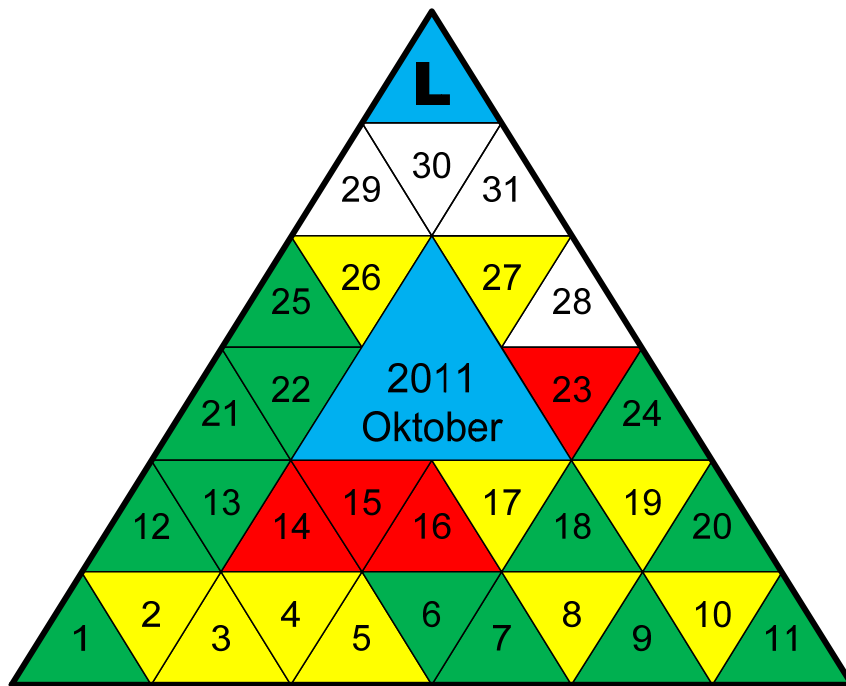
⁹⁶ Bei automatisierten Prozessen werden die erforderlichen Daten großteils bereits sehr detailliert über die Prozesssteuerung erfasst und können einfach weiterverwertet werden. Bei manuellen Prozessen ist das zum Teil schwieriger zu realisieren. Hier bietet der Einsatz neuer Technologien (z.B. RFID-Tags auf den Transporteinheiten) Ansätze, um auch in diesem Umfeld eine zeitnahe und detaillierte Erfassung zu gewährleisten.



a



b



c

Abbildung 74: Verschiedene Formen der Visualisierung

5. Resümee und Ausblick

Zum Abschluss der Arbeit sollen die hier dargestellten Zusammenhänge zusammengefasst und bezüglich ihres Nutzens für einen weiteren wissenschaftlichen Diskurs und für die betriebliche Praxis diskutiert werden.

5.1 Möglichkeiten und Nutzen logistikgerechter Fabrikgestaltung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Frage nach den Problemfeldern bei der Gestaltung von Logistiksystemen. Daraus wurden die folgenden fünf Forschungsfragen abgeleitet (siehe Abschnitt 1.2):

- (1) Welche Anforderungen werden an Logistiksysteme gestellt und kann man sie beschreiben?
- (2) Wie lässt sich der Zustand des Logistiksystems hinsichtlich des Erfüllungsgrades der Anforderungen operativ verfolgen?
- (3) Wie sind die Zielwerte der Anforderungen definierbar?
- (4) Welche Typen von Logistiksystemen gibt es, und wie lassen diese sich bzgl. der Anforderungen beschreiben?
- (5) Wie kann die Gestaltung von logistikgerechten Fabriken unterstützt werden?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurde – basierend auf der Grundfunktion der Logistik, der „bedarfsorientierte(n, d. Verf.) Herstellung von Verfügbarkeit“ (Bretzke 2008, S. 1) – die Durchlaufzeit DLZ als eine der wesentlichen Eigenschaften eines logistischen Prozesses identifiziert. Aus den Eigenschaften der realen Durchlaufzeit in einem logistischen System wurden drei Eigenschaften herausgearbeitet, die hier besonders relevant sind:

- Die reale Durchlaufzeit (DLZ_{Ist}) soll möglichst wenig von der theoretisch minimalen Durchlaufzeit (DLZ_{Min}) abweichen. Das Verhältnis der realen zur minimalen Durchlaufzeit wurde als *Schlankheit* bezeichnet.
- Die DLZ_{Ist} soll möglichst konstant sein bzw. die Varianz der Durchlaufzeit σ_{DLZ} soll eher klein sein. Die Abweichung vom Mittelwert im Zeitverlauf wurde als *Robustheit* definiert.

- Schlantheit und Robustheit des Logistiksystems sollen auch bei einer Änderung der Umweltbedingungen konstant sein. Die Veränderung der beiden Größen bei geänderten Umweltbedingungen wird *Flexibilität* genannt.

Zur operativen Verfolgung des Erfüllungsgrads der Anforderungen (zweite Forschungsfrage) wurden – basierend auf den Eigenschaften die Kennzahlen für die Schlantheit, Robustheit und Flexibilität definiert. Diese Maßzahlen greifen die im Rahmen der ersten Forschungsfrage aufgestellten Beziehungen der unterschiedlichen Arten von Durchlaufzeiten auf.

Zur Beantwortung der vierten Forschungsfrage wurde eine Typologie von Logistiksystemen erarbeitet. Zur Bestimmung der Typen wurden zwölf Merkmale bestimmt und entsprechende Ausprägungen beschrieben, mit denen sich Logistiksysteme in geeigneter Weise klassifizieren lassen. Das sind die Anzahl der Handlingsstufen, die Komplexität des Materialflusses, die Lagerorganisation, der Layouttyp, die Bestandsreichweite, die Fertigungsorganisation, die Prozesswiederholung, das Erzeugnisspektrum, die Fertigungsstruktur, der Bedarfsauslöser, das Produktionsprogramm und das Gewicht der Faktorarten. Nachdem die kompulsiven Verbundmerkmale bestimmt worden waren und dadurch der Raum für mögliche Typen reduziert werden konnte, wurden 21 Logistiksystemtypen durch Variation der Merkmale – ausgehend von einem Extremtyp bis zum Erreichen des entgegengesetzten Extremtyps – herausgearbeitet und detailliert beschrieben. Anschließend ergab eine Analyse der einzelnen Merkmale hinsichtlich der Wirkung der drei Eigenschaften Schlantheit, Robustheit und Flexibilität, dass es zwei Arten von Wirkzusammenhängen gibt: einerseits erzeugen bestimmte Merkmale und die entsprechenden Ausprägungen einen gewissen Bedarf hinsichtlich des Wertebereichs, andererseits erweitern einige Merkmalsausprägungen auch das Potenzial zum Erreichen einer gewünschten bzw. notwendigen Ausprägung der Eigenschaften des Logistiksystems.

Abschließend wurde aufgezeigt, dass die zur Beantwortung der vierten Forschungsfrage konstruierte Typologie ein wertvolles Hilfsmittel bei der (Neu-)Gestaltung von Logistiksystemen ist. Während mit einer Teilmenge der Merkmale (bzw. mit den entsprechenden Ausprägungen) die Randbedingungen des zu planenden oder zu optimierenden Logistiksystems determiniert werden, stellt die andere Teilmenge den Raum der Möglichkeiten zur Gestaltung des logistischen Systems dar. Mit Hilfe der beschriebenen Einflüsse der einzelnen Merkmalsausprägungen auf den Bedarf respek-

tive das Potenzial hinsichtlich des Wertebereichs der Eigenschaften Schlankheit, Robustheit und Flexibilität konnte das geeignete System zur Realisierung der Anforderungen ausgewählt werden.

Die gebildete Typologie ist für die Feinplanungsphase (vgl. Gudehus 2011, S. 72f.) bzw. für die Detailstudien (vgl. Daenzer, Huber 2002, S. 42) zur Gestaltung des logistischen Systems nur bedingt nutzbar, da eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Umsetzung der ausgewählten Ausprägungen existiert. Einzelne Lösungen sind in der Literatur allgemein (vgl. u. a. bei Apple 1977, S. 338 ff.; Martin 2006, S. 2 und S. 42 ff.; Gudehus 2011, S. 565 ff. und Helbing 2010, S. 779 ff.) oder branchenspezifisch (vgl. u. a. bei Laffert 2000, S. 145 ff.; Oeltjenbruns 2000, S. 67 ff. und Klug 2010, S. 289 ff.) beschrieben. Eine zusammenhängende Schrift zur Thematik der logistikgerechten Fabrikgestaltung gibt es bisher nicht. Weiterhin sind die Auswirkungen der Detaillösungen hinsichtlich der Eigenschaften Schlankheit, Robustheit und Flexibilität nur wenig erfasst worden.

Das Problemfeld der logistikgerechten Fabrikgestaltung wird erst seit kurzer Zeit sowohl in der Literatur als auch in der betrieblichen Praxis untersucht (vgl. Klug 2010, S. 3). Die Planung des Fertigungs- und des Logistiksystems geschah bisher zumeist separat und sukzessive mit einem Schwerpunkt auf der Gestaltung des Fertigungssystems. Die Folge sind Logistiksysteme, die um eine Fertigung „herumgeplant“ wurden. Dadurch kommt es zu (vgl. Klug 2010, S. 3):

- langen Versorgungswegen,
- langen und schwankenden Durchlaufzeiten,
- großen Lagerbeständen,
- großen Zwischenpuffern,
- fehlender Transparenz bzgl. der Bestände und Prozesse sowie
- geringer Flexibilität.

Aufgrund der wachsenden Bedeutung der Logistik (vgl. dazu Bretzke 2008, S. 2 f.) setzt sich heute in der Fabrikplanung, gegenüber der früher vorherrschenden sequentiellen, eine simultane bzw. iterative Fertigungs- und Logistiksystemplanung durch (vgl. u. a. Pawellek 2008, S. 5 ff. und Schulte 2009, S. 349 ff.). Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz einer Typologisierung von Logistiksystemen steht nun ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem sowohl Greenfield- als auch Brownfield-Planungsfälle zu

klassifizieren und geeignete Ansätze für die (Neu-)Gestaltung des Logistiksystems abzuleiten wären.

Der Nutzen der logistikgerechten Fabrikgestaltung liegt in wirtschaftlicheren, terminreueren und mit angemessener Flexibilität ausgestatteten Fabriken. Dabei werden die Nachteile, die eine fertigungszentrierte Fabrikplanung mit sich bringt (siehe oben), überwunden.

5.2 Potenziale bei der Auslegung von Logistiksystemen

Die Potenziale bei der Auslegung logistikgerechter Fabriken liegen in der bedarfsgerechten Gestaltung des Logistiksystems hinsichtlich der Eigenschaften Schlankheit, Robustheit und Flexibilität. Durch die integrierte Betrachtung der drei Größen wird erreicht, dass man sich einem Gesamtoptimum annähern kann und dass nicht eine Größe gegenüber den anderen ein unberechtigtes – im Sinne von nicht bedarfsgerechtes – Übergewicht erhält. In der betrieblichen Praxis tritt bisweilen der Fall auf, dass zugunsten der Schlankheit die Aspekte Robustheit und Flexibilität vernachlässigt werden (vgl. hierzu Harrison 1998, S. 36 ff.; Mason-Jones et al. 2000, S. 4064 ff.; Melnyk 2007).

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Logistik für den Fabrikbetrieb und des intensiver werdenden Wettbewerbs gewinnt auch die Nutzung der Potenziale durch eine logistikgerechte Gestaltung der Fabrik zunehmend Bedeutung (vgl. u. a. Bretzke 2008, S. 2 und Klug 2010, S. 5 f.). Die nutzbaren Potenziale sind dabei umso größer, je früher im Planungsablauf die Gestaltung des Logistiksystems begonnen wird und umso weniger Randbedingungen bereits bestehen. Ein weiterer Aspekt, der große Auswirkungen auf die logistikgerechte Systemgestaltung bzw. auf die nutzbaren Potenziale hat, ist die Produktgestaltung. Auch diese soll logistikgerecht erfolgen und entsprechende Belange möglichst frühzeitig im Produktentstehungsprozess berücksichtigen (vgl. Pawellek 2008, S. 3; Klug 2010, S. 46 ff.).

Weiterer Forschungsbedarf besteht zur Frage der Detailplanung von logistischen Systemen. Die Wirkung einzelner Lösungen hinsichtlich der Eigenschaften Schlankheit, Robustheit und Flexibilität ist bisher kaum betrachtet worden. Auch in der Verknüpfung der Lösungen existiert noch Potenzial für künftige Forschungsarbeiten.

Anhang

A) Dokumentation der Logistiksystemtypen

Der Typ LS 2, dargestellt in Tabelle 50, lässt sich beschreiben als eine Fabrik, in der in arbeitsintensiver Werkstattproduktion eine Vielzahl kundenspezifischer Erzeugnisse nach Einzelbestellungen einmalig hergestellt wird. Die Fertigungsstruktur und die Bestände sind hoch. Der Fabrikgrundriss ist campusförmig mit einem zentrales Lager, über das komplexe Materialflüsse mit vielen Handlingsstufen abgewickelt werden.

Tabelle 50: Dokumentation des Logistiksystemtyps 2 (LS 2) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₁ : Handlingsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion	
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnisspektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte	viele Produkte		
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Der Typ LS 3 (siehe Tabelle 51) lässt sich charakterisieren als eine Fabrik, in der in Werkstattproduktion eine Vielzahl typisierter Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten auf Einzelbestellungen oder Rahmenaufträge in Einzel- oder Kleinserienfertigung hergestellt wird. Die Fertigungstiefe ist hoch. Die Bestände sind ebenfalls hoch. Das Layout ist campusförmig mit einem zentralen Lager, über das komplexe Materialflüsse mit vielen Handlingsstufen abgewickelt werden. Die Fertigung ist arbeitsintensiv.

Tabelle 51: Dokumentation des Logistiksystemtyps 3 (LS 3) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₁ : Handlingsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion	
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnisspektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

In Tabelle 52 ist LS 4 dokumentiert. Dieser Typ ist gekennzeichnet durch eine Einzel- und Kleinserienfertigung von typisierten Erzeugnissen mit kundenspezifischen Varianten bei hoher Fertigungstiefe in Form einer arbeitsintensiven Werkstattproduktion. Die Bedarfsauslösung für die vielen gefertigten Produkte erfolgt durch Einzelbestellungen. Der Materialfluss in der campusartig aufgebauten Fabrik ist sehr komplex. Es gibt verschiedene dezentrale Lager mit insgesamt hohen Beständen und vielen Handlingsstufen

Tabelle 52: Dokumentation des Logistiksystemtyps 4 (LS 4) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₁ : Handlingsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion	
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnisspektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Fabriken des Typs LS 5 (siehe Tabelle 53) zeichnen sich durch einen campusförmigen oder gegliederten Grundriss mit einem dezentralen Lagerkonzept aus. Die Materialflusskomplexität über wenige Handlingsstufen ist überschaubar. Es werden mit mittlerer Fertigungstiefe Einzelaufträge für kundenindividuelle oder typisierte Kleinserien produziert. Die Produktbreite ist relativ groß.

Tabelle 53: Dokumentation des Logistiksystemtyps 5 (LS 5) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Logistiksystemtyp 6 (siehe Tabelle 54) steht für eine Fabrik mit Zentrenproduktion. Es werden in Serienfertigung typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten auf Basis von Rahmenverträgen mit mittlerer Fertigungstiefe hergestellt. In dem gegliederten oder campusartigen Layout gibt es nur wenige Handlingsstufen mit überschaubarer Materialflusskomplexität und mehrere dezentrale Lager.

Tabelle 54: Dokumentation des Logistiksystemtyps 6 (LS 6) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion		Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion		materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

Fabriken, die dem Systemtyp LS 7 zuordenbar sind (siehe Tabelle 55), zeichnen sich durch die Serienproduktion einer Vielzahl von typisierten Objekten bei mittlerer Fertigungstiefe aus. Der Abruf erfolgt entweder durch Einzelaufträge oder Rahmenverträge. Ein zentrales Lager, mittleren Bestände und eine kompaktes Layout sind weitere Kennzeichen dieses Typs. Die Fabrik im Beispiel unter 4.3.2 entspricht dem Typ 8

Tabelle 55: Dokumentation des Logistiksystemtyps 7 (LS 7) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Fabriken, die dem Systemtyp LS 8 zuordenbar sind (siehe Tabelle 56), zeichnen sich durch die Serienproduktion einer Vielzahl von Standardprodukten bei mittlerer Fertigungstiefe auf Lager aus. Ein zentrales Lager, mittleren Bestände und eine kompaktes Layout sind weitere Kennzeichen dieses Typs. Das im Kapitel 4.3.1 diskutierte Fabrikprojekt entspricht diesem Typ

Tabelle 56: Dokumentation des Logistiksystemtyps 8 (LS 8) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlungsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral		hybrid	dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt		gegliedert	Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering		mittel	hoch
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion		Zentrenproduktion	Fließproduktion
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnispektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe		mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge		Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte			viele Produkte
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion		materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion

Typ LS 9 (siehe Tabelle 57) lässt sich charakterisieren als eine Fabrik, in der in Serienproduktion auf einem Fließband Standarderzeugnisse mit Varianten hergestellt werden. Die Fertigungstiefe ist mittel bis hoch, und die Bedarfsauslösung erfolgt durch Einzelaufträge. Die Versorgungsprozesse sind durch wenige Handlingsstufen und eine überschaubare Komplexität gekennzeichnet. Die mittleren Bestände sind dezentral auf einem campusförmigen oder gegliederten Layout gelagert. Es werden wenige Produkte in einem materialintensivem Prozess hergestellt. Ein Beispiel für diesen Fabriktypus sind ältere Automobilfabriken, wie zum Beispiel das BMW-Werk in Dingolfing (siehe Abbildung 75b).

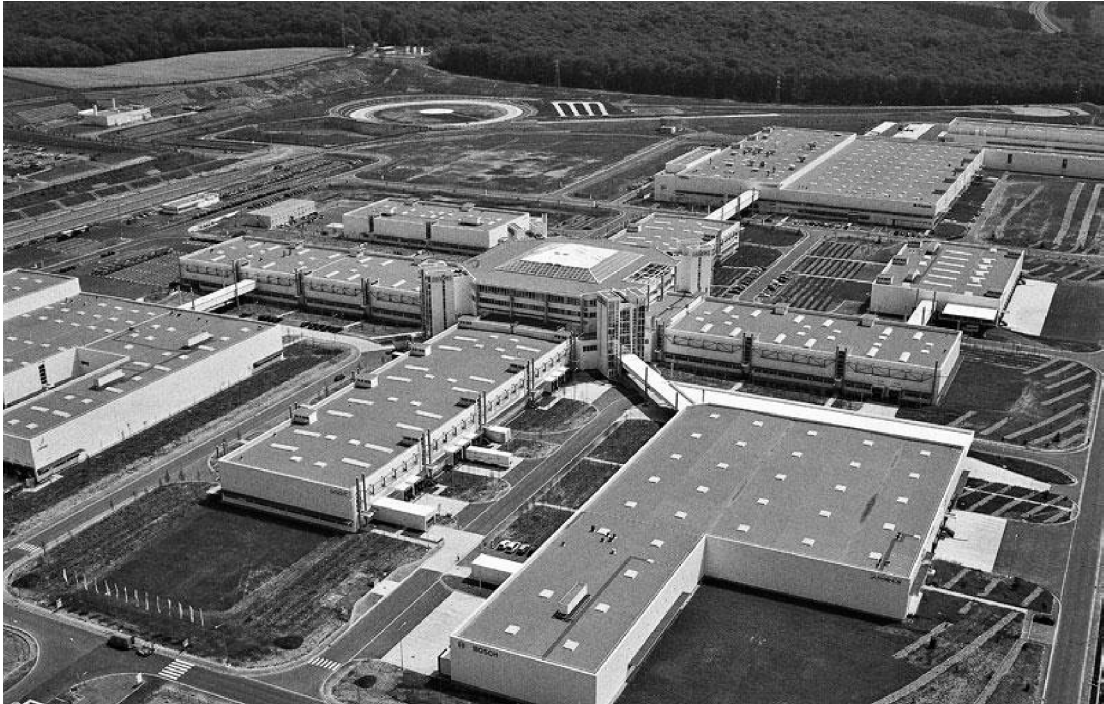
Tabelle 57: Dokumentation des Logistiksystemtyps 9 (LS 9) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

LS 10 stellt eine Fabrik mit wenigen Handlingsstufen und einfachen Materialflüssen in einem gegliederten Layout mit einem hybriden Lagerkonzept und geringen Beständen dar (siehe Tabelle 58). In Fließproduktion werden in Serie wenige Standarderzeugnisse mit Varianten in mittlerer bis hoher Fertigungstiefe hergestellt. Basis für die materialintensive Produktion sind Einzelbestellungen. Dieser Systemtyp ist vor allem bei neueren Automobilwerken (bspw. BMW-Werk in Leipzig (siehe Abbildung 54), VW/Audi-Werk in Curitiba/Brasilien das Smart-Werk in Hambach/Frankreich) vorzufinden (siehe auch Abbildung 75a).

Tabelle 58: Dokumentation des Logistiksystemtyps 10 (LS 10) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₁ : Handlingsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion		Fließproduktion
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnisspektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion



a) LS 10: Smart Hambach (SOP 1998, Werksfläche 0,14 km², 115.000 Fzg/a, 811 MA⁹⁷⁾⁹⁸



b) LS 9: BMW Dingolfing (SOP 1955⁹⁹, Werksfläche 2,5 km², 200.000 Fzg/a, 18.600 MA¹⁰⁰)¹⁰⁰

Abbildung 75: Beispiele für den Systemtypen LS14 und LS16

⁹⁷ Nur MA Smart SAS.

⁹⁸ Quelle: Daimler AG 2011.

⁹⁹ Als Hans Glas GmbH.

¹⁰⁰ Quelle: BMW AG 2011.

Der in Tabelle 59 dargestellte Typ LS 11 ist eine Fabrik mit gegliedertem Grundriss, einem hybriden Lagersystem mit geringen Beständen, wenigen Handlingsstufen und geringer Komplexität. In Massen- oder Serienfertigung werden Standarderzeugnisse in hoher Fertigungstiefe kundenanonym produziert. Dieser Fabriktyp ist beispielsweise bei der Heimelektronik (wie LCD-Bildschirme oder Digitalkameras) zu finden.

Tabelle 59: Dokumentation des Logistiksystemtyps 11 (LS 11) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid		dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert		Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion		Fließ- produktion
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion

Der in Tabelle 60 dokumentierte Typ LS 12 ist gekennzeichnet durch eine Serienproduktion von typisierten Erzeugnissen mit kundenspezifischen Varianten in Produktionszentren. Überschaubare Materialflusskomplexität und wenige Handlingsstufen mit einem zentralen Lager und geringen Beständen sind weitere Merkmale des LS 12 Mit den Kunden werden Rahmenaufträge vereinbart.

Tabelle 60: Dokumentation des Logistiksystemtyps 12 (LS 12) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

In Tabelle 61 ist der Logistiksystemtyp LS 13 dokumentiert; er stellt eine kompakte Fabrik mit zentralem Lager und mittleren Beständen dar. Die Materialflusskomplexität ist überschaubar, und es gibt nur wenige Handlingsstufen zur Versorgung der Zentrenproduktion. Es werden Einzel- und Kleinserien mit mittlerer Fertigungstiefe hergestellt. Die materialintensive Produktion erfolgt mit Rahmenaufträgen für wenige Produkte.

Tabelle 61: Dokumentation des Logistiksystemtyps 13 (LS 13) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₁ : Handlingsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral		hybrid	dezentral
C ₄ : Layouttyp	kompakt		gegliedert	Campus
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel		hoch
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion		Fließproduktion
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnispektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe		hohe Fertigungstiefe
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge		Produktion auf Lager
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion		anlagenintensive Produktion

Fabriken vom Typ LS 14 sind gekennzeichnet durch wenige Handlingsstufen in einem überschaubaren Materialfluss. Das zentrale Lager mit mittleren Beständen befindet sich auf einem kompakten Fabrikgrundriss. In Werkstattproduktion werden in diesen Fabriken viele Produkte als Kleinserien von typisierten Erzeugnissen mit kundenspezifischen Varianten auf Basis von Einzelbestellungen gefertigt (siehe Tabelle 62).

Tabelle 62: Dokumentation des Logistiksystemtyps 14 (LS 14) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Der in Tabelle 63 zu sehende Typ LS 15 ist in Fabriken mit Werkstattproduktion für kundenspezifische Erzeugnisse mit geringer Fertigungstiefe zu finden. Kompaktes Layout, zentrale Lagerung mittlerer Bestände und eine überschaubare Materialflusskomplexität sind weitere Faktoren, die diesen Typ kennzeichnen.

Tabelle 63: Dokumentation des Logistiksystemtyps 15 (LS 15) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	Nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Logistiksystemtyp LS 16 (siehe Tabelle 64) ähnelt dem Typ LS 15 sehr stark. Sie unterscheiden sich lediglich in der Größe der Bestände im System. Diese sind, im Gegensatz zu LS 15, bei LS 16 nur gering.

Tabelle 64: Dokumentation des Logistiksystemtyps 16 (LS 16) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
	C ₁ : Handlungsstufen	Direktbeistellung	wenige	mittel
C ₂ : Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungsorganisation	Werkstattproduktion	Zentrenproduktion	Fließproduktion	
C ₇ : Prozesswiederholung	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
C ₈ : Erzeugnisspektrum	nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

Tabelle 65 zeigt Systemtyp LS 17, der gekennzeichnet ist durch die Herstellung von Kleinserien typisierter Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten mit mittlerer oder hoher Fertigungstiefe in arbeitsintensiver Werkstattproduktion. Der Bedarfsauslöser ist ein Einzelauftrag oder ein Rahmenvertrag. Die Bestandsreichweite im zentralen Lager ist gering. Es existieren in dem kompakten Layout nur wenige Handlingsstufen mit überschaubarer Materialflusskomplexität.

Tabelle 65: Dokumentation des Logistiksystemtyps 17 (LS 17) im typologischen Grundmuster

Merkmal	Ausprägung			
C ₁ : Handlingsstufen	Direkt- beistellung	wenige	mittel	viele
C ₂ : Materialfluss- komplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
C ₃ : Lagerorganisation	zentral	hybrid	dezentral	
C ₄ : Layouttyp	kompakt	gegliedert	Campus	
C ₅ : Bestandsreichweite	gering	mittel	hoch	
C ₆ : Fertigungs- organisation	Werkstatt- produktion	Zentren- produktion	Fließ- produktion	
C ₇ : Prozess- wiederholung	Einmal- fertigung	Einzel- und Kleinserien- fertigung	Serien- fertigung	Massen- fertigung
C ₈ : Erzeugnis- spektrum	nach Kunden- spezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kunden- spezifischen Varianten	Standard- erzeugnisse mit Varianten	Standard- erzeugnisse ohne Varianten
C ₉ : Fertigungsstruktur	geringe Fertigungstiefe	mittlere Fertigungstiefe	hohe Fertigungstiefe	
C ₁₀ : Bedarfsauslöser	Bestellung Einzelaufträge	Bestellung Rahmenaufträge	Produktion auf Lager	
C ₁₁ : Programm	ein – wenige Produkte		viele Produkte	
C ₁₂ : Gewicht der Faktorarten	arbeitsintensive Produktion	materialintensive Produktion	anlagenintensive Produktion	

B) Maschinenbelegung Pow-R-Arm

Zur Berechnung der benötigten Fläche für die Fertigungseinrichtung der Pow-R-Arm Fabrik und für die Entscheidung der Anordnung der einzelnen Anlagen, muss die benötigte Anzahl an Anlagen je Typ bestimmt werden. Dazu sind die Fertigungsprozesse zur Herstellung der Bauteile zu analysieren. Für die Produktion jedes Bauteils ist im Rahmen des Beispiels eine detaillierte Operationsfolge vorgegeben (vgl. Apple 1977, S. 140 f.). Weiterhin ist die für die Ausführung einer Operation erforderliche Werkzeugmaschine sowie deren Ausbringungsmenge bekannt (vgl. Apple 1977, S. 152 f.).

Für die Berechnung der notwendigen Anzahl an Anlagen ist die von jedem Bauteil zu produzierende Stückzahl zu berechnen. Aufgrund der Vorgabe einer Jahresstückzahl von 134.000 Stck bei einem Einschichtbetrieb (8hd^{-1}) an 250 Tagen im Jahr, beträgt die erforderliche Stückzahl N_{Out} je Bauteil:

$$N_{Out} = \frac{134.000 \text{ Stck}}{a} \cdot \frac{a}{250 \text{ d}} \cdot \frac{\text{d}}{8 \text{ h}} = 67 \frac{\text{Stck}}{\text{h}} \quad [91]$$

(vgl. Apple 1977, S. 82).

Aufgrund von Fertigungsfehlern gibt es einen gewissen Anteil p_F n.i.O. bzw. Ausschussteile je Operation. Dieser muss bei der Berechnung der erforderlichen Stückzahl, die in jedem Arbeitsgang gefertigt wird, berücksichtigt werden. Sei i die Operationsfolgennummer und j die Nummer des Bauteils so ergibt sich die Anzahl zu produzierender i.O.-Bauteile je Operation rekursiv zu:

$$\begin{aligned} N_{Out}^j (i = \max) &= N_{Out} \\ N_{In}^j (i) &= N_{Out}^j (i-1) \\ N_{Out}^j (i) &= N_{In}^j (i) \cdot \frac{1}{(1-p_F)} \end{aligned} \quad [92]$$

(vgl. Apple 1977, S. 82 f.).

Weiterhin ist zu beachten, dass die Berechnung des notwendigen Outputs je Operation nach [92] von einer 100% Effizienz der Fabrik ausgeht. Da diese Annahme nicht realitätsnah ist, ist eine von 1 verschiedene Effizienz η_P zu berücksichtigen:

$$N_{In}^j (i, \eta_P) = N_{In}^j (i) \cdot \eta_P \quad [93]$$

(vgl. Apple 1977, S. 82).

Bei gegebener Leistung P_{MA} einer Werkzeugmaschine für die Ausführung einer bestimmten Fertigungsstufe i , ergibt sich die Anzahl benötigter Anlagen eines Typs für diesen Vorgang zu:

$$N_{MA}^j(i) = \frac{N_{In}^j(i, \eta_P)}{P_{MA}^j(i)} \quad [94]$$

(vgl. Apple 1977, S. 82 f.)

Für das Fallbeispiel sind die Operationsfolgen je Bauteil, die dafür eingesetzte Werkzeugmaschine sowie die Ausbringung je Operation für alle Bauteile gegeben (vgl. Apple 1977, S. 152 f.). Die Ausschussquote p_F ist nur für die Fertigungsschritte des Bauteils 1 gegeben (vgl. Apple 1977, S. 83). Für die Ausschussquote der anderen Operationen wurden eigene Annahmen auf Basis des ersten Bauteils getroffen. Die Berechnungen und die Ergebnisse sind in Tabelle 66 f. zusammengestellt.

Tabelle 66: Berechnung der benötigten Anzahl Fertigungsanlagen – Teil I¹⁰¹

Op Nr.	Werkzeugmaschine	Output	Aus- schuss	Input	Input 90%	Ausbringung je Anlage	Anzahl benötigter Anlagen
		N_{Out}	p_F	N_{In}	N_{In}^*	P_{MA}	N_{MA}
		$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	[%]	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	[Stck]
Bauteil 1 – Basis							
1	LB Leitspindeldrehmaschine	75,7	4%	78,9	87,6	60,0	1,46
2	W&S Universaldrehmaschine	71,9	5%	75,7	84,1	23,8	3,53
3	21" Cleereman Bohrmaschine	70,5	2%	71,9	79,9	83,4	0,96
4	Delta Bohrmaschine	68,4	3%	70,5	78,3	238	0,33
5	Fosdick Bohrmaschine	67,0	2%	68,4	76,0	65,4	1,16
6	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	55,5	1,34
7	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	143	0,52
Bauteil 2 – Exzentrische Welle							
1	Sägemaschine Oster #601	74,2	1%	74,9	83,2	588	0,14
2	Delta Bohrmaschine	72,0	3%	74,2	82,4	250	0,33
3	Delta Bohrmaschine	69,8	3%	72,0	79,9	120	0,67
4	LB Leitspindeldrehmaschine	67,0	4%	69,8	77,5	149	0,52
5	Prüfung	67,0	0%	67,0	74,4	143	0,52
6	Brennofen	67,0	0%	67,0	74,4	910	0,08
7	Schleifen	67,0	0%	67,0	74,4	455	0,16
8	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	455	0,16

¹⁰¹ Eigene Berechnung nach Apple 1977, S. 152 f.

Tabelle 67: Berechnung der benötigten Anzahl Fertigungsanlagen – Teil II

Op Nr.	Werkzeugmaschine	Output	Aus- schuss	Input	Input 90%	Ausbringung je Anlage	Anzahl benötigter Anlagen
		N_{Out}	p_F	N_{In}	N^*_{In}	P_{MA}	N_{MA}
		$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	[%]	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	$\left[\frac{\text{Stck}}{\text{h}} \right]$	[Stck]
Bauteil 3 – Griff							
1	W&S Universaldrehmaschine	70,5	5%	74,2	82,5	256	0,32
2	W&S Universaldrehmaschine	67,0	5%	70,5	78,4	232	0,34
3	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	500	0,15
4	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	600	0,12
Bauteil 7 – Gehäuse							
1	W&S Universaldrehmaschine	71,2	5%	75,0	83,3	60	1,39
2	21" Cleereman Bohrmaschine	69,8	2%	71,2	79,1	178	0,44
3	Brown and Sharpe Fräse	67,0	4%	69,8	77,5	125	0,62
4	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	250	0,30
5	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	300	0,25
Bauteil 8 – Kappe							
1	Universaldrehmaschine	71,2	5%	75,0	83,3	30,3	2,75
2	Fosdick Bohrmaschine	69,8	2%	71,2	79,1	62,5	1,27
3	Milwaukee Vertikalfräse	67,0	4%	69,8	77,5	83,5	0,93
4	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	100	0,74
5	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	143	0,52
Bauteil 9 – Stift							
1	Sägemaschine Oster #601	67,0	1%	67,7	75,2	1000	0,08
Bauteil 10 – Druckplatte							
1	Universaldrehmaschine	69,8	5%	73,5	81,6	40	2,04
2	Brown and Sharpe Fräse	67,0	4%	69,8	77,5	120	0,65
3	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	100	0,74
4	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	600	0,12
Bauteil 11 - Schwenkkugel							
1	Universaldrehmaschine	72,7	5%	76,5	85,0	30,3	2,81
2	Schleifmaschine	71,2	2%	72,7	80,7	25	3,23
3	Simplex-Fräse	68,4	4%	71,2	79,1	90	0,88
4	Fosdick Bohrmaschine	67,0	2%	68,4	76,0	62,5	1,22
5	Prüfen	67,0	0%	67,0	74,4	83,3	0,89
6	Entfetten	67,0	0%	67,0	74,4	600	0,12

Literaturverzeichnis

- Abel, J.:* Ganzheitliche Geschäftsmodelle in KMU. In: wt Werkstatttechnik Online, Jg. 97 (2007), H. 4, S. 293 – 297
- Apple, J. M.:* Plant Layout and Material Handling. 3. Aufl., New York/NY 1977
- Arlbjørn, J. S.; Halldorsson, A.:* Logistics knowledge creation: reflections on content, context and processes. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Jg. 32 (2002), H. 1, S. 22 – 40
- Arlt, T.:* Schlanke Logistikströme vom Lieferanten zum Verbauort. Veranstaltung vom 06.10.2009, aus der Reihe "Cluster-Forum Schlanker Materialfluss" München 2009
- Arndt, H.:* Supply Chain Management. Optimierung logistischer Prozesse. 4. Aufl., Wiesbaden 2008
- Audi AG (Hrsg.):* Geschäftsbericht 2010. Ingolstadt 2011
- Autry, C. W.; Zacharia, Z. G.; Lamb, C. W.:* A Logistics Strategy Taxonomy. In: Journal of Business Logistics, Jg. 29 (2008), H. 2, S. 27 – 51
- Bailey, K. D.:* Typologies and Taxonomies. An introduction to classification techniques. Thousand Oaks/CA 1994
- Barton, A. H.:* The Concept of Property-Space in Social Research. In: *Lazarsfeld, P. F.; Rosenberg, M. (Hrsg.):* The Language of Social Research. A Reader in the Methodology of Social Research. 7. Aufl. New York/NY, London 1955, S. 40 – 63
- Baudin, M.:* Lean logistics. The nuts and bolts of delivering materials and goods. New York/NY 2005
- Bechtel, C.; Jayaram, J.:* Supply Chain Management: A Strategic Perspective. In: The International Journal of Logistics Management, Jg. 8 (1997), H. 1, S. 15 – 34
- Haasis, H.-D.; Zimmermann, F.; Plöger, M.:* Unternehmensübergreifende Bestandsallokation mittels software-basierter Multiagenten-Systeme. in *Bogaschewsky, R., Eßig, M.; Lasch, R.; Stölzle, W.:* Supply Management Research. Aktuelle Forschungsergebnisse 2010. Wiesbaden 2010, S. 263 – 276
- Becker, T.:* Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Berlin 2005
- Bokranz, R.; Landau, K.:* Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. MTM-Handbuch. Stuttgart 2006
- Boppert, J.; Schedlbauer, M.; Günthner, W. A.:* Zukunftsorientierte Logistik durch adaptive Planung. In: *Günthner, W. A. (Hrsg.):* Neue Wege in der Automobil-Logistik. Die Vision der Supra-Adaptivität. Berlin 2007, S. 345 - 357
- Bornhäuser, M.:* Reifegradbasierte Werkstattsteuerung. Heimsheim 2009
- Bortz, J.:* Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. Aufl., Heidelberg 2005
- Bretzke, W.-R.:* Logistische Netzwerke. Berlin, Heidelberg 2008

- Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.; Musiol, G.; Mühlig, H.:* Taschenbuch der Mathematik. 7. Aufl., Frankfurt am Main 2008
- Büchel, A.:* Aufbau eines Simulationsmodells der Werkstättenfertigung auf der Basis eines Markov-Prozesses. Zürich 1968
- Büdenbender, W.:* Ganzheitliche Produktionsplanung und -steuerung. Konzept für Produktionsunternehmen mit kombinierter kundenanonymer und kundenbezogener Auftragsabwicklung. Berlin 1991
- Buzacott, J. A., Corsten, H.; Gössinger, R.; Schneider, H. M.:* Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen. München 2009
- Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.:* Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 97 (2002), H. 9, S. 441 – 445
- Claussen, P.:* Systemische Fabrikplanung und -betrieb. Entwicklung nachhaltiger Strukturen. Leipzig 2007
- Cluss, E.:* Integrative Methoden und Instrumente der Logistik. Einsatzbeispiele aus einem PKW-Montagewerk der MB AG. In: *Pfohl, H.-C. (Hrsg.):* Integrative Instrumente der Logistik. Berlin 1996, S. 160 – 190.
- Corbat, P.:* Logistik in Vertriebsunternehmen. Norderstedt 2009
- Corry, A. K.:* Engineering, Methods of Manufacture and Production. In: *McNeil, I. (Hrsg.):* An Encyclopaedia of the History of Technology. London 1990.
- Corsten, H.:* Produktionswirtschaft. Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 9. Aufl., München 2000
- Dickmann, P.:* Schlanker Materialfluss. Mit Lean Production, Kanban und Innovationen. Berlin, Heidelberg 2007
- Dombrowski, U.; Hennersdorf, S.; Schmidt, S.:* Grundlagen Ganzheitlicher Produktionssysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 101 (2006), H. 4, S. 172 – 177
- Dombrowski, U.; Vollrath, H. (2008):* Einsatz der Methoden Ganzheitlicher Produktionssysteme in der Logistik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 103, H. 7-8, S. 511–515,
- Dürschmidt, S.:* Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. München 2001
- Esser, H.:* Integration von Produktionslogistik und Montageplanung und -steuerung. Aachen 1996
- Ettlie, J. E.; Penner-Hahn, J. D.:* Flexibility Ratios and Manufacturing Strategy. In: Management Science, Jg. 40 (1994), H. 11, S. 1444 – 1454
- Eversheim, W.:* Strategien zur Rationalisierung der Montage. Einzel- und Kleinserienproduktion komplexer Produkte. Düsseldorf 1987

- Fisser, F.; Schulze, C. P.; Nyhuis, P.:* Lean Changeability. Wege zur schlanken und wandlungsfähigen Produktion. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 103 (2008), H. 6, S. 385 – 388
- Förster, A.:* Strukturierung von Teileflußsystemen der Fertigung im Maschinenbau. Dissertation. Karl-Marx-Stadt 1983
- Förster, H.-U.:* Integration von flexiblen Fertigungszellen in die PPS. Berlin 1988
- Gerwin, D.:* Manufacturing Flexibility: A Strategic Perspective. In: Management Science, Jg. 39 (1993), H. 4, S. 395 – 410
- Gleißner, H.; Femerling, J. C.:* Logistik. Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele. Wiesbaden 2008
- Göpfert, I.:* Einführung, Abgrenzung und Weiterentwicklung des Supply Chain Managements. In: *Busch, A.; Dangelmaier, W. (Hrsg.):* Integriertes Supply Chain Management. Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. 2. Aufl. Wiesbaden 2004, S. 25 – 45
- Göpfert, I.:* Logistik der Zukunft - Logistics for the future. 5. Aufl., Wiesbaden 2009
- Goren, S.; Sabuncuoglu, I.:* Robustness and stability measures for scheduling: single-machine environment. In: IIE Transactions, Jg. 40 (2008), H. 1, S. 66 – 83
- Gottschalk, B.:* Netzwerkmanagement: Ein strategischer Imperativ für die Automobilindustrie. In: *Garcia Sanz, F. J.; Semmler, K.; Walther, J. (Hrsg.):* Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Berlin 2007, S. 395 – 410
- Grant, D. B.; Lambert, D. M.; Stock, J. R.; Ellram, L. M.:* Fundamentals of logistics management. European ed. Maidenhead 2006
- Große-Oetringhaus, W. F.:* Fertigungstypologie. Unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsablaufplanung. Berlin 1974
- Grundig, C.-G.:* Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 3. Aufl., München 2009
- Gudehus, T.:* Logistik. Grundlagen, Verfahren und Strategien. 4. Aufl., Berlin 2011
- Gutenberg, E.:* Die Produktion. 3. Aufl., Berlin u. a. 1957
- Gutenberg, E.:* Die Produktion. 24. Aufl., Berlin u. a. 1983
- Haberfellner, R.:* Vorgehensmodell des Systems Engineering. In: *Daenzer, W. F. (Hrsg.):* Systems Engineering. Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. 3. Aufl. Zürich 1982a, S. 26 – 51
- Haberfellner, R.:* Die Bedeutung formaler Vorgehensmodelle für die Systemgestaltung. In: *Daenzer, W. F. (Hrsg.):* Systems Engineering. Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. 3. Aufl. Zürich 1982b, S. 53 – 54

- Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; von Massow, H.:* Systems Engineering. Methodik und Praxis. Hrsg.: Daenzer, W. F.; Huber F. 11. Aufl. Zürich 2002
- Hahn, D.; Laßmann, G.:* Produktionswirtschaft - Controlling industrieller Produktion. 3. Aufl., Heidelberg 1999
- Hanssmann, F.:* Einführung in die Systemforschung. Methodik der modellgestützten Entscheidungsvorbereitung. 4. Aufl., München 1993
- Harrison, A.:* A Comparative Study of Lean Production Metrics in an Automotive Assembler. In: International Journal of Logistics: Research and Applications, Jg. 1 (1998), H. 1, S. 27 – 38
- Hauschildt, J.; Grape, C.; Schindler, M.:* Typologien von Unternehmenskrisen im Wandel. In: Die Betriebswirtschaft, Jg. 66 (2006), H. 1, S. 7 – 26
- Hedderich, J.; Sachs, L.:* Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. 14. Aufl., Berlin u. a. 2012
- Heiserich, O.-E.; Helbing, K. W.; Ullmann, W.:* Logistik. Eine praxisorientierte Einführung. 4. Aufl., Wiesbaden 2011
- Helbing, K. W.:* Handbuch Fabrikprojektierung. Berlin, Heidelberg 2010
- Hesse, S.:* Lexikon Automatisierung der Arbeitssysteme. Renningen-Malmsheim 1994
- Hofmann, E.; Nothardt, F.:* Logistics Due Diligence. Analyse - Bewertung - Anlässe - Checklisten. Berlin, Heidelberg 2009
- Holweg, M.:* The genealogy of lean production. In: Journal of Operations Management, Jg. 25 (2007), S. 420 – 437
- Imai, M.:* Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg im Wettbewerb. 1. Aufl., München 2001
- Inderfurth, K.; Schulz, T.:* Zur Exaktheit der Lagerkennlinie nach Nyhuis und Wiendahl. In: *Otto, A.; Obermaier, R. (Hrsg.):* Logistikmanagement. Analyse, Bewertung und Gestaltung logistischer Systeme. Wiesbaden 2008, S. 23 – 49
- Jacob, H.:* Unsicherheit und Flexibilität. Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 44 (1974), S. 299 – 326, 403 – 448, 505 – 526
- Jacob, H.:* Flexibilität und ihre Bedeutung für die Betriebspolitik. In: *Adam, D.; Backhaus, K.; Meffert, H.; Wagner, H. (Hrsg.):* Integration und Flexibilität. Eine Herausforderung für die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden 1990, S. 15 – 60
- Jensen, S.; Hotz, I.:* Mit standardisierten Datenstrukturen zur integrativen Simulation. In: *Schulze, T. et al. (Hrsg.):* Simulation und Visualisierung 2006. Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung 2006". Erlangen 2006, S. 86 – 104
- Jetzke, S.:* Grundlagen der modernen Logistik. Methoden und Lösungen. München 2007
- Jones, D. T.; Hines, P.; Rich, N.:* Lean logistics. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Jg. 27 (1997), H. 3/4, S. 153 – 173

- Jung, S.*: Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2007. In: *Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Wirtschaft und Statistik*. 01/2010. Wiesbaden 2010, S. 41 – 51
- Junge, M.*: Individualisierung. Frankfurt/Main 2002
- Klauke, A.; Schreiber, W.; Weißner, R.*: Neue Produktionsstrukturen erfordern angepasste Fabrikstrukturen. Zukunftsorientierte Fabrikstrukturen in der Automobilindustrie. In: *Wiendahl, H.-P.; Breitenbach, F.; Klußmann, J. H.; Nofen, D. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis*. München 2005, S. 244 – 255
- Klug, F.*: Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Heidelberg 2010
- Kluge, S.*: Empirisch begründete Typenbildung. Zur Konstruktion von Typen und Typologien in der qualitativen Sozialforschung. Opladen 1999
- Kluge, S.*: Empirisch begründete Typenbildung in der qualitativen Sozialforschung. In: *Forum Qualitative Sozialforschung*, Jg. 1 (2000), H. 1, Art. 14
- Koether, R.*: Logistik als Managementaufgabe. In: *Koether, R. (Hrsg.): Taschenbuch der Logistik*. 2., aktualisierte Aufl. München 2006, S. 21 – 36
- Krafcik, J. F.*: Triumph of the Lean Production System. In: *Sloan Management Review*, Jg. 30 (1998), H. Herbst, S. 41 – 52
- Krcal; H.-C.*: Strategische Implikationen einer geringen Fertigungstiefe für die Automobilindustrie. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 60 (2008), H. 10, S. 778 – 808
- Krog, E.-H.; Statkevici, K.*: Kundenorientierung und Integrationsfunktion der Logistik in der Supply Chain der Automobilindustrie. In: *Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik. Innovationen, Strategien, Umsetzungen*. Berlin 2008, S. 185 – 196
- Kuhn, A.*: Argumente für eine neue Planungsqualität in der Logistik. In: *Fördertechnik* (1990), H. 11/12, S. 11 – 17
- Kuhn, A.; Wenzel, S.*: A4 - Simulation logistischer Systeme. In: *Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 73–94.
- Kurbel, K.; Endres, A.*: Produktionsplanung und -steuerung. Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. 6. Aufl., München 2005
- Laffert, J.*: Informations- und Materialflüsse in internationalen Logistiksystemen der Volkswagen AG. Kassel 2000
- Lambert, D. M.; Stock, J. R.; Ellram, L. M.*: Fundamentals of logistics management. Boston/MA 1998
- Laqua, I.*: Lean Administration - mehr Effizienz für interne Prozesse. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Jg. 100 (2005), H. 12, S. 738 – 742

- Lazarsfeld, P. F.:* Some Remarks on the Typological Procedures in Social Research. In: Zeitschrift für Sozialforschung, Jg. 6 (1937), S. 119 – 139
- Ley, W.:* Entwicklung von Entscheidungshilfen zur Integration der Fertigungshilfsmitteldisposition in EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. Düsseldorf 1984
- Linß, G.:* Qualitätsmanagement für Ingenieure. 3. Aufl., München 2011
- Little, J. D. C.:* A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$. In: Operations Research, Jg. 9 (1961), H. 3, S. 383 – 387
- Lödding, H.:* Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. Berlin, Heidelberg 2005
- Lücke, O.:* Methodische Nutzung der betrieblichen Lernfähigkeit. Ein Beitrag zum verbesserungsorientierten Auftragsmanagement in der Kleinserienfertigung komplexer Produkte. Essen 1999
- Lunze, J.:* Automatisierungstechnik. Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme. 2. Aufl., München 2008
- Mainzer, K.:* Komplexität. Paderborn 2008.
- Martin, H.:* Praxiswissen Materialflussplanung: Transportieren, Handhaben, Lagern, Kommissionieren. Wiesbaden 1999
- Mason-Jones, R.; Naylor, B.; Towill, D. R.:* Lean, agile or leagile? Matching your Supply Chain to the Marketplace. In: International Journal of Production Research, Jg. 38 (2000), H. 17, S. 4061 – 4070
- Maurer, A.; Stark, W. A.:* Steering Carmaking into the 21st Century. From Today's Best Practices to the Transformed Plants of 2020. Boston/MA 2001
- Mayer, A.:* Modularisierung der Logistik ein Gestaltungsmodell zum Management von Komplexität in der industriellen Logistik. Berlin 2007
- Meißner, S.; Günthner, W. A.:* Lean Logistics - Ansatzpunkte der Gestaltung schlanker Logistiksysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 104 (2009), H. 4, S. 280 – 283
- Melnyk, S. A.:* Lean to a fault. In: CSCMP Quarterly, Jg. 1 (2007), H. 3
Online Verfügbar unter
<http://www.supplychainquarterly.com/topics/Logistics/scq200703lean/> (zuletzt geprüft: 24.09.2012)
- Mentzer, J. T.; DeWitt, W. J. Keebler, J. S.; Min, S.; Nix, N. W.; Smith, C. D.; Zacharia, Z. G.:* Defining supply chain management. In: Journal of Business Logistics, Jg. 22 (2001), H. 2, S. 1 – 25
- Meyer, M.; Lücke, T.:* Lean Supply Chain. Effiziente Produktionssteuerung in kundenverbrauchsorientierten Wertschöpfungsketten. In: wt Werkstatttechnik Online, Jg. 95 (2005), H. 4, S. 264 – 268

- Monden, Y.:* Toyota production system. Practical approach to production management. Norcross/GA 1983
- Monden, Y.:* Toyota production system. An integrated approach to just-in-time. 3. Aufl., Norcross/GA (1998) 2002.
- Müller, E.; Näser, P.; Ackermann, J.; Egdmann, M.:* Integrative, simulationsgestützte Logistikstruktur- und Produktionsstättenplanung. In: *Engelhardt-Nowitzki, C.; Krenn, B.; Nowitzki, O. (Hrsg.):* Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation. State-of-the-Art und innovative Konzepte. Wiesbaden 2008, S. 23 – 38
- Naisbitt, J.:* Megatrends. Ten New Directions Transforming our Lives. New York, NY 1982
- Nebl, T.:* Produktionswirtschaft. 5. Aufl., München 2004
- Nebl, T.:* Produktionswirtschaft. 6. Aufl., München 2007
- Nyhuis, P.; Pachow-Fraunhofer, J.:* B3 - Grundlagen der Produktionslogistik. 3.1 Grundlagen. In: *Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.):* Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, S. 295–307.
- Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.:* Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 2. Aufl., Berlin 2003
- Oeltjenbruns, H.:* Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas. Analyse, Vorteile und detaillierte Voraussetzungen sowie die Vorgehensweise zur erfolgreichen Einführung am Beispiel eines globalen Automobilkonzerns. Aachen 2000
- Ohno, T.:* Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt am Main (1993) 2005.
- Oliver Wyman (Hrsg.):* Car Innovation 2015. A comprehensive study on innovation in the automotive industry. München 2007
- Pawellek, G.:* Ganzheitliche Fabrikplanung. Berlin, Heidelberg 2008
- Pfohl, H.-C.:* Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen. 2. Aufl., Berlin, Heidelberg 2004
- Pfohl, H.-C.:* Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Aufl., Berlin 2010
- Pillkahn, U.:* Trends und Szenarien als Werkzeuge zur Strategieentwicklung. Wie Sie die unternehmerische und gesellschaftliche Zukunft planen und gestalten. Erlangen 2007
- Prockl, G.:* Logistik-Management im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Erklärung und praktischer Handlung. Wiesbaden 2008
- REFA (Hrsg.):* Ausgewählte Methoden zur Prozessorientierten Arbeitsorganisation. Herausgegeben von REFA. Darmstadt 2002, S. 64 – 68.
- Rehbein, B.; Schwengel, H.:* Theorien der Globalisierung. Konstanz 2008
- Reichwald, R.; Piller, F.:* Interaktive Wertschöpfung. Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung. Wiesbaden 2006

Reichmann, Thomas: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten. Grundlagen einer systemgestützten Controlling-Konzeption. 5., überarb. und erw. Aufl. München 1997

Reiner, G.; Bredow, M. von (2006): Methoden zur Gestaltung und Optimierung von Wertschöpfungsnetzen. In: *wt Werkstatttechnik Online*, Jg. 96, H. 7/6, S. 561–565

Ripperger, A.: Gestaltung der Organisation effizienter Auftragsabwicklungsprozesse im Maschinen- und Anlagenbau unter typologischen Gesichtspunkten. Aachen 1999

Rosendahl, F.; Radow, R.: Produktionsendstufe für Motorräder. In: *Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L. (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe*. Berlin: Springer 2004, S. 191–207.

Ross, S. M.; Heinisch, C.: Statistik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 3. Aufl., München 2006

Rücker, T.: Optimale Materialflusssteuerung in heterogenen Produktionssystemen. Wiesbaden 2006

Sainis, P.: Ermittlung von Durchlaufzeiten in der Werkstattfertigung aus Daten des Fertigungsprogrammes mit Hilfe der Warteschlangentheorie. Hannover 1975

Schenk, M.; Schulte, H. (Hrsg.): Typologisierung von Fabriken - Ein Element der strategischen Zielplanung. Stuttgart 2003

Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin 2004

Schlüter, F.: Hybride PPS für heterogene Fertigungsstrukturen. Wiesbaden 2001

Schneeweiß, C.: Planung 2. Konzepte der Prozeß- und Modellgestaltung. Berlin 1992

Schneeweiß, C.; Kühn, M.: Zur Definition und gegenseitigen Abgrenzung der Begriffe Flexibilität, Elastizität und Robustheit. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 42 (1990), H. 5, S. 378 – 395

Schneeweiß, C.; Schneider H.: Measuring and designing flexibility as a generalized service degree. In: *European Journal of Operational Research*, Jg. 112 (1999), S. 98 – 106

Schneider, M.: Logistikplanung in der Automobilindustrie. Konzeption eines Instruments zur Unterstützung der taktischen Logistikplanung vor „Start-of-Production“ im Rahmen der Digitalen Fabrik. Wiesbaden 2008

Schnetzler, Matthias; Schönsleben, Paul; Alard, Robert; Sennheiser, Andreas

Schnetzler, M.; Schönsleben, P.; Alard, R.; Sennheiser, A.: Unternehmensbezogener Wertbeitrag von Beschaffung und Logistik. In: *Garcia Sanz, F. J.; Semmler, K.; Walther, J. (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten*. Berlin 2007, S. 91 – 108

- Scholl, A.:* Robuste Planung und Optimierung. Grundlagen - Konzepte und Methoden - experimentelle Untersuchungen. Heidelberg 2001
- Schomburg, E.:* Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Dissertation. Aachen 1980
- Schuh, G.:* Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl., Berlin 2006
- Schulte, C.:* Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. 5. Aufl., München 2009
- Schulte, H.; Koch, C.; Baumeister, M.:* Fabriktypologisierung. Ein Weg zur schnellen und sicheren Planung. In: *Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung (Hrsg.):* Fabrikplanung. Die Fabrik im Spannungsfeld von Wandlungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit, 4. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung, Stuttgart, 6. und 7. November 2002. Landsberg am Lech 2002, S. 1 – 19.
- Schulze, C. P.; Klemke, T.; Doroudian, S.; Nyhuis, P.:* Wandlungsfähig und schlank. Anforderungen an zukunftsrobuste Produktionssysteme. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Jg. 103 (2008), H. 9, S. 580 – 584
- Schumpeter, J. A.:* Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. unveränd. Nachdr. d. 4. Auflage 1934. Berlin (1934) 1997.
- Schwaninger, M.:* Systemtheorie. In: *Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.):* Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl. Stuttgart 1996, S. 1945 – 1960
- Schwaninger, M.:* Systemtheorie. Eine Einführung für Führungskräfte, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Discussion Papers by the Institute of Management, Nr. 16. 3. Aufl., St. Gallen, 2004
- Sennheiser, A.; Schnetzler, M.:* Wertorientiertes Supply Chain Management. Strategien zur Mehrung und Messung des Unternehmenswertes durch SCM. Berlin, Heidelberg 2008
- Sethi, A. K.; Sethi, S. P.:* Flexibility in Manufacturing: A Survey. In: *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Jg. 2 (1990), S. 289 – 328
- Slack, N.:* Flexibility as a Manufacturing Objective. In: *International Journal of Operations & Production Management*, Jg. 3 (1983), H. 3, S. 4 – 13
- Slack, N.:* The Flexibility of Manufacturing Systems. In: *International Journal of Operations & Production Management*, Jg. 7 (1987), H. 4, S. 35 – 45
- Slack, N.:* The Changing Nature of Operations Flexibility. Update. In: *International Journal of Operations & Production Management*, Jg. 25 (2005), H. 12, S. 1201 – 1210
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.):* Preise. Verbraucherpreisindizes für Deutschland. November 2010. Wiesbaden 2010
- Syska, A.:* Kennzahlen für die Logistik. Berlin 1990
- Takeda, H.:* LCIA - Low Cost Intelligent Automation. Produktivitätsvorteile durch Einfachautomatisierung. 2. Aufl., Landsberg am Lech 2006

- Takeda, H.:* Das synchrone Produktionssystem. Just-in-time für das ganze Unternehmen. 6. Aufl., Landsberg am Lech 2009
- ten Hompel, M.; Schmidt, T.:* Warehouse Management. Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 3. Aufl., Berlin 2008
- Tietz, B.:* Bildung und Verwendung von Typen in der Betriebswirtschaftslehre. Dargelegt am Beispiel der Typologie der Messen und Ausstellungen. Köln, Opladen 1960
- VDA (Hrsg.):* Auto JAHRESBERICHT 2008. Frankfurt am Main 2008
- Walcher, D.:* Der Ideenwettbewerb als Methode der aktiven Kundenintegration. Theorie, empirische Analyse und Implikationen für den Innovationsprozess. Wiesbaden 2007
- Wannenwetsch, H.:* Integrierte Materialwirtschaft und Logistik. Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion . 4. Aufl., Berlin u. a. 2010
- Weber, J.; Kummer, S.:* Logistikmanagement. 2. Aufl., Stuttgart 1998
- Webster, D. R.; Tyberghein, M. B.:* Measuring flexibility of job-shop layouts. In: International Journal of Production Research, Jg. 18 (1980), H. 1, S. 21 – 29
- Westkämper, E.:* Digitales Engineering von Fabriken und Prozessen: Stuttgarter Impulse - Fertigungstechnik für die Zukunft. Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium am 10. und 11. September in Stuttgart. Stuttgart 2008, S. 427 – 452.
- Westkämper, E.; Zahn, E.:* Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin 2009
- Wiendahl, H.-P.:* Maßgeschneiderte Fabriken im Dienste des Kunden. In: *Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung (Hrsg.):* Fabrik 2005+. Agilität und Produktivität im Fokus, 3. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung, Stuttgart, 3. und 4. April 2001. Landsberg am Lech: Verl. Moderne Industrie 2001, S. 1 – 15.
- Wiendahl, H.-P.:* Betriebsorganisation für Ingenieure. Mit 2 Tabellen. 7. Aufl., München 2010
- Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.:* Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München 2009
- Wöhe, G.:* Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 19. Aufl., München 1996
- Womack, J. P.:* A Measure of Lean. In: IET Manufacturing Engineer, Jg. 85 (2006), H. 4, S. 6 – 7
- Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.:* Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. 8. Aufl., Frankfurt am Main 1994

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: The Machine that Changed the World. New York/NY, London, Toronto, Sydney (1990) 2007.

Wu, Y.-C. J.: Effective Lean Logistics Strategy for the Auto Industry. In: The International Journal of Logistics Management, Jg. 13 (2002), H. 2, S. 19 – 38