

Stefan Lutherdt

**Ein Konzept für die nutzerbezogene Gestaltung von
Assistenzsystemen und deren Nutzerschnittstellen**

Berichte aus der Biomechatronik

Herausgegeben von Prof. Dr. Hartmut Witte
Fachgebiet Biomechatronik an der TU Ilmenau

Band 14

**Ein Konzept für die nutzerbezogene
Gestaltung von Assistenzsystemen und
deren Nutzerschnittstellen**

Stefan Lutherdt



Universitätsverlag Ilmenau

2017

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 2. November 2016

1. Gutachter/-in: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h. c. Peter Kurtz
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter/-in: Univ.-Prof. Dr. phil. Heidi Krömker
(Technische Universität Ilmenau)

3. Gutachter/-in: Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph Ament
(Universität Augsburg)

Tag der Verteidigung: 2. Mai 2017

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

<http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag>

readbox unipress

in der readbox publishing GmbH

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://unipress.readbox.net>

ISSN 1865-9136

ISBN 978-3-86360-164-5 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017000161

Titelfoto: Biol. Helga Schulze | Bochum

Für **Katja**, Elias, Noah;
meine Familie!

DANKSAGUNG

Diese Dissertationsschrift habe ich natürlich selbständig und allein schreiben und anfertigen müssen. Nichtsdestotrotz wäre sie niemals fertig geworden ohne die Hilfe und Unterstützung, den Rat und wohlmeinende wie kritische Worte einer Vielzahl mir liebgewordener wie für meine Arbeit wichtiger Personen. Bei ihnen allen möchte ich mich hiermit bedanken, wohlwissend, dass ich einige vergessen und andere nicht ausreichend werde würdigen können.

Zuallererst, und das sei mir von allen anderen verziehen, möchte ich meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Peter Kurtz von ganzem Herzen danken. Er hat mir neben vielen Stunden der Betreuung meiner Arbeit und einer nahezu unendlichen Geduld dabei vor allem auch die Möglichkeit gegeben, in seinem Fachgebiet eine wissenschaftliche Karriere zu beginnen und selbständig meine Forschungsarbeiten durchzuführen. Derselbe große Dank gilt meinem zweiten wissenschaftlichen Förderer, Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte. Neben den nötigen Freiheiten, meine Forschungen weiterführen zu können, gab er mir vor allem vom ersten Tag an eine große Portion Vertrauen und fortwährende Bestätigung. Beide Professoren haben mich ihre Zuversicht immer spüren lassen und nie am Erfolg meiner Arbeit gezweifelt. Das habe ich niemals als selbstverständlich empfunden, wiewohl es auch in schwierigeren Phasen für den nötigen Schub und das notwendige Selbstvertrauen gesorgt hat.

Diese mitunter notwendige und immer hilfreiche Unterstützung und Motivation zum Weitermachen habe ich auch ganz stark von meiner gesamten Familie erfahren. Trotz manchem Tag, der hätte anders als mit Arbeit verbracht werden können, trotz manchem Tag, der nicht nur gute Laune brachte, habt ihr stets zu mir gestanden. Danke dafür liebe Katja, meine lieben Söhne Elias und Noah, liebe Eltern und all ihr anderen!

Ein großer Dank geht auch an alle Kollegen, die sowohl durch ihre konstruktive Kritik zum Gelingen der Forschungsprojekte, als auch durch die Übernahme von Aufgaben zur letztlichen Fertigstellung dieser Arbeit beitrugen. Sei es durch die Erstellung oder Verbesserung meiner Abbildungen, die nun diese Arbeit durch dich, liebe Danja, aufwerten, als auch durch die Betreuung

von Studenten oder Praktika, der ich mich zuletzt nicht mehr so intensiv widmen konnte. Dafür vielen Dank auch an Thomas Helbig und Sebastian Köhring. Ganz besonders bedanke ich auch bei Frau Dr. Beate Schlütter, die neben dem langjährigen Interesse an meiner Arbeit vor allem durch ihre Erfahrungen beim Abschluss derselben geholfen hat.

Da viele der hier in meiner Dissertation verwendeten Ergebnisse aus größeren Forschungsprojekten stammen, möchte ich mich bei allen Mitarbeitern bedanken, die zum Erfolg dieser Projekte und damit zum Grundstein meiner Arbeit beigetragen haben. Stellvertretend für alle anderen möchte ich damit besonders Herrn Dr.-Ing. Fred Roß danken. Wir haben viele konstruktive Gespräche geführt, Ideen für aktuelle und künftige Projekte erörtert und dabei immer auch die persönliche, wissenschaftliche Entwicklung besprochen.

In den vielen Jahren und den in dieser Zeit durchgeführten Projekten haben mich auch immer wieder studentische Hilfskräfte bei der Arbeit unterstützt. Ihnen allen möchte ich danken, da jeder einen Baustein für meine wissenschaftliche Arbeit geliefert hat. Besonderer Dank gilt Herrn Christoph Noack für den Aufbau und Frau Ines Kästner für die Pflege der Fernbedienungsdatenbank sowie Herrn Imed Yami und Herrn Marco Steinberg für ihren wertvollen Beitrag durch das Medienprojekt.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen, die mich über all die Zeit ertragen haben, allen die mir große oder auch kleine Hinweise gegeben oder und Hilfe jeder Art angeboten haben. All das war wichtig und hilfreich für mich und hat mich immer wieder gestärkt weitermachen lassen, DANKE.

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die Entwicklung von Assistenzsystemen und ihren Schnittstellen bei Nutzung eines neuen Konzeptes (nutzerbezogene Gestaltung von Assistenzsystemen und deren Nutzerschnittstellen NuGASt), erfolgreich durchgeführt werden kann. Die Motivation zur Entwicklung des neuen Konzeptes ergab sich aus der Identifikation von Problemen bei der Untersuchung und Beurteilung vorhandener Gestaltungslösungen für eine Nutzerschnittstelle (Fernbedienungen).

Um eine Einordnung des Untersuchungsgegenstands „Assistenzsystem“ machen zu können, werden einleitend verschiedene notwendige Begriffsbestimmungen und Definitionen vorgenommen sowie eine für diese Arbeit nutzbare Definition von Assistenzsystemen vorgeschlagen.

Es wird beschrieben, wie dieses Konzept aus der Analyse vorhandener Entwicklungsmodelle verschiedener Bereiche wie Softwareentwicklung und Usability Engineering abgeleitet und mittels des bekannten Problemlösungsansatzes (s. VDI 2221) entworfen wurde. Im Unterschied zu den untersuchten anderen Konzepten und Modellen ist das Kennzeichen von NuGASt eine frühzeitige Nutzereinbindung bereits vom Start einer Entwicklung an. Außerdem basieren alle Entwicklungsschritte auf Kenntnissen über die späteren Nutzer, ihren Eigenschaften und Befähigungen hinsichtlich der Nutzung des zu entwickelnden Systems. Das Konzept ist strukturell ebenfalls an den Problemlösungsansatz angelehnt, verbindet diesen aber mit Elementen anderer Entwicklungsmodelle und wird ergänzt durch flexibel einsetzbare Rückkopplungen und Nutzerbeteiligungen.

Als Kriterium zur Bewertung des späteren Entwicklungsergebnisses wurde die Gebrauchstauglichkeit gewählt (s. DIN ISO EN 9241:11), da sie die mit dem Konzept gewünschte Ausrichtung auf den späteren Nutzer eines Produkts repräsentiert.

Es wird die schrittweise Herleitung des Konzepts beschrieben sowie die Überprüfung der Funktions- und Passfähigkeit des Konzepts auf die zu Beginn gestellten Ziele (Entwicklung von Assistenzsystemen und Schnittstellen), was

an ausgewählten Beispielen aus Forschungsprojekten belegt wird. Die Ergebnisse der gezeigten Projekte und Evaluationen mit potentiellen Nutzern zeigen, dass durch den Einsatz von NuGASt in Projekten zur Entwicklung von Assistenzsystemen tragfähige Lösungen gefunden werden können, die auch durch die späteren Nutzer akzeptiert werden.

Abstract

This thesis demonstrates the feasibility of a successful development of assistance systems and its user interfaces with a newly development concept called NuGASt. This concept is detailed within this work. The motivation to develop this new concept was given by search and evaluation of existing design solutions of special user interfaces during a research project.

To be able of classifying and ranging the investigated objects of assistance systems into other systems or to demarcate it from those, some preliminary definitions and determinations have to be made. Also, a definition of assistance systems themselves was searched and found.

It is described how the concept was derived by analyses from other development models and concepts of software and usability engineering. The concept was created using the problem-solving approach known from mechanical engineering and mechatronics (in VDI 2221). In difference to analyzed models and concepts the base of NuGASt is to integrate the users into the developing process just from the start of the activities. Besides this all the stages of development are based on the knowledge about the future users, their abilities and properties to use such interfaces and assistance systems. The pattern of the new concept is also leaned on problem solving approach, but it links this approach with elements of other development models. Furthermore, it will be added by flexibly applicable feedback loops and user participations.

As a criterion to evaluate the later development results the usability and manageability was chosen, because it is best representing the aim of the new concept which is strictly pointed to the later users of products developed.

Step-by-step is shown the conceptual design and the test and evaluation of operational capability of this new concept relating to the aims and requirements from the beginning (usefulness for development of assistance systems and user interfaces). This is documented by examples from research projects. These results and evaluations with potential users show that it is possible to find sustainable solutions in projects to develop assistance systems and their user interfaces using new concept NuGASt. And they also promise, that these solutions will be accepted by the later users.

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit	19
1.1 Motivation.....	19
1.2 Zielstellung der Arbeit.....	20
1.3 Notwendige Begriffsbestimmungen	20
2 Assistenzsysteme als Mensch-Maschine-Systeme mit IT-Kompetenz	23
2.1 Mensch-Maschine-Systeme (MMS).....	23
2.1.1 Definition	23
2.1.2 Eingabegeräte.....	26
2.1.3 Anzeigeelemente und –geräte	31
2.2 Assistenzsysteme	34
2.2.1 Definition von Assistenzsystemen.....	35
2.2.2 Nutzerschnittstellen von Assistenzsystemen	40
2.2.3 Akzeptanz von Assistenzsystemen	43
2.2.4 Individualisierbarkeit von Assistenzsystemen.....	45
3 Menschliche Leistungsfähigkeit und psychophysische Eigenschaften.....	47
3.1 Relevante psychophysische Eigenschaften des Menschen.....	47
3.1.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	48
3.1.2 Perzeption (menschliche Wahrnehmung).....	51
3.2 Aspekte der Kognition	68
3.2.1 Prozess der Informationsverarbeitung	69
3.2.2 Aufmerksamkeit.....	73
3.3 Psychophysik	76

3.4	Berücksichtigung der psychophysischen Eigenschaften bei der Gestaltung von Assistenzsystemen	78
3.4.1	Händigkeit.....	78
3.4.2	Mentale Modelle.....	80
3.4.3	Weitere abgeleitete Gestaltungsempfehlungen	81
3.5	Katalog wesentlicher zu berücksichtigender psychophysischer Eigenschaften des Menschen.....	85
4	Die Gebrauchstauglichkeit als Bewertungsmaßstab für eine nutzergerechte Gestaltungsgüte von AS.....	91
4.1	Problemstellung.....	91
4.2	Bedienbarkeit als wesentliches Merkmal der Gebrauchstauglichkeit.....	93
4.2.1	Definition der Gebrauchstauglichkeit (Usability)	93
4.2.2	Effektivität	95
4.2.3	Effizienz.....	95
4.2.4	Zufriedenheit.....	95
4.2.5	Methoden zur Sicherung der Gebrauchstauglichkeit	98
4.2.6	Messbarkeit der Gebrauchstauglichkeit	99
4.2.7	Benutzbarkeit, Benutzungsfreundlichkeit und Bedienbarkeit..	102
4.3	Nutzerschnittstellen als Koppelglied in der Mensch-Technik-Interaktion.....	105
4.3.1	Regeln für die Gestaltung von interaktiven und grafisch basierten Nutzerschnittstellen.....	106
4.3.2	Abgeleitete Gestaltungsanforderungen und -ziele.....	108
5	Analyse von Entwicklungs- und Entwurfsmodellen und Synthese nutzbarer Phasen zu einem neuen Konzept.....	111
5.1	Entwicklungsmodelle und Entwurfsprozesse.....	112
5.1.1	Phasenmodelle der Softwareentwicklung als Form der Entwurfsprozesse.....	112
5.1.2	Entwurfsmodelle aus anderen Bereichen der Technik.....	117

5.2 Usability Engineering	126
5.2.1 Usability Engineering Design Lifecycle	127
5.2.2 Usability Engineering Prozessmodell nach SARODNICK & BRAU.....	130
5.3 Benutzerzentrierter Designprozess	131
5.3.1 Allgemeine Darstellung des Prozesses	131
5.3.2 Scenariobased Design nach ROSSON & CARROLL.....	136
5.4 Übertragung der Prozess- und Entwurfsmodelle auf Assistenzsysteme	138
5.5 Individualisierung zur Anpassung der Schnittstellen an den jeweiligen Nutzer	140
5.6 Notwendige Modifikationen vorhandener Entwicklungsprozesse bzw. -modelle.....	143
5.7 Analyse ausgewählter Entwurfsprozesse.....	145
5.7.1 Beurteilungskriterien.....	145
5.7.2 Analyseergebnisse.....	147
6 Entwurf des Konzepts für die nutzergerechte Gestaltung von AS und ihren Schnittstellen (NuGASt)	155
6.1 Konzepterstellung	155
6.1.1 Analyse von Entwicklungsmodellen (Problemanalyse des PLA).....	156
6.1.2 Problemformulierung.....	158
6.1.3 Konzeptsynthese zur Erstellung eines NuGASt-Prototypen	159
6.1.4 Konzeptanalyse als Test der Grundstruktur von NuGASt innerhalb des Forschungsprojekts Harys	160
6.2 Anwendungstests für das Konzept NuGASt	181
6.2.1 Nutzung des neuen Konzepts NuGASt im Projekt TAS	182
6.2.2 Weitergehende Tests des Konzepts NuGASt in TAS2.....	198

7 Anwendungstest des neuen Konzepts	209
7.1 Anwendung des Konzepts NuGASt auf den Entwurf von Nutzerschnittstellen	209
7.1.1 Verbesserung der Nutzbarkeit und Akzeptanz von Großdisplays zur Informationsvermittlung in Produktionslinien.....	209
7.1.2 Aufbau einer taktil-haptischen Vibrationsschnittstelle zur Informationsvermittlung und Aufmerksamkeitssteuerung für sensorisch eingeschränkte Nutzer („Vibro-Gurt“)	222
7.2 Diskussion der Anwendungsergebnisse von NuGASt, Einschätzung der Potentiale des Konzepts.....	235
8 Zusammenfassung	239
Literaturverzeichnis	243
Internetbildquellen	260
Abbildungsverzeichnis	261
Tabellenverzeichnis	270
Formelverzeichnis.....	271
Anhang.....	273

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung(en)
AS	Assistenzsystem
ASR	Anti-Schlupfregelung
Ann.	Annual
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BT	Bluetooth [®]
CNC	Computerized Numerical Control
CRT	cathode ray tube (engl. für Kathodenstrahlröhre)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVD	Digital Versatile Disc
FB	Fernbedienung
GOMS	Goals, Operators, Methods and Selection Rules (Akronym)
HARYS	Haptic Remote control System (Akronym)
Hifi	High Fidelity (Akronym)
HCI	Human-Computer Interaction (engl. für Mensch-Computer-Interaktion)
IEC	International Engineering Consortium
IFIP	International Federation for Information Processing
ISO	Internationale Organisation für Normung (vom griechischen "isos" für „gleich“ abgeleitete Abkürzung, engl.: International Organization for Standardization)
IT	Informationstechnik / Informationstechnologie
Journ.	Journal
KI	Künstliche Intelligenz
KZG	Kurzzeitgedächtnis
LCD	Liquid Chrystal Display

LED	Light Emitting Diode
LZG	Langzeitgedächtnis
MMI	Man-Machine-Interface (engl. für MMS, s.u.)
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
MVC	Model View Controller
NuGASt	Nutzerbezogene Gestaltung von Assistenzsystemen und Schnittstellen (Akronym)
OSM	On screen menu (engl. für Bildschirmmenü)
PLA	Problemlösungsansatz
PDA	Personal Digital Assistant
SBD	Szenario-basiertes Design (auch ohne Bindestrich möglich, auch engl.: scenario-based design)
Tab.	Tabelle(n)
TAS	Touristisches Assistenzsystem für den barrierefreien Zugang zu Urlaubs-, Freizeit- und Bildungsaktivitäten
TFT	Thin Film Transistor
TV	Television (engl. für Fernseher, im Deutschen gebräuchlich)
UCDP	User Centered Design Process
UE	Usability Engineering
UEDL	Usability Engineering Design Lifecycle
UX	User Experience (engl. für Nutzererfahrung)
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WEITBLICK	Wissensbasierte Technologien und bedarfsgerechte Leistungen für Senioren durch individualisierte Care-Konzepte (Akronym)
WFM	Wasserfall-Modell
ZNS	Zentralnervensystem

1 Motivation und Zielsetzung der Arbeit

1.1 Motivation

Assistenzsysteme (AS) verschiedener Art finden sich heutzutage als Bestandteil unterschiedlicher Mensch-Maschine-Systeme (MMS) oder auch als eigenständige Lösungen nahezu in jedem Bereich des Lebens wieder, im Alltag ebenso wie in hochspezialisierten Bereichen der Technik. AS sind Bestandteile eines MMS oder selbst eigenständige MMS mit einer den Nutzer entlastenden und bei seiner Aufgabenerfüllung unterstützenden Funktion (s. Kapitel 2). Sie bestehen dabei immer aus Hard- und Softwarekomponenten.

Während der Entwicklung von AS in verschiedenen Projekten und der damit verbundenen intensiven Beschäftigung mit der Thematik Assistenzsysteme fiel auf, dass diese unter die Kategorie „Assistenzsysteme“ fallenden technischen Lösungen häufig keine für befriedigende Lösung darstellten. Ein Beispiel dafür ist die große Vielfalt von Fernbedienungen (FB) für Geräte der Heimelektronik (z. B. Fernseher, Stereoanlagen, DVD-Player), für Heimautomatisation und Smart Home-Anwendungen (Rollläden, Heizungs- und Lichtsteuerung) bis hin zu Automotive-Systemen (Car Hifi, Garagentore). Jedes dieser Geräte besitzt eine eigene FB, die sich hinsichtlich der Bedienphilosophie, der Gestaltung und der genutzten Metaphern bzw. mentalen Modelle unterscheiden und zudem häufig noch überfrachtet sind durch die realisierten Funktionalitäten. Damit wird der potentielle Nutzer gleich mehrfach kognitiv gefordert.

Mit dem Begriff des (technischen) „Assistenzsystems“ sind keine eindeutigen Konfigurationen, geschweige denn Definitionen verknüpft. Die (häufig gewollt) fehlende Festlegung führte dazu, dass auch keine eindeutigen Entwurfsregeln oder –methoden für Assistenzsysteme und deren Schnittstellen existieren. Bestehende Entwurfsprozesse und Entwicklungsmethoden berücksichtigen die nutzerbezogenen Aspekte nur ungenügend.

In den eigenen Untersuchungen wurde als besonders wichtig erkannt, dass der Nutzer der späteren Systeme oder Geräte dann mit diesen zufrieden ist, wenn eine erkennbar hohe Gebrauchstauglichkeit erreicht ist. Somit wird eine hohe

Gebrauchstauglichkeit zum Gestaltungsziel eines jeden AS erhoben, woraus sich dementsprechende Entwurfsanforderungen ableiten lassen.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Bestehende Entwicklungswerkzeuge werden nach den o. g. Entwicklungsanforderungen beurteilt, um ein Konzept für den Entwurf der o. g. AS und speziell ihrer Nutzungsschnittstellen zu entwickeln und testen zu können. Dieses Konzept im Sinne einer Richtlinie oder Handlungsanweisung für den Entwurfsprozess soll anhand einer Analyse bekannter Entwicklungsmethoden, vor allem aus der Softwareentwicklung, dem nutzerzentrierten Design sowie dem Usability Engineering (UE) unter Nutzung des Problemlösungsansatzes bzw. -zyklus erfolgen. Mit dieser Analyse erfolgt eine Auswahl und Bewertung der einzelnen Entwurfs- bzw. Entwicklungsmodelle bzw. einzelner geeigneter Phasen anhand eines vorher definierten Anforderungskatalogs. Das neue Konzept wird durch eine Synthese von Phasen in den Entwurfsphasen dieser analysierten Entwicklungswerkzeuge gebildet, durch selbst entwickelte oder modifizierte Phasen ergänzt und anschließend evaluiert bzw. getestet.

Es existieren durchaus Richtlinien, Modelle und Entwurfswerkzeuge für die Entwicklung von Benutzungsschnittstellen. Die Motivation, trotzdem ein neues Konzept zu erarbeiten, speist sich aus der Erkenntnis, dass diese Richtlinien und Werkzeuge jedoch größtenteils schlecht (auf AS) anwendbar oder nicht direkt übertragbar sind und zudem oft einer empirischen Grundlage entbehren, worauf auch in verschiedenen Literaturquellen hingewiesen wird (vgl. dazu u. a. Groner et al. 2008 und Spool 2002).

1.3 Notwendige Begriffsbestimmungen

In dieser Arbeit wird eine Reihe von eingeführten Fachbegriffen benutzt, die teilweise auch in ihrer abgekürzten Form gebräuchlich sind. An den entsprechenden Stellen sind die Abkürzungen aufgeführt und werden entsprechend synonym verwendet, wie es dem jeweiligen Umgang entspricht. Das betrifft genauso jene Begriffe, die ausschließlich in englischer Form gebräuchlich oder verfügbar sind.

Da diese Arbeit sowohl thematisch als auch in der Anwendung der Ergebnisse in verschiedenen Projekten einen stark interdisziplinären Charakter trägt, ist es nötig einige der in der Arbeit häufig benutzten Begriffe zu erklären. Die Bedeutung kann zum Teil abweichend zu anderen Wissensgebieten sein oder wird in diesen mehrdeutig benutzt, weshalb eine Klärung im Sinne dieser Arbeit notwendig ist.

System

{Def 1}

Unter einem System ist jedes aus mehreren Komponenten, Bauteilen, Modulen oder Elementen bestehende physische Gerät zu verstehen unabhängig vom Grad seiner Komplexität. Ist ein System aus Untergruppen hierarchisch gleichrangiger Teile aufgebaut, die selbst aus mehreren Komponenten oder Bauteilen bestehen, so sind diese Untergruppen als Teilsysteme zu verstehen.

Modul

{Def 2}

Der Begriff des Moduls wird in verschiedenen Gebieten der Ingenieurwissenschaften teils unterschiedlich gebraucht und auch definiert. So werden z. B. für die Mechatronik Module in der Richtlinie VDI 2206 als „*Systemelemente oder Bauteile* [bezeichnet], *die zu einer Gruppe zusammengefasst werden und gemeinsam eine bestimmte Funktion erfüllen.*“ (s. VDI 2206, S. 16). Sie entsprechen damit entweder den Untergruppen bzw. Teilsystemen eines hierarchisch übergeordneten Systems, oder sie bilden aus mehreren strukturell-hierarchisch gleichartigen Komponenten ein solches Teilsystem.

Entwurf

{Def 3}

Unter einem Entwurf soll hier nicht die im Maschinenbau üblichen Terminologie verstanden werden, sondern der gedankliche Prozess der Lösungsfindung mit Konzepterstellung, Suchen nach Alternativen und Festlegen der notwendigen Elemente innerhalb des selbst erarbeiteten Lösungsraums. Diese Auslegung entspricht dabei sinngemäß auch der Definition der VDI 2206 (ebd., S. 29, s. auch Daenzer 2002, S. 158)

Entwicklung

{Def 4}

Der Begriff Entwicklung soll für diese Arbeit so verstanden werden, dass darunter alle Vorgänge und Tätigkeiten zur Lösung einer gestellten Entwurfsaufgabe bis zum fertigen Produkt fallen. Dieser Vorgang verläuft immer in

verschiedenen Phasen, die seriell, parallel oder kombiniert aus beiden ablaufen. Damit hat eine Entwicklung immer Prozesscharakter, weshalb man wie in der VDI 2206 auch von einem Entwicklungsprozess sprechen kann. Eine synonyme Verwendung beider Begriffe ist dadurch möglich.

Prozess

{Def 5}

Der Prozessbegriff ist für die Technik in der DIN IEC 60050-351 definiert als „Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert wird“ (s. DIN IEC 60050-351:2014-09). Abweichend davon bzw. ergänzend dazu soll unter einem Prozess in dieser Arbeit all das verstanden werden, worin (technische) Abläufe verkoppelt oder kombiniert für die Erfüllung eines vorherbestimmten Zieles ablaufen. Ein Entwurfsprozess ist somit eine Folge von Vorgängen, die letztlich der Lösungsfindung dienen. Jeder Teilvorgang besitzt dabei einen Ein- und Ausgang (Ergebnis) sowie Parameter, die diesen Vorgang bestimmen und steuern. Die Ziele der Vorgänge sind orientiert am Gesamtziel des Prozesses (Endergebnis).

Modell

{Def 6}

Ein Modell ist ein vereinfachtes oder verkürztes Abbild der Wirklichkeit (vgl. Stachowiak 1973 und Müller 1983). In diesem allgemeinen Sinne stellen Entwicklungs- und Prozessmodelle deren Ablauf strukturell und in der Regel schematisiert dar, ohne alle Attribute und Parameter zu beinhalten. Im Sinne der o. g. Definitionen können Entwicklungs- und Prozessmodelle dieselben Vorgänge beinhalten oder beschreiben.

Weitere Begriffe, wie z. B. der des Assistenzsystems, und Definitionen werden bei Notwendigkeit im jeweils betreffenden Abschnitt der Arbeit vorgenommen.

Geräte, die man nicht beherrscht, werden disqualifiziert. Technikfeindlichkeit erklärt sich häufig aus dem Umstand, daß man die Bedienungsanleitung nicht versteht.

Gabriele Henkel

2 Assistenzsysteme als Mensch-Maschine-Systeme mit IT-Kompetenz

Um Prozesse, Geräte oder Systeme entwickeln zu können, müssen diese dem Gestalter in ihren Grundfunktionen, -eigenschaften und den jeweiligen Einsatzgebieten bekannt sein. Dann ist eine positive Beeinflussung des Designprozesses möglich. Deshalb erfolgt zuerst eine eingehende Betrachtung und Beschreibung von Assistenzsystemen und den ihnen übergeordneten Mensch-Maschine-Systemen.

2.1 Mensch-Maschine-Systeme (MMS)

Der Begriff des „Mensch-Maschine-Systems“ (MMS) spiegelt unabhängig von der genauen Definition im folgenden Kapitel bereits durch seine Wortbestandteile die unbedingte Kombination von Menschen als Nutzer/Bediener und der Technik als Werkzeug (benutztes Objekt) in einem aus beidem gebildeten System wider. Da auch AS in ihrem Wortstamm eine sinngemäße Orientierung auf einen Nutzer beinhalten, ist es ersichtlich, dass sie ein Bestandteil oder eigenständiges MMS sind und es deshalb notwendig erscheint, diese übergeordnete Technikkategorie zuerst näher zu betrachten.

2.1.1 Definition

Unter einem MMS wie in Abbildung 2-1 skizziert versteht man allgemein jede Form der erzwungenen oder gewünschten Kooperation von Menschen (Nutzern, Bedienern, Operateuren) und technischen Systemen (wenig bis hoch komplexe Maschinen, Anlagen, Produktionsstrecken, Roboter und viele weitere, (vgl. u. a. Meißner & Engmann 2008). Dabei bilden der oder die Mensch(en) mit dem oder den technischen System(en) eine zeitweilige oder dauernde Einheit im Sinne einer gemeinsamen Aufgabenerfüllung. Dazu ist

die direkte räumliche Verschmelzung bzw. Kontaktgabe zwischen Mensch und Maschine keine unmittelbare Voraussetzung. Bei TIMPE & KOLREP wird ein MMS mit dem zielgerichteten Zusammenwirken von Mensch und Maschine(n) zur Erfüllung eines selbst- oder fremdgestellten Auftrags beschrieben. Dabei stellt er vor allem den zielgerichteten Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine(n) in den Vordergrund, gleichzeitig impliziert er damit die grundsätzliche Notwendigkeit zum Vorhandensein von mindestens einem Menschen und einer Maschine sowie deren beider Kooperation. Grundsätzlich sind mit dem Begriff „Maschine“ konkrete, künstliche Systeme in sowohl allgemeiner (abstrakt-funktionaler) Form als auch in konkreter technischer Ausprägung als Geräte und Komponenten bis hin zu komplexen Systemen zu verstehen. (vgl. Timpe & Kolrep 2000)

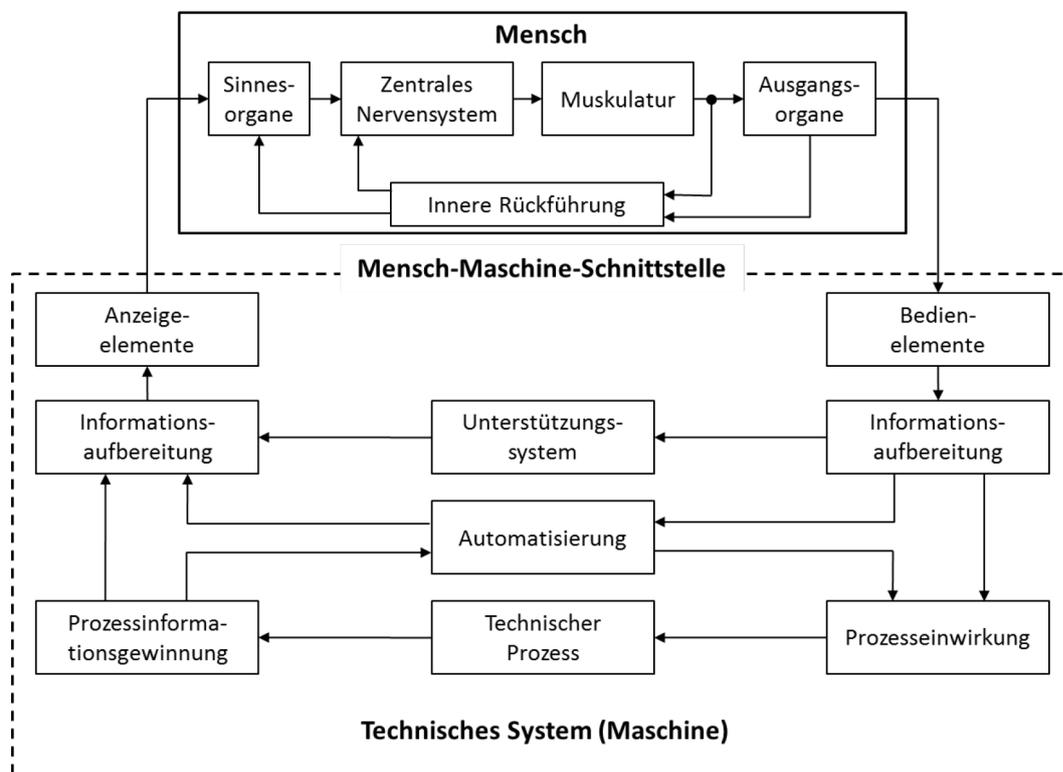


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung eines Mensch-Maschine-Systems in Anlehnung an JOHANNSEN und die Norm DIN ISO 26800:2009 (s. Johannsen 1993, ISO/DIS 26800:2009, S. 13)

Aus dieser kurzen Darstellung wird deutlich, dass so eine Vielzahl höchst unterschiedlicher, zeitlich und räumlich austauschbarer oder sich umorganisierender Konfigurationen existieren bzw. vorstellbar sind, die alle unter dem Oberbegriff der MMS subsummierbar sind. Und damit wird auch deutlich,

dass die in dieser Arbeit näher zu untersuchenden AS eine Teilmenge der MMS sind. Gleichzeitig ist es jedoch wichtig zu betonen, dass für Gestaltungsaufgaben von MMS **beide** Seiten dieser Kombination aus *Mensch* und *Maschine* gleichwertig zu betrachten sind, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Aus welcher Richtung die Betrachtung dabei beginnt ist unerheblich.

Häufig wurde bzw. wird ein MMS mit einem Mensch-Computer-System gleichgesetzt, so u. a. bei BOWMAN: „*Die MMI beobachtet den Ablauf der Kommunikation zwischen menschlichen Nutzer und dem Computer (oder Technologie im Allgemeinen). Zielgerichtete Aktivitäten, Absichten, Ziele und Fragen werden an dem Computer gerichtet. Dieser wiederum übermittelt dem Benutzer Informationen und Antworten auf die Fragen des Nutzers.*“ (Bowman 2005)

Diese Gleichsetzung von MMS mit Mensch-Computer-Systemen führt zu einer Einschränkung der Mensch-Maschine-Interaktion auf die Interaktion des Menschen mit einem Computer (Mensch-Computer-Interaktion bzw. Human-Computer-Interaction, HCI) und seinen Peripheriegeräten. Tatsächlich ist es so, dass die eigentliche Schnittstelle zwischen einer wie auch immer gearteten Maschine und dem Menschen häufig durch einen Computer (in durchaus viestalteter Form) mit verschiedensten Peripheriekomponenten realisiert wird. Die vom Menschen tatsächlich zu lösenden Aufgaben gehen aber über die Computerbedienung zumeist weit hinaus (Beispiel Kraftfahrzeug), und weiter oben wurde auch bereits dargelegt, dass der Lösungsraum für die Gestaltung und Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion um ein vieles größer ist als bei einer bloßen Betrachtung der HCI. Damit entfällt auch der sich möglicherweise aufdrängende Umkehrschluss, dass nämlich die Gestaltung von MMS und deren Nutzerschnittstellen vornehmlich oder ausschließlich eine Aufgabe der Informatik und somit für Programmierer bzw. Software-Entwickler ist.

Ein wesentlicher Bestandteil eines jeden MMS ist die Nutzerschnittstelle, die auch als Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. Mensch-Maschine-Interface (MMI) bezeichnet wird (s. Abbildung 2-2). Um die notwendige Interaktion mit der Maschine zur (gemeinsamen) Aufgabenerfüllung überhaupt ausführen zu können, muss diese Schnittstelle nach JOHANNSEN immer mindestens Anzeige- und Bedienelemente enthalten (Johannsen 1993). Verallgemeinernd

und mit Blick auf mögliche sich in der Zukunft etablierende Technologien kann das erweitert werden auf Ein- und Ausgabeelemente bzw. -geräte.

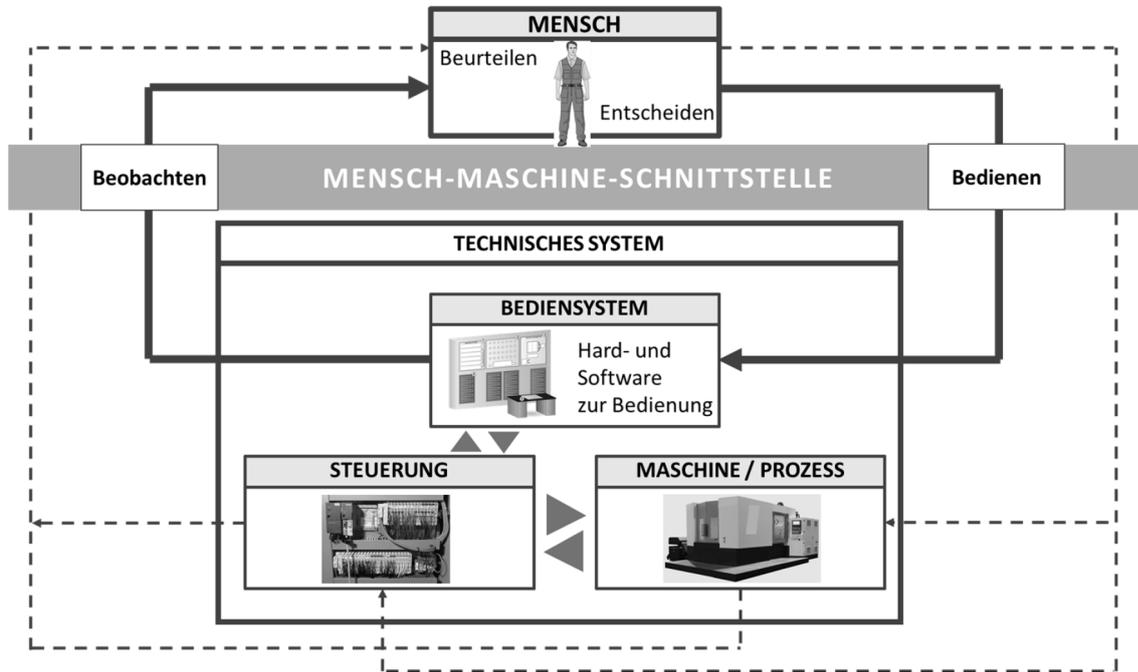


Abbildung 2-2: Darstellung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle nach VDI / VDE 3850-1 (VDI / VDE 3850 2002, S. 4)

Im Weiteren werden gebräuchliche Anzeigen (Ausgabeelemente) und Eingabegeräte bzw. -elemente bzw. aufgrund der Vielfalt der technologischen Lösungen typische Vertreter für Ein- und Ausgabegeräte näher vorgestellt.

2.1.2 Eingabegeräte

Eingabegeräte als ein wesentlicher Teil des MMI werden am häufigsten nach ihren Wirkprinzipien und der Zahl der steuerbaren Freiheiten eingeteilt. Eine weitergehende Einteilung nach den jeweils zu nutzenden physiologischen Stellgliedern und Sinnesmodalitäten ist im Sinne der Mensch-Maschine-Dichotomie ebenso sinnvoll. (vgl. auch Hecht 2008, S. 37 ff.) Damit können auch Eingabegeräte für spezielle Nutzergruppen wie Blas- und Blicksteuerungen oder für spezielle Anwendungsfälle wie Spracheingabegeräte beschrieben werden. Diese speziellen Formen werden im Weiteren jedoch nicht mehr betrachtet, da sie aufgrund ihrer speziellen Anwendungsbereiche wie auch technischen Umsetzung wenig gestalterischen Spielraum im Sinne dieser Arbeit lassen.

Bei einer Einteilung nach dem nutzbaren Freiheitsgrad spricht man von Ein- und Mehrkoordinateneingabegeräten. Diese können kraft-, weg-, winkelbasiert oder mittels Beschleunigungsgebern arbeiten, was der Einteilung nach dem jeweiligen physikalischen Wirkprinzip entspricht. Neben diesen grundlegenden Wirkprinzipien gibt es weitere Parameter zur Beschreibung der Eingabegeräte, die vor allem für die Nutzerzufriedenheit mit diesen Eingabegeräten bestimmend sind, wie der wahrgenommene Betätigungswiderstand (als Maß für die Rückkopplung der Eingabeaktion), die Unterscheidung in aktive und passive Systeme sowie die Art der Bewegungstransformation (s. Zhai 1995, Bowman 2005, DIN EN ISO 9241-400:2007).

Nutzbarer Freiheitsgrad:

Man unterscheidet zwischen ein- und mehrdimensionalen Eingabegeräten, bei den mehrdimensionalen noch einmal nach der Zahl des steuer- bzw. nutzbaren Freiheitsgrades von 2D bis 6D. Beispiele für eindimensionale Geräte sind Taster oder Schalter, ein typischer Vertreter für 2D-Eingabegeräte ist die Maus und für Eingabegeräte höherer Dimensionsordnung z. B. der Joystick (3D) oder der CadMan (6D). Beispiele für diese verschiedenen Arten der Eingabegeräte sind in der Abbildung 2-3 zu sehen.



Abbildung 2-3: Beispiele für Eingabegeräte mit verschiedenen Freiheitsgraden

Von links oben nach rechts unten:

- eindimensionaler Taster [Conrad Electronic]
- zweidimensionale Computermaus [Microsoft]
- dreidimensionaler Joystick (Arcade Competition Pro First [Wikimedia1])
- sechsdimensionale Spacemouse [Spacemice.org]
- dreieinhalbdimensionales Eingabegerät (Personalisiertes miniaturisiertes Dosimeter PMD [eigene Aufnahme])

Eine Sonder- bzw. Mischform bildet das in der Abbildung rechts unten stehende Eingabeelement, das man als 3,5D-Eingabegerät ansehen kann (Eigenentwicklung durch Kombination eines Trackballs mit drehbarem Außenring).

Aktive und passive Systeme:

Aktive Eingabegeräte erzeugen eine Aktion nur durch unmittelbare Nutzeraktivität („Aktion“). Das gilt für alle gängigen hand- und fußbetätigten Computer-Eingabegeräte oder Maschinensteuerungen.

Passive Geräte benötigen keine direkte Nutzeraktivität und können Eingaben auch ohne Berührung erzeugen. Hierzu zählen vor allem neuere sog. Brain-Computer-Interfaces.

Spracheingabesysteme und kamerabasierte Gesteneingaben (Nintendo Wii™, Microsoft® Kinect®) oder auch das MYO™ (Gestenerkennung durch Ableitung der Muskelaktivität am Unterarm¹) sind Mischformen aus aktiven und passiven Systemen. Sie benötigen zwar keinen direkten Kontakt des Nutzers mit dem Eingabegerät, jedoch muss dieser trotzdem gezielte Aktionen ausführen.

Systemimmanentes Wirkprinzip:

„Isometrische“ Eingabegeräte bewegen sich selbst nicht (entspricht einem unendlich hohen Widerstand), sie übersetzen die auf sie wirkende Kraft oder andere analoge Größen wie z. B. Druck in eine Eingabegröße (z. B. Touchpad, Touchscreen, im weiteren Sinne auch Trackpoint).

„Isotonische Geräte“ können weitgehend frei bewegt werden und übersetzen dabei die aufgenommenen Wegdaten in Eingabegrößen, z. B. Mausbewegung, in die Zeigerbewegung. Weitere Gerätebeispiele dafür sind der Wii™-Controller oder die LG Magic Motion Remote.

Zwischen den beiden Polaritäten isotonisch und isometrisch gibt es eine Reihe von Mischformen. Dabei gibt es „elastische“ Geräte, die ihren Widerstand kontinuierlich in Abhängigkeit von der Auslenkung erhöhen (z. B. Cadman), bei „viskosen“ Geräten führt eine unterschiedlich starke Geschwindigkeitsänderung der Eingabebewegung zu einem unterschiedlich hohen Widerstand,

¹ Für weitergehende Informationen: <https://www.myo.com/>

und „inertiale“ Geräte reagieren auf Beschleunigungsänderungen. Zudem können auch noch Rückkopplungen wie bei Force Feedback-Geräten integriert sein.

Typologie nach der jeweils erfassten Größe:

Hierbei können die Geräte nach folgenden Typen der jeweils genutzten physikalischen Größe unterschieden werden: Druck, Bewegung, Position, Schall (als Sprache, Frequenz, Tonhöhe oder Lautstärke) und optischen Merkmalen (Form, Farbe oder Helligkeit).

Geräte zur Positionserfassung und Geräte mit Bewegungserfassung

Zu den Geräten zur Positionserfassung werden Grafiktablets und Touchscreens gezählt, Bewegungserfassung findet z. B. bei Computermäusen, Trackball oder Joystick statt. Dazwischen gibt es auch Mischformen wie beim Touchpad, das sowohl zur Positions- wie auch zur Bewegungserfassung geeignet ist.

Weitere zur Beschreibung und damit Gestaltung relevante Parameter:

- Art der Ausführungskontrolle
(einmalig, kurzzeitig oder dauerhaft, ist aber häufig in die Ausgabeeinheit integriert).
- Güte der Auflösung bzw. Samplingrate
(wie gut bzw. wie fein wird die Eingabeaktion aufgelöst und zur Maschine übertragen).
- Latenzzeit
(Zeit zwischen Eingabeaktion und Auslösung der gewünschten Systemreaktion, sollte möglichst gering bzw. nicht bemerkbar sein).
- Control-to-display-ratio
(bei Geräten, die mit einem Monitor bzw. einer Displayeinheit gekoppelt sind, gibt das Verhältnis zwischen zurückgelegtem Weg mit dem Eingabegerät und dem zurückgelegten Wert auf dem Monitor an).

Eingabegeräte unterscheiden sich auch durch die Art der jeweiligen Werkzeugtransformation (Konzept von HEUER), d. h. durch das Verhältnis aus Körperbewegung des Nutzers und der Bewegung des Eingabegerätes (Heuer 1983 in Sutter 2006, s. Abbildung 2-4). Dabei kann man noch nach räumlich-zeitlicher und Bahntransformation unterscheiden. Dabei ist die

Bahntransformation die räumliche Verlagerung oder gleichzeitige Änderung der Bewegungsbahn des Eingabegeräts. Dabei treten drei unterschiedliche Fälle auf:

- Gleiche Bewegungsbahnen ohne räumliche Verlagerung (z. B. Touchscreen)
- Gleiche Bewegungsbahnen mit räumlicher Verlagerung (z. B. Maus, Touchpad)
- Unterschiedliche Bewegungsbahnen mit räumlicher Verlagerung (z. B. Trackball, Trackpoint)

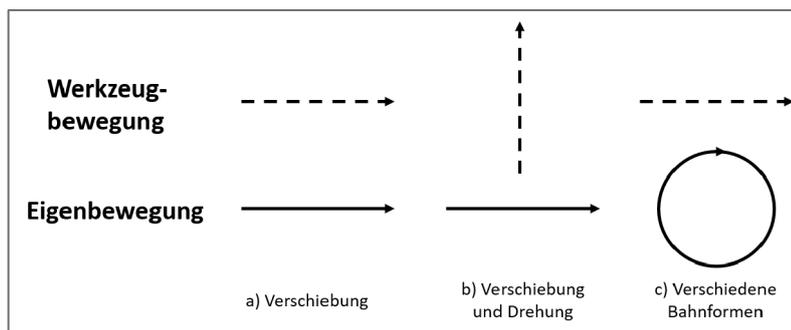


Abbildung 2-4: Varianten verschiedener Bahntransformationen (nach Heuer 1983)

Für die Gestaltung von Eingabegeräten (Interaktionsgeräten) ist die wesentliche Aufgabe entscheidend. ZÜHLKE & KRAUß haben diese Aufgaben in drei grundlegende Teiloperationen unterteilt:

- Positionieren (Bewegen)
Mittels einer Positionieroperation wird das Positioniersymbol auf dem Bildschirm zu einem Zielobjekt bewegt.
- Selektieren (Auswählen)
Mittels einer Schaltoperation wird ein Zielobjekt ausgewählt.
- Aktivieren (Auslösen)
Das Schaltelement wird losgelassen und die Funktion des Zielobjektes ausgelöst.

(Zühlke & Krauß 1999)

Aus den drei Grundoperationen lassen sich weitere komplexere Funktionen zusammensetzen. So ist das Manipulieren ein gleichzeitiges Positionieren und Aktivieren.

2.1.3 Anzeigeelemente und –geräte

Ausgabelemente sind immer nur indirekte Anzeigen des Systemzustands, da sie durch eine Kette von Zustandsaufnehmern, Informationsübertragungs- und –aufbereitungskomponenten, eine Codierung und teilweise (bei höher komplexen Systemen) auch Vorauswahl bzw. diverse Vorverarbeitungsschritte aufgrund des Informationsumfangs nur ein mehr oder weniger gutes Abbild eines bestimmten Momentes an den Nutzer liefern (bzw. bei leistungsstarken Systemen auch online, also in Echtzeit). Diese Indirektheit hat allerdings neben dem Nachteil der fehlenden Verifizierbarkeit der dargebotenen Informationen durch den Nutzer auch Vorteile. So gibt es neben der möglichen Skalierbarkeit und genauen Quantifizierbarkeit auch die Darstellung verschiedenster für den Menschen sonst nicht wahrnehmbarer Qualitäten. Außerdem ergibt sich durch die Nutzung neuerer Technologien z. B. aus der Telematik die Möglichkeit zur Fernüberwachung von Maschinen und Systemen (besonders in gefährlichen bzw. gesundheitskritischen Bereichen von Bedeutung).

Neben den indirekten gibt es aber auch noch direkte Ausgaben, die unmittelbar dem Nutzer bzw. Bediener den tatsächlichen (und zeitaktuellen) Zustand vermitteln (vgl. Johannsen 1993, Timpe et al. 2000). Dazu gehören Geräusche, Vibrationen, Positionen oder auch Farbveränderungen (bspw. bei Erhitzung). Deshalb ist ein Design, welches auch die Möglichkeit einer direkten Wahrnehmung des Systemzustandes beinhaltet, in jedem Falle zu bevorzugen.

Eine ähnlich große Vielfalt der Prinzipie und Ausgestaltungsformen wie bei den Eingabegeräten findet man auch bei den Ausgabegeräten. Besonders zu berücksichtigen ist dabei jedoch der Trend der Verschmelzung beider Systeme zu einem gemeinsamen neuen, wie es die heute bereits vielfältig genutzten Touchscreens darstellen. Es gibt mittlerweile kaum ein Einsatzgebiet, in dem diese Technologie die klassischen Ein-/Ausgabegeräte nicht bereits abgelöst hat oder zumindest in Konkurrenz zu diesen steht. Exemplarisch seien dabei Bedienfelder für Haushaltsgeräte (Küchen-, Spül- und Waschmaschinen, Espressomaschinen oder Wäschetrockner) genannt, genauso Heimelektronik (Foto- und Videokameras, Hifi- und Heimkinosysteme), Bedienfelder bei Kiosksystemen (EC- und Fahrkartenautomaten) oder Werkzeugmaschinen (Bearbeitungszentren, CNC-Maschinen) sowie letztlich auch Multimedia- und Bediensysteme in Fahrzeugen (Navigationssysteme, Radio-Navigations-

Klima-Steuerzentralen, Bedien-und Anzeigesysteme in Flugzeugen, Zügen oder Schiffen etc.).

Neben den klassischen Anzeigeelementen wie Lampen bzw. LED, beleuchteten Drucktastern, Zeiger- oder Balkenanzeigen haben sich vielfältige Displayformen vor allem durch die starke Verbreitung von Computern etabliert. Diese in der Vergangenheit als CRT-Monitore² ausgeführten Displays in monochromer (grün/weiß oder schwarz/weiß) oder farbiger Version sind heute fast vollständig durch TFT- bzw. LCD-Displays³ abgelöst worden (Beispiele s. Abbildung 2-5). Diese werden in der Regel farbig verwendet, es gibt aber ebenfalls verschiedene monochrome Ausführungen. Daneben existieren für großflächige Anzeigen auch noch Plasmadisplays und Großbildprojektionen, auf die nicht näher eingegangen werden soll. Zunehmend finden sog. OLED (Organic Light Emitting Diode) als Display bei kleinen portablen Geräten Verwendung (z. B. Handys/Smartphones, Tablet-PC, kleinen Anzeigen an Multimediageräten oder diversen Maschinen, s. Abbildung 2-6). Diese zeichnen sich durch große Helligkeit bzw. geringeren Energieverbrauch bei gleichguter Helligkeit und hohem Kontrastverhältnis gegenüber den bisher genutzten LCD- bzw. TFT-Anzeigen aus. Durch die nicht benötigte Hintergrundbeleuchtung („backlight“) sind sie sparsamer im Energieverbrauch und können zudem auch mit sphärisch gekrümmten Oberflächen einfach hergestellt werden, da die Polymerträgerfolien dünn und flexibel gestaltet sein können. Außerdem sind die Reaktionszeiten etwa um den Faktor 1.000 schneller als es die schnellsten LCD realisieren können.

² CRT: (engl.) cathode ray tube - Kathodenstrahlröhre

³ LCD: (engl.) liquid crystal display – Flüssigkristallanzeige. In der Werbung existiert noch der Begriff LED-Monitor (bzw.) Fernseher, bei dem es sich lediglich um einen LCD-Monitor mit LED-Backlight handelt.

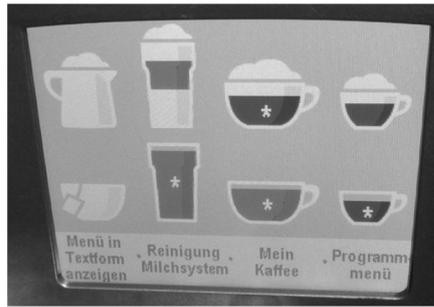


Abbildung 2-5: Verschiedene Anzeigeelemente in LCD- bzw. Touchscreen-Technologie

- oben links: Kaffeevollautomat [eigene Aufnahme],
- oben rechts: Bordcomputer BMW R1200RT [Wikimedia2],
- unten links: CNC-Werkzeugmaschine [caliper2PC.de],
- unten rechts: Labornetzteil [eigene Aufnahme]



Abbildung 2-6: links: Freiform-OLED in verschiedenen Ausführungen als Fahrzeugleuchten eines Conceptcars; rechts: Anwendung eines OLED in einem Smartphone (links: IFA 2013 [elektronikpraxis vogel]); rechts: [eigene Aufnahme]

Die Abbildung 2-7 zeigt am Beispiel eines Flugzeugcockpits (Airbus A380) die Verschmelzung einer Vielzahl von Ein- und Ausgabeelementen zu hochkomplexen Bedienkonsolen. Alle Arten der vorab beschriebenen Elemente sind in dieser Konsole präsent. Damit werden zum einen vielfältige Interaktionsformen möglich, zum anderen bedarf es aber auch einer weitreichenden Eingewöhnung zur Beherrschung dieser komplexen Systeme und ihrer Bedienung.



Abbildung 2-7: Beispiel für die Vielfalt und Kombinationsmöglichkeiten verschiedenster Ein- und Ausgabegeräte in einem aktuellen Flugzeugcockpit (Airbus A380 [airwaysnews.com])

2.2 Assistenzsysteme

Ob ein System als AS zu bezeichnen ist oder nicht lässt sich nicht allein vom Namen herleiten, da mit diesem Begriff zum Teil sehr inflationär umgegangen wird, ohne die tatsächliche Bedeutung zu hinterfragen. Um aber erfolgreich während der Entwicklung eines AS gestalterisch einwirken zu können bzw. zur Beschreibung eines neuen Konzepts zum Entwurf von AS, ist zuerst erforderlich, eine handhabbare Definition für den Begriff „Assistenzsystem“ zu finden. Damit wird das spätere Anwendungsgebiet des neuen Konzepts abgegrenzt.

Als Herangehensweise zur Klassifizierung bietet sich einmal die Untersuchung technischer Realisierungen an (so u. a. bei Johannsen 1986). Etliche andere Autoren gehen allerdings den Weg über die Charakterisierung des Automatisierungsgrades eines technischen Systems. Da dieser Ansatz erfolgversprechend erscheint, wird er deshalb auch im Weiteren knapp vorgestellt.

2.2.1 Definition von Assistenzsystemen

Der Begriff des Assistenzsystems findet sich in der Literatur und im technischen Sprachgebrauch seit der zunehmenden Automatisierung auch alltäglicher Technikgebiete etwa seit Anfang der neunziger Jahre wieder. Dabei gibt es aber nach wie vor keine allgemeingültige Definition dieses Begriffes⁴ (s. (Wandke 2005). HAUB und TIMPE versuchen sich dieser Definition zu nähern, indem zuerst der Grad der Automatisierung und danach die Rolle des Operateurs in automatisierten Systemen (also des Menschen als Bestandteil der MMS) bestimmt werden (s. Hauß & Timpe 2000). Im Umfeld von automatisierten Systemen wie eben auch bei MMS tauchen neben dem Begriff des AS auch weitere Bezeichnungen wie Unterstützungssystem, Expertensystem, Kiosksystem oder Hilfesystem auf. Dabei handelt es sich teilweise um Schnitt-, Teil- oder Untermengen, auf eine weitere Erklärung bzw. Abgrenzung dieser Systeme gegenüber AS wird hier verzichtet.

Grundsätzlich sollten in einem AS natürlich auch Assistenzfunktionen abgebildet sein bzw. durch diese bereitgestellt werden. Nach KIRSTE sollten es diese Assistenzfunktionen dem Nutzer erlauben, eine leichte und effiziente Interaktion mit technischen Systemen und Infrastrukturen zu ermöglichen, um sie optimal für die persönliche Umfeldsteuerung einsetzen zu können (Kirste 2001). Die notwendige Intelligenz wird durch das System über die Verarbeitung nutzerbezogener Daten (sog. „Nutzerprofile“) erlangt und über die Bereitstellung von Diensten und Informationen realisiert (Gerhard 2008).

Viele der zu den AS gezählten Systeme und technischen Einrichtungen arbeiten mehr oder weniger automatisch ohne Nutzereingriff, mitunter sogar ohne eine Nutzerüberwachung oder die Möglichkeit, dass der Nutzer den aktuellen Systemzustand überhaupt erkennen kann. Diese Eigenschaft entspricht jedoch nicht den Zielkriterien im Sinne dieser Arbeit, die dem Nutzer immer die letzte Entscheidung bei der Nutzung eines AS einräumen soll. Damit ist es aber notwendig, den jeweiligen Automatisierungsgrad des technischen Systems zur

⁴ Das Wort „Assistenz“ leitet sich aus dem Lateinischen ab (aus der Zusammensetzung von „ad“: hin, zu und sistere: hinstellen) und bedeutet in etwa „Hilfestellung“.

Assistenz zu kennen bzw. zu bestimmen. Die Möglichkeiten dazu und Verwendung zur näheren Bestimmung eines AS soll im Weiteren kurz erläutert werden. Dazu gibt es einige Ansätze, die z. T. aufeinander aufbauen.

HAUß & TIMPE versuchen eine Definition der AS zuerst über die Definition des (technischen) Unterstützungssystems und anschließend über die Bestimmung des Automatisierungsgrades des betrachteten technischen Systems (also des MMS) zu erreichen. Der Automatisierungsgrad wurde grundlegend bereits 1969 von BRÖDNER wie folgt beschrieben:

„Der Automatisierungsgrad eines Fertigungssystems ist der Quotient aus der Teilmenge der in dem System nach einem festlegbaren Programm selbstständig ablaufenden Programmschritte bezogen auf die Gesamtmenge der in dem System ablaufenden Programmschritte.“ (aus Brödner 1969)

Da diese Definition eine schwer anwendbare Maßzahl ergibt, befassten sich weitere Autoren (u. a. Kraiss 1998 und Wei et al. 1998) mit der Überarbeitung und Erweiterung dieser Bestimmung des Automatisierungsgrades. Die Berechnung des Automatisierungsgrades nach WEI erfolgt mit der folgenden Formel [1].

$$A = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N t_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad [1]$$

Formel 1: Mathematische Formulierung des Automatisierungsgrades nach WEI (s. Wei et al. 1998)

Jeder Aufgabe i wird dabei ein Gewicht (w_i) als Repräsentation der qualitativen Aspekte dieser Aufgabe zugeordnet. Für die Festlegung dieser Gewichte gibt es wiederum verschiedene Möglichkeiten, die in (Wei et al. 1998) beschrieben sind. Für unterschiedlich stark automatisierte Aufgaben ändert sich der Allokationsindikator t_i vom Wert 0 für voll automatisierte zum Wert 1 für vollständig manuell ausgeführte Aufgaben. Andere Autoren legen sogenannte Automatisierungsstufen mit zugehörigen Taxonomien fest, bei denen die operateurseitigen kognitiven Prozesse den maschinengebundenen (datenverarbeitenden) Schritten qualitativ gegenübergestellt werden (vgl. dazu u. a. Endsley 1997, Sheridan & Verplank 1978, Hauß & Timpe 2000 und Blutner et al. 2009). Weit verbreitet ist die zehnstufige Taxonomie von Sheridan zur Bestimmung der Entscheidungsunterstützung (Sheridan 1989 bzw. Sheridan

1997), wie sie der folgenden Tabelle 2-1 zu entnehmen ist.⁵ Diese ist aufgrund ihrer klaren Formulierung auch gut praktisch nutzbar.

Tabelle 2-1: Zehn Stufen der Funktionseinteilung einer Entscheidung zum Benutzereingriff in einem Prozess (Sheridan 1997, S. 92)

1	The computer offers no assistance: the human must do it all.
2	The computer offers a complete set of action, and
3	narrows the selection down to a few, or
4	suggests one alternative, and
5	executes that suggestion if the human approves, or
6	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
7	executes automatically, then necessarily informs the human, or
8	informs the human only if asks, or
9	informs the human only if the computer decides to.
10	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human.

Durch BLUTNER wurden diese Taxonomien übertragen und an AS bzw. Systeme zur Verteilung von Entscheidungen zwischen Menschen und Computern angepasst (s. folgende Liste).

1. keine Unterstützung durch Computer (C), Mensch (Human - H) macht alles,
 2. C bietet Handlungsalternativen an,
 3. und schränkt Auswahl ein,
 4. Vorschlag einer Alternative,
 5. Ausführung des Vorschlags nach Bestätigung durch H
 6. H hat nur noch Vetorecht, sonst Ausführung,
 7. automatische Ausführung und Information von H,
 8. Information nur nach Anfrage durch H,
 9. Information nur nach Entscheidung durch H,
 10. C entscheidet und handelt autonom, H wird ignoriert.
- (Blutner et al. 2009, S. 243)

⁵ Auch wenn in diesen Werken häufig der Bezug auf den Computer als „Maschine“ genommen wird, so lässt sich doch jeder dieser Ansätze direkt auch auf allgemeine MMS beziehen.

Im Sinne der Bestimmung des Automatisierungsgrades gilt als ein Unterstützungssystem nach HAUß & TIMPE somit: „[...] ein informationsverarbeitendes technisches Gebilde, das die Aufgabenerfüllung eines Operateurs in einem Mensch-Maschine-System dadurch fördert, dass es bestimmte, für seine Zielerreichung notwendige, Teilaufgaben innerhalb seiner Gesamtaufgabe übernimmt und/oder ausführt.“ (Hauß & Timpe 2000, S. 51). Damit kann man ein Unterstützungssystem als die Gesamtmenge und Assistenz-, Hilfs-, Entscheidungshilfe- und Kiosksysteme als eine oder mehrere sich teilweise überschneidende Untermengen verstehen. In der Übertragung auf die Taxonomien zur Bestimmung der Entscheidungsunterstützung bedeutet diese Kategorisierung, dass ein Unterstützungssystem zwischen den beiden Polaritäten „manuelles System“ und „(voll) automatisiertes System“ angesiedelt ist (vgl. auch Bubb 1993). Zur Differenzierung zwischen Unterstützungs- und Assistenzsystem kann man sagen, dass ein AS keine eigenen Entscheidungen, Diagnosen oder Kommandos (zur Routenführung in Befehlsbäumen, aber auch in realen Kontexten) treffen kann und soll. Diese Auffassung wird von vielen Autoren vertreten, sie findet sich z. B. bei SPECHT und FREDRICH: „Assistenzsysteme zielen auf eine erfolgreiche Kooperation zwischen Mensch und Maschine, indem sie Vorgehensweisen zur Lösung eines Problems vorschlagen.“ (Specht 1989, Fredrich 1995).

Ein AS soll also in ständiger Interaktion mit dem Operateur Handlungsalternativen aufzeigen und nach Wunsch (z. B. durch menügesteuerte Vorauswahl oder auf Bestätigung) auch automatisiert ausführen. Wenn man diese Festlegungen zugrunde legt, dann handelt es sich bei einem AS um eine Untermenge eines Unterstützungssystems mit einem Automatisierungsgrad nach Sheridan (s. Tabelle 2-1) von kleiner oder gleich fünf. Genauso wird deutlich, dass z. B. ein Anti-Blockier-System (ABS) an Kraftfahrzeugen kein AS ist (vgl. Hauß & Timpe 2000), da der Operateur keinen Einfluss auf die Ausführung der Aktion hat (und diese wäre auch nicht sinnvoll realisierbar, der Automatisierungsgrad nach Sheridan ist hier zehn). Zudem fehlt die Komponente der Interaktion zwischen System und Mensch vollständig. Andererseits kann ein gewöhnlicher Fahrradcomputer dadurch zum AS werden, dass er Daten eines mit ihm verbundenen Pulsgürtels empfängt, auswertet und danach Vorschläge über die zu fahrende Trittfrequenz oder die noch mögliche verbleibende Rest-

strecke unterbreitet, sofern er zusätzlich auch noch eine Nutzereingabe als Interaktionsform zulässt. Deswegen ist auch ein Entscheidungshilfesystem zur Bestimmung des bestmöglichen Verkaufszeitpunkts von Aktien anhand der Wertpapierkurse genauso wenig ein AS aufgrund der fehlenden Interaktionsmöglichkeit wie ein Fahrkartenautomat aufgrund fehlender Alternativen zur Entscheidungsunterstützung.

Zur besseren Verdeutlichung der getroffenen Definition und Eingrenzungen seien noch einige Beispiele für technische Realisierungen angeführt, wie sie nach dieser Definition von AS zu kategorisieren wären (s. Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Einteilung bekannter technischer Systeme anhand der Kriterien aus Kap. 2.2

Assistenzsystem	Kein Assistenzsystem
Auto-Navigationssystem	Aktienkursabhängiger Verkaufsagent
Einparkassistenten	Antiblockiersystem (ABS)
Fahrspurassistenten/Spurhalteassistenten (teilw.)	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)
Kraftwerks-, Blockwarten- oder Stellwerks-Informationssysteme	Antriebsschlupfregelung (ASR)
Fluglotsenunterstützungssysteme zur Konflikterkennung und -lösung (z. B. bei Separationsunterschreitungen)	Adaptive Cruise Control (ACC), weitere Abstandskontrollsysteme
Feuer- und Waffenleitsysteme im militärischen Einsatz	Adaptives Kurvenlicht
Assistenten in Softwarelösungen (z. B. Scan- und Kopierprogramme, Fotobearbeitung und -ausdruck)	Bremsassistenten
	Fahrkartenautomaten
	Interaktive Multimedia-Guides (z. B. Stadt- oder Museumsführer)
	Autopilot (Flugzeug)
	Industrieroboter
	Pflegeroboter (z. B. Care-O-bot®)
	Selbstfahrende Transportsysteme

Ein zentraler Bestandteil eines AS ist selbstverständlich die Implementierung von Assistenzfunktionen im engeren Sinne. Diese sollen dem Nutzer eine leichte und effiziente Interaktion mit dem oder den technischen System(en)

erlauben (s. Kirste 2001). Dabei wird diese Assistenzfunktion als „Intelligenz des Systems“ über die Bereitstellung von Diensten und/oder Informationen unter Verarbeitung des Nutzerprofils und Berücksichtigung der aktuellen Situation des Nutzers realisiert (Kontextsensitivität). Aus den Nutzerprofilen lässt sich der individuelle Informationsbedarf der Nutzer und die Art und Weise der gewünschten bzw. benötigten Informationsdarbietung extrahieren.

2.2.2 Nutzerschnittstellen von Assistenzsystemen

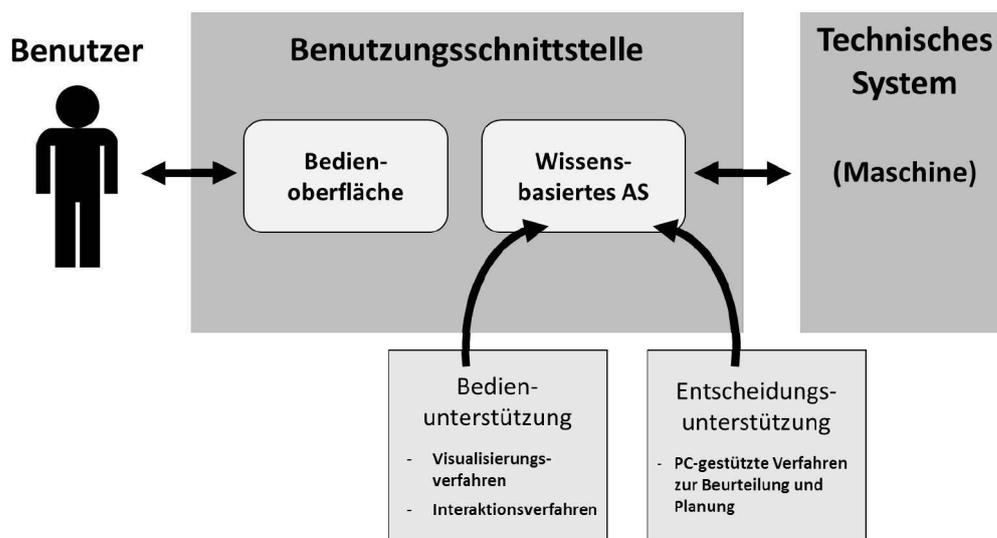


Abbildung 2-8: Konzept der Benutzungsschnittstelle (eigene Darstellung nach Grandt & Ley 2008, S. 91)

Die Nutzerschnittstellen sollen dem Nutzer eines AS wie bei jedem anderen MMS auch die Benutzung ermöglichen und vereinfachen, es sind also im Wesentlichen auf die *Benutzung* durch einen oder mehrere Nutzer ausgerichtete *Benutzungsschnittstellen*. Dieses Konzept der Benutzungsschnittstelle wird detailliert bei GRANDT & LEY beschrieben. Dabei ist die Benutzungsschnittstelle auf zwei Module aufgeteilt, einer Bedienoberfläche und einem (eigenständigen) AS, in welchem wiederum ein Teilsystem zur Bedienunterstützung und eines zur Entscheidungsunterstützung enthalten sind (s. Abbildung 2-8 und Grandt & Ley 2008, S. 91 f.). Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden als Nutzerschnittstellen entgegen diesem Konzept nur noch die Komponenten bzw. Module zur Bedienungunterstützung (Ein-/ Ausgabe) und die Benutzungsoberfläche betrachtet.

Als Nutzerschnittstellen kommt jede Art von Interaktionsformen und –möglichkeiten zwischen der Technik („Maschine“) und der sie nutzenden/bedienenden Person („Mensch“) in Frage. Insofern bilden vor allem die schon in 2.1.2 und 2.1.3 beschriebenen Ein- und Ausgabegeräte den größten Teil der in Frage kommenden Schnittstellen ab. Darüber hinaus gibt es jedoch eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten, die kaum vollständig aufgelistet werden könnten. Trotz dieser Vielzahl an Möglichkeiten haben sich für AS weitestgehend die grafisch unterstützten bzw. basierten Schnittstellen, die sog. graphic user interfaces (GUI), durchgesetzt. Diese können durch weitere (mitunter notwendige) Komponenten für die Interaktion mit anderen Sinnesmodalitäten kombiniert und erweitert werden. Heutige sog. Touchscreens bilden dabei ohnehin schon eine neue Klasse von Schnittstellen mit einer direkten Verkopplung von taktil-haptischer und visueller Interaktion, häufig noch unterstützt durch auditive Komponenten. Dadurch gewinnen zunehmend Aspekte des Multimedia-Designs und der Erkenntnisse aus Multimediaanwendungen eine Bedeutung für das Design von AS und deren Schnittstellen, ohne dass dieser Aspekt in der Arbeit weiterverfolgt wird.

Grundsätzlich gelten für das Design von Schnittstellen für AS dieselben Regeln und Grundsätze wie für allgemeine MMS. Insofern ist vor allem die DIN EN ISO 9241 mit ihren Teilen maßgebend für die Designziele.

Die Usability wird umfangreich in der Normenreihe DIN EN ISO 9241 definiert und auch beschrieben, wie sie erreicht werden kann. Zur Benutzungssicherheit zählen die Faktoren Verständlichkeit, Vorhersagbarkeit, Steuerbarkeit und Robustheit (gegen Fehler bzw. Fehlbenutzung). Fehlerfreiheit bedeutet vor allem, dass eine Schnittstelle die Nutzererwartungen hinsichtlich Sicherheitsanforderungen erfüllt.

Zur Beschreibung von Nutzerschnittstellen allgemein existieren mehrere Modelle, die jeweils unter verschiedenen Gesichtspunkten den Gestaltungsspielraum für die Entwickler verdeutlichen. In der folgenden Abbildung 2-9 ist das häufig genutzte Schichtenmodell nach MORAN zu sehen. Für den Entwickler stehen fünf Schichten (= Gestaltungsebenen) zur Verfügung, die sich dem Nutzer jedoch nur in den beiden Interaktionsschichten (Schicht 1 und 2) direkt vermitteln, weil nur diese unmittelbar wahrgenommen werden können.

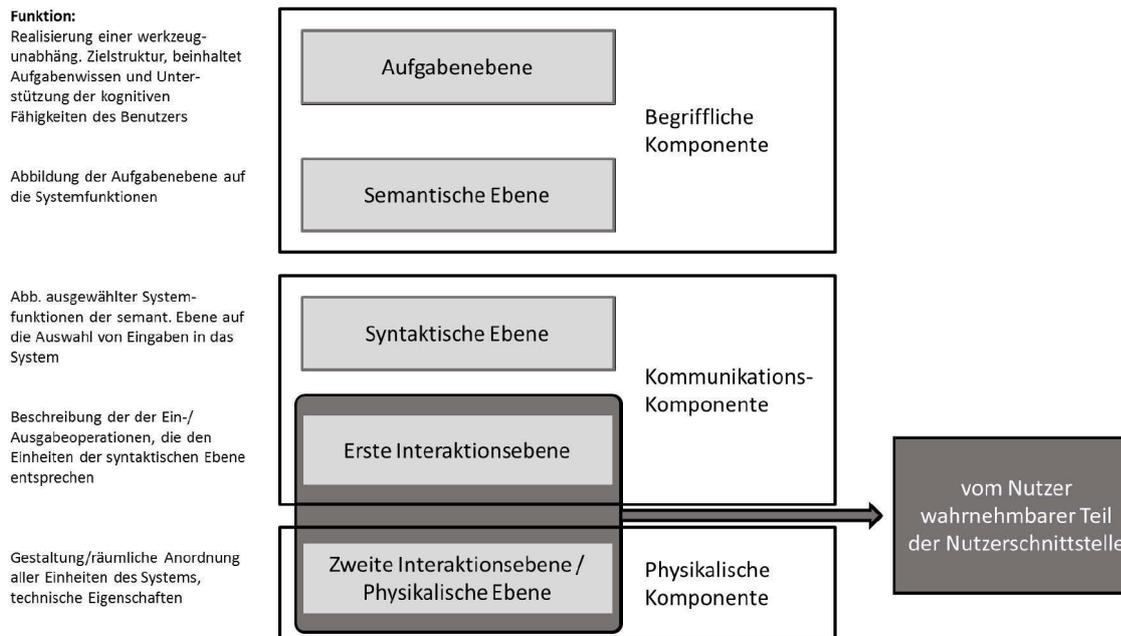


Abbildung 2-9: Schichtmodell der Nutzerschnittstelle (modifiziert aus Janson 2001, S. 16 nach Moran 1981, S. 3 ff.)

In vielen Anwendungen werden speziell für AS multimediale Inhalte für die Interaktion genutzt und bereitgestellt. Dabei sind jedoch weitere, zusätzliche Gestaltungsanforderungen zu berücksichtigen. Diese Designziele speziell für Multimediaanwendungen sind aus der EN ISO 14915-1:2002 übertragbar auf die Interfacegestaltung von AS. Dabei sollten vor allem auf Bereiche der Informationsverarbeitung des Menschen eingegangen werden, die folgende Aspekte beinhalten:

- Physiologie der menschlichen Sinne,
- Wahrnehmung und Motivation,
- Kognition und
- menschliche Kommunikation.

(Kiese-Himmel 2001, S. 7)

Außerdem sind für Steuerung und Anwendung von Multimedia in AS und deren Schnittstellen Möglichkeiten zur Exploration und die jeweilige Benutzungsmotivation zu berücksichtigen und ggf. gestalterisch zu beeinflussen. Der Einsatz von Multimedia sollte immer einen Zusatznutzen bringen, zudem darf die Verwendung von Multimedia für den Benutzer „nicht verwirrend, er-

mügend oder frustrierend sein“ (Kiese-Himmel 2001, S. 7). Multimediale Informationen sollten vor allem Interesse wecken (geeignet sein für Benutzungsmotivation), für das jeweilige Kommunikationsziel geeignet sein, und letztlich müssen die Informationen geeignet sein für Wahrnehmung und Verständnis (Klarheit, Lesbarkeit, Konsistenz, Unterscheidbarkeit der Elemente, s. Kiese-Himmel 2001).

2.2.3 Akzeptanz von Assistenzsystemen

Der Begriff „Akzeptanz“ bedeutet das Annehmen, Hinnehmen oder Anerkennen einer Sache oder Person⁶. Es beinhaltet damit also grundsätzlich eine Freiwilligkeit und Duldung dieses Objektes oder Subjektes. Somit kann Akzeptanz allgemein als Bereitschaft, etwas oder jemanden zu akzeptieren („anzunehmen“), definiert werden (vgl. Drosdowski 1997).

Die Akzeptanz eines technischen Systems ist letztlich der entscheidende Faktor für einen wirtschaftlichen Erfolg, da ein potentieller Nutzer nur ein System haben will und erwerben wird, dem er eine hohe Akzeptanz entgegenbringt oder das ihm von anderen Nutzern empfohlen wird, die selbst dieses System akzeptieren. Somit ist die erzielbare Akzeptanz eine entscheidende Zielgröße im Gestaltungsprozess. Die Akzeptanz eines AS wird beim potentiellen Nutzer vor allem über die Gestaltung der Nutzerschnittstelle erreicht, weswegen diese einen besonderen Stellenwert im Entwurfsprozess einnehmen sollte.

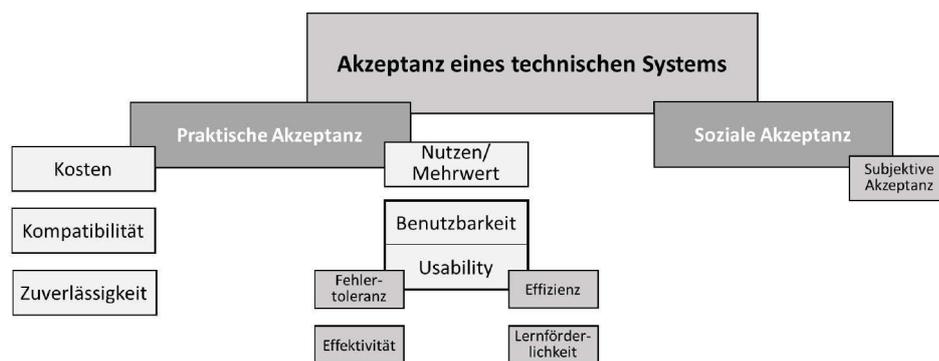


Abbildung 2-10: Komponenten der Gesamtakzeptanz eines Systems (eigene Darstellung nach Nielsen 1995)

⁶ Akzeptanz: aus dem Lateinischen von „accipere“ für gutheißen, annehmen, billigen

Aus der Abbildung 2-10 wird deutlich, dass die Akzeptanz (eines Systems) aus mehreren Komponenten besteht. NIELSEN formuliert dazu eine soziale und praktische Komponente der Systemakzeptanz. Gleichzeitig zeigt er auf, dass die meisten traditionellen Usability Guides nur Teilbereiche der Gesamtakzeptanz beschreiben und abdecken (s. Abbildung 2-10: Teilbereich Usability). Darüber hinaus gibt es aber eben auch noch weitere Faktoren, welche die praktische Akzeptanz beeinflussen, wie z. B. Kosten, Nutzen, Kompatibilität mit anderen Systemen und Zuverlässigkeit (Gerhard 2008). Auch für die soziale Akzeptanz gibt es verschiedene Faktoren, so u. a. neutrale oder auffallende Form- und Farbwahl, Markenbewusstsein, zeitlich veränderliche Trends („Mode“ bzw. „Life style“) und weiteres mehr. Diese sozialen Faktoren bilden den sog. Akzeptanzkontext, in dem die Akzeptanzsubjekte und –objekte stehen (müssen; vgl. dazu auch Lucke 1995). Trotz dieser weiteren Faktoren soll die Nutzerakzeptanz im Weiteren nur noch als praktische Akzeptanz der Unterkategorien Benutzbarkeit und Usability nach der Abbildung 2-10 angesehen werden, da dieser Bereich letztlich der ist, welcher über das in dieser Arbeit beschriebene Konzept NuGASSt gestalterisch beeinflusst werden soll. Das innerhalb der Entwicklung auch auf die anderen Faktoren Rücksicht und Einfluss genommen werden sollte bleibt davon unbenommen.

Um eine erfolgreiche Gestaltung hinsichtlich der späteren Akzeptanz einschätzen bzw. voraussagen zu können, haben sich innerhalb der Akzeptanzforschung verschiedene Verfahren entwickelt. Grundsätzlich müssen bei der Akzeptanzbewertung jedoch immer beide Dimensionen, also objektive und subjektive Anteile, bewertet werden. Die objektiven und damit objektivierbaren Anteile lassen sich über die Aufzeichnung der Nutzungshäufigkeit, durch Fehlerprotokolle mit Erfassung teilweiser und vollständig abgearbeiteter Tests bestimmen. Die subjektiven sind nach KRÄMER durch die Reaktionen der Nutzer auf das System zu beurteilen (s. Krämer 2003). Diese Reaktionen werden durch den Spaß bei der Nutzung beeinflusst, den sog. „joy of use“. Dieser wiederum beeinflusst stark die soziale Akzeptanz. Viele Unternehmen haben deshalb in ihren Entwicklungsprojekten die „klassischen“ Usability Goals um Aspekte erweitert, die den joy of use beeinflussen. GARRETT nennt dafür Begriffe wie „*to be fun, enjoyable, pleasurable, aesthetically pleasing*“ (Garrett 2008). Als Werkzeuge zur Bestimmung dieser sog. hedonischen Qualitäten (s. M. Hassenzahl in Dörner 2008, Hassenzahl 2002, Hassenzahl &

Beu 2001) stehen Verfahren wie das AttrakDiffTM von HASSENZAHL (UID User Interface Design GmbH) zur Verfügung⁷.

Grundsätzlich ist die Akzeptanz (eines Systems, Gerätes, einer Person oder eines Zustands) untrennbar verbunden mit der jeweils herrschenden Zufriedenheit mit dem betreffenden Objekt. Eine tiefere Betrachtung dazu liefert das Kapitel 4.2.4. Im Kontext von AS liefern vor allem die nach außen sicht- und wirksam werdenden Benutzerschnittstellen einen wesentlichen Beitrag zur Akzeptanz des Systems. Sie geben sowohl den sog. „ersten Eindruck“ als auch das bleibende Gefühl von Benutzbarkeit, Beherrschbarkeit, Innovationskraft, Individualität und tragen damit entscheidend zum Gesamteindruck bei.

2.2.4 Individualisierbarkeit von Assistenzsystemen

Wie im vorhergehenden Kapitel dargelegt wurde, spielt die Akzeptanz eines technischen Systems (also auch eines AS) eine wichtige Rolle für die Entscheidung zum Erwerb bzw. zur Nutzung dieses Systems. Diese Akzeptanz hängt in hohem Maße auch von der persönlichen Identifikation mit dem Produkt oder Gerät ab. In der Regel steht ein Gerät als fertige Version vor dem späteren Nutzer und kann durch ihn nur so verwendet werden, wie durch die Entwickler und Produzenten vorgesehen worden ist. Bei AS kann sich aber die Möglichkeit ergeben (und sinnvoll sein), dass der Benutzer auch im Nachhinein noch einen Einfluss auf dessen Erscheinungsbild hat. Man nennt diese Möglichkeit zur Adaption an persönliche Vorlieben, Gewohnheiten, Bedürfnisse, aber auch Maßnahmen zum Ausgleichen von Defiziten „Personalisierung“. Diese Personalisierung als Adaption an eine konkrete Person ist in der Erweiterung der Anpassung an eine unkonkrete Person (ein das System nutzendes Subjekt) auch als Individualisierung zu verstehen. Diese Sichtweise deckt sich mit der Definition der Individualisierbarkeit aus der Norm DIN EN ISO 9241-110:2008-09: „[..(etwas)⁸..] ist individualisierbar, wenn Benutzer die Mensch-System-Interaktion und die Darstellung von Informationen ändern können, um diese an ihre individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse

⁷ s. <http://attrakdiff.de/> (User Interface Design GmbH)

⁸ Vom Autor eingefügt

anzupassen.“ (DIN EN ISO 9241-110:2008-09, S. 15) Die einzelnen Möglichkeiten (in der Norm bezogen auf Darstellungs- und Ausgabevarianten in interaktiven Softwaresystemen) sollten sich in jedem Fall an der jeweiligen Aufgabe sowie dem Kontext, in den das System eingebettet ist, orientieren. Zudem gibt der Nutzer selbst die wesentlichen Rahmenbedingungen der Individualisierungsmöglichkeiten und –notwendigkeiten vor, man denke dabei nur an die Anpassung von Informationsausgaben an sensorische Defizite (wie eingeschränktes Hör- oder Sehvermögen).

Verschiedene Studien zeigen, dass durch eine Individualisierung (besonders im Bereich von AS) eine Erhöhung der Akzeptanz und Kundenzufriedenheit zu erreichen ist (vgl. Richter & Plümer 2003). Damit wird eine Möglichkeit zur Individualisierung aber auch zu einer Chance, die Kaufentscheidung positiv zu beeinflussen.

Aus diesen Forderungen der o. g. Norm wie auch aus eigenen Untersuchungen (s. Kap. 6 und 7) lässt sich eine wesentliche Gestaltungsanforderung an AS ableiten: die unbedingte Realisierung der Adaptierbarkeit an verschiedene Nutzer, deren Anforderungen und Wünsche. Aus der Umsetzung dieser Forderung resultieren eine hohe Gestaltungsgüte des neuentwickelten AS und ein damit einhergehender positiv wahrnehmbarer hoher Bedienkomfort für den potentiellen Nutzer. Da sich diese Forderung an den Anforderungen und Wünschen der Nutzer und nicht denen des technischen Systems orientiert, ergibt sich somit als Hauptforderung bei der Gestaltung von AS die nach einer menschengerechten Gestaltung.

„Könnte man die Sprünge der Aufmerksamkeit messen, die Leistungen der Augenmuskeln, die Pendelbewegungen der Seele und alle Anstrengungen, die der Mensch vollbringen muß, um sich im Fluß einer Straße aufrecht zu halten, es käme vermutlich – so hatte er gedacht und spielend das Unmögliche zu berechnen versucht – eine Größe heraus, mit der verglichen die Kraft, die Atlas braucht, um die Welt zu stemmen, gering ist, und man könnte ermessen, welche ungeheure Leistung heute schon ein Mensch vollbringt, der gar nichts tut.“

R. Musil: Der Mann ohne Eigenschaften

3 Menschliche Leistungsfähigkeit und psychophysische Eigenschaften

3.1 Relevante psychophysische Eigenschaften des Menschen

Es wurde bereits dargelegt, dass zur optimalen Gestaltung eines MMS sowohl die späteren technischen Merkmale, Funktionen und Eigenschaften bestimmt und festgelegt werden müssen, als auch, dass dem Gestalter die Eigenschaften, Fähigkeiten, Fertigkeiten und möglicherweise auch vorhandene Defizite des späteren Nutzers oder der avisierten Nutzergruppe bekannt sein müssen. Unter Ausnutzung der Kenntnisse über den Nutzer können seine Befähigungen und Eigenschaften optimal zur Aufgabenerfüllung ausgenutzt werden und zugleich über eine entsprechend den Wünschen und Bedürfnissen angepasste Gestaltung Frustration und Fehler vermieden werden.

Im Kontext der Gestaltung von AS und ihren Schnittstellen sind Kenntnisse über die menschliche Informationsaufnahme, -verarbeitung und -bewertung (s. auch Meißner & Engmann 2008), das Wissen über die Organisation und den Ablauf komplexer Wahrnehmungsformen oder deren Störung, sowie die grundlegenden Abmessungen des menschlichen Körpers, resultierende Körperkräfte (in den jeweiligen Perzentilen für Männer und Frauen) und allgemeine biomechanische Kenntnisse erforderlich. Dazu gehört auch die Berücksichtigung der Leistungsgrenzen (Schnelligkeit, Zielgenauigkeit bzw. feinmotorische Leistungsfähigkeit, Ausdauer Grenzwerte etc). Zusätzlich kann noch

Wissen über bestimmte Erkrankungen, körperliche oder kognitive Einschränkungen oder Besonderheiten bei Kindern und Jugendlichen erforderlich und hilfreich sein. Die Aufgabe der AS ist es dann, evtl. vorhandene Lücken zwischen der menschlichen Leistungsfähigkeit und den Anforderungen der jeweils zu erfüllenden Aufgabe zu schließen bzw. die vorhandenen Befähigungen optimal zu unterstützen. Das Ergebnis eines auf dieser Basis einer umfassenden Kenntnis der Leistungsfähigkeit beruhenden neuentwickelten AS ist ein sich ideal ergänzendes, menschliche und rechnergeführte Funktionen kombinierendes AS. Dieses würde die jeweiligen Vorzüge technischer wie biologischer Systeme in der Kooperation in sich vereinen.

3.1.1 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept ist ein theoretischer Ansatz, der die Möglichkeit bietet, menschbezogene Phänomene aus Arbeits- und Sportwissenschaften, Medizin und Biologie in einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zu bringen. Erste Überlegungen reichen weit ins vorige Jahrhundert zurück, so postulierte bereits BENNINGHOFF um 1925 eine notwendige Balance aus Reizen zwischen bestimmten Ober- und Untergrenzen zur Morphogenese des Bewegungsapparates. Und PAUWELS beschrieb die Einflüsse äußerer (mechanischer) Reize auf die verschiedenartige Ausprägung und sich dadurch einstellenden Eigenschaften menschlichen Stützgewebes (Pauwels 1960). Die nach ihm benannte Pauwels-Waage beschreibt dabei eigentlich ein biomechanisches Gleichgewicht als innere Reaktion auf eine von außen einwirkende (resultierende) Kraft (s. z. B. in Hüter-Becker & Klein 2005, S. 99). Im erweiterten Sinne kann dieses theoretische Konzept auf den gesamten Organismus und seine Umwelt angewendet werden, was zuerst ROHMERT ausführlich formulierte (Rohmert 1984) und später immer wieder aufgegriffen wurde (u. a. Witte & Fischer 1999 und Witte & Günther 1999). Der Grundgedanke dieses erweiterten Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts basiert auf Analogien zur Technischen Mechanik. Mit Belastung ist dort die Summe aller äußeren Kräfte und Momente gemeint, die auf ein Bauteil einwirken. Die resultierende Beanspruchung sind die sich daraus ergebenden inneren Spannungen. Diese sind u. a. abhängig von Geometrie und Werkstoffeigenschaften, aber auch im Extremfall von Umweltbedingungen. Aus diesen

Ansätzen hat ROHMERT ein mechanisches Ersatzmodell abgeleitet, welches in Abbildung 3-1 zu sehen ist (Rohmert 1984 in Schlick et al. 2010).

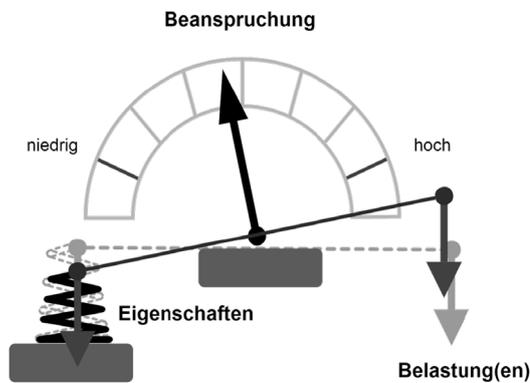


Abbildung 3-1: Mechanisches Ersatzmodell zur Erklärung des Belastungs-Beanspruchungsmodells (eigene Darstellung nach Rohmert 1984 in Schlick et al. 2010, S. 39).

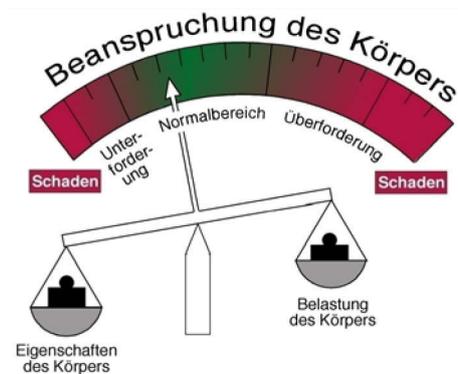


Abbildung 3-2: Belastungen werden durch (individuelle) Körpereigenschaften in Beanspruchung umgesetzt und können außerhalb des Normalbereichs Schäden hervorrufen (aus Witte & Günther 1999)

Wie zu erkennen ist, leitet sich das Modell der physiologischen Beanspruchung direkt aus dem mechanischen Analogon ab. In diesem Sinne werden als Belastung *alle* äußeren Merkmale z. B. einer Arbeitssituation verstanden (z. B. Arbeitsaufgabe, physikalische, chemische, organisatorische und soziale Umgebungsbedingungen, besondere Ausführungsbedingungen wie Zeitdruck o. ä., s. a. (Schlick et al. 2010). Die sich daraus (individuell unterschiedlich) ergebende Beanspruchung kann als Reaktion des Körpers auf diese Einwirkungen verstanden werden. Diese Reaktion (also die resultierende Beanspruchung) hängt immer von den Eigenschaften des Individuums ab, somit wird eine gleichartige Belastung in der Regel zu unterschiedlichen Beanspruchungen bei unterschiedlichen Personen führen (s. Rohmert 1983). Im Gegensatz zum technischen Vorbild ergibt sich für den menschlichen Organismus auch aus zu geringen Belastungen (entspricht einer Unterforderung) genauso ein zu hoher Beanspruchungszustand wie aus zu hohen Belastungen im Sinne einer Überforderung. Dieses Phänomen verdeutlicht die Abbildung 3-2 von (Witte & Günther 1999).

Für die o. g. allgemeinen Belastungen kommen in Arbeitsumgebungen verschiedene sowohl physische als auch psychische (kognitiv-mentale) Belastungen sowohl isoliert als auch kombiniert in Frage. Eine allgemeine Übersicht dazu bietet die folgende Abbildung 3-3 (aus Meißner & Engmann 2008 nach Schmidtke 1989).

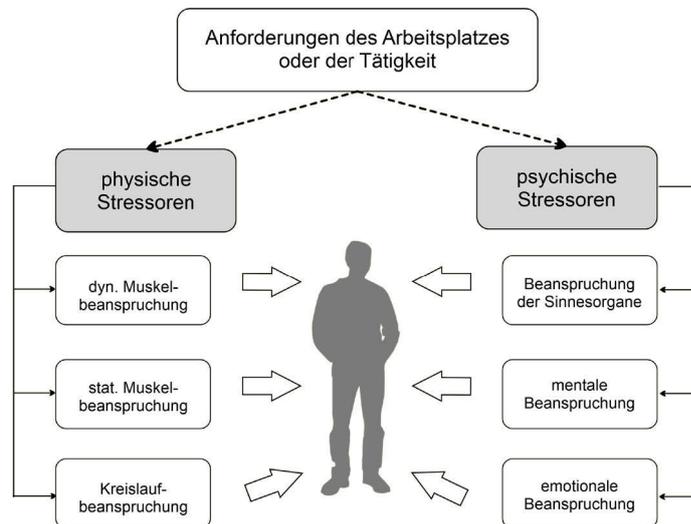


Abbildung 3-3: Auswahl möglicher auf den Menschen im Arbeitsprozess wirkende Belastungen (nach Meißner & Engmann 2008, S. 24)

Im Kontext von AS spielt das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept vor allem eine Rolle beim Erkennen von (kritischen) Systemzuständen und Entscheiden über notwendige Handlungen zur Beseitigung oder Korrektur dieser Zustände. Bei entsprechenden Überwachungsaufgaben treten genau solche Zustände der Unter- wie Überforderung auf. Als Beispiel sei der Pilot eines Flugzeugs genannt, der auf der einen Seite fast völlig von Aufgaben (zur Flugzeugführung) durch den Autopiloten befreit ist (= Unterforderung), und andererseits während einer technischen Störung evtl. sogar während des Landeanflugs eine Vielzahl von Abläufen parallel abhandeln muss (= mögliche Überforderung)⁹. Dabei muss er aus Fülle der anfallenden Informationen die aktuell wichtigsten und für die Aufgabenerfüllung relevanten herausfiltern, bewerten und damit Entscheidungen treffen. Problematisch hinsichtlich einer möglichen Überforderung ist es, dass die zentralen Informationsverarbeitungsprozesse (soweit sie weitergehende Entscheidungen erfordern) weitestgehend als einkanaliger

⁹ Beschrieben als „99 % Langeweile – 1 % Panik“ (s. Kraiss 1997)

Prozess ablaufen. Das steht im Gegensatz zu einer stark ausgeprägten Parallelisierung der gesteuerten Peripherie (= frühe Prozesse der Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie sensomotorische Regelkreise). Diese Kanaleinengung bedeutet eine Serialisierung des Ablaufs, was bei einer Zunahme der Anzahl zu treffender Entscheidungen incl. der dafür notwendigen Bewertungs- und Entscheidungsprozesse zu einem Konflikt mit hohem Fehlerpotenzial führen kann. (s. Schlick et al. 2010).

3.1.2 Perzeption (menschliche Wahrnehmung)

Mit Perzeption wird die Gesamtheit der menschlichen Wahrnehmung bezeichnet. Da es bei der Gestaltung von Nutzerschnittstellen immer auch um die bestmögliche Wahrnehmung von Reizen (als Träger von Informationen) geht, wird den Grundlagen der Wahrnehmung bzw. Perzeption ein etwas breiterer Raum in der Darstellung gegeben.

Allgemein unterscheidet man zwei verschiedene Arten der Wahrnehmung. Dies ist zum einen die Wahrnehmung der Um- und Außenwelt, welche als Exterozeption bezeichnet wird. Dem gegenüber steht mit der Enterozeption die Wahrnehmung der Vorgänge im Körper. Diese lässt sich noch in Propriozeption (Wahrnehmung der Bewegung und der Lage des Körpers bzw. seiner Teile im Raum) sowie Viszerozeption (Wahrnehmung der Organtätigkeit) unterteilen. (Guski 1989)

Die Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht über die menschlichen Wahrnehmungsqualitäten (= Sinnesmodalitäten) mit den jeweils notwendigen adäquaten Reizen zur Stimulierung, den zugehörigen Rezeptoren für die Wahrnehmung dieser Reize und die dadurch ausgelöste Empfindung. Für den Gestalter von AS ist es ein wesentlicher Bestandteil der Nutzeranalyse, den im jeweiligen Aufgabenkontext optimalen Interaktionskanal zu finden und dann passend zu den physiologischen Anforderungen auszunutzen. Damit ist die Notwendigkeit einer tieferen Beschäftigung mit den einzelnen Kanälen der menschlichen Wahrnehmung verbunden.

Tabelle 3-1: Menschliche Sinnesmodalitäten, jeweils zugehörige Reize, Rezeptoren, Sinnesorgane und Art der entstehenden Empfindung
(ergänzt und überarbeitet nach Schönflug & Schönflug 1995)

Sinnesmodalität	Adäquater Reiz	Organ bzw. Körperregion	Rezeptoren	Art der Empfindung
visuell	Elektromagnetische Wellen im Bereich von 380 nm bis 720 nm	Auge (<i>Retina</i>)	Photorezeptoren (Stäbchen und Zapfen: RGB)	Farbe, Helligkeit, Bewegung, Räumlichkeit
auditiv	(periodische) Luftdruckschwankungen im Bereich von 20 Hz bis 20 KHz	Ohr (Cochlea)	Innere und äußere Haarzellen im Corti-Organ	Lautstärke, Tonhöhe und weitere psychoakustische Größen
vestibulär	Flüssigkeitsverschiebungen und Absinken von Statolithen unter Schwerkrafteinfluss	Bogengänge und Statolithenorgane im Mittelohr	Haarzellen in <i>Sacculus</i> , <i>Utriculus</i> und den Bogengängen	Beschleunigungen (lineare und Winkelbeschleunigungen)
olfaktorisch	Moleküle einer bestimmten Konzentration in Gasen (je nach Stoffart ab 1 Molekül)	Nase (Regio olfactoria in der oberen Concha nasalis)	400 verschiedene Geruchsrezeptoren	Geruch (aber auch wesentlich an der Geschmackswahrnehmung beteiligt)
gustatorisch	(Gelöste) Moleküle in Flüssigkeiten (abhängig von Stoffart)	Geschmackspapillen in der Zungenoberfläche	Geschmackssinneszellen, morphologische Unterschiede nur auf Ebene der Rezeptormoleküle	Geschmack: süß, salzig, sauer, bitter, umami ¹⁰
taktil	Verformungen der Haut	Haut	Mechanorezeptoren	Druck, Berührung, Vibration
haptisch/kinästhetisch	Dehnungen von Muskeln und Bändern, Gelenkbewegungen	Muskeln, Bänder, Gelenke	Unterschiedliche Arten	

¹⁰ Weitere Geschmacksqualitäten wie alkalisch und metallisch sind (noch) nicht endgültig belegt

Die Enterozeption ist zwar an der haptischen Wahrnehmung beteiligt und somit indirekt für Gestaltungsaufgaben relevant, es gibt jedoch keine direkte Eingriffsmöglichkeit darauf, und somit lässt sich auch kein Ansatz für eine gezielte Unterstützung finden. Deshalb wird die Enterozeption im Weiteren nicht mehr betrachtet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Modalitäten noch näher beschrieben, sofern sie für den Inhalt der Arbeit relevant sind.

Die menschliche Wahrnehmung oder Perzeption beruht auf der jeweils für die einzelnen Sinnesmodalitäten adäquaten Stimulierung eines dafür spezifischen Rezeptors, welcher entweder selbst oder durch biochemische Vermittlung über Transmitter über ein nachfolgendes Neuron ein Aktionspotential auslöst. Dieses Aktionspotential wird als elektrischer Reiz über die neuronalen Strukturen zum Cortex in die jeweils spezialisierten Gebiete der Großhirnrinde weitergeleitet und dort verarbeitet. Diese Verarbeitung entspricht im Wesentlichen einem Vergleich mit bekannten „Mustern“, einer Zuordnung zu diesen oder dem Erlernen eines neuen Musters. (Schmidt & Schaible 2006)

Die Tabelle 3-2 gibt eine Übersicht über den Anteil und damit die Bedeutung der einzelnen Sinnesmodalitäten für die gesamte Perzeption sowie die dabei jeweils realisierbaren Informationsflüsse.

Tabelle 3-2: Übersicht über die Wahrnehmungssysteme und ihre Bedeutung für die menschliche Informationsaufnahme
(modifiziert nach Klinke et al. 2005, Bauer 2006 und Meißner & Engmann 2008)

Wahrnehmungssystem	Prozentualer Anteil an der Gesamtinformationsaufnahme	Anzahl der Rezeptoren	Möglicher Informationsfluss [bit/s]
visuell	83,0 %	ca. 6 Mio (Tagsehen), 110 Mio (Nachtsehen), etwa 1 Mio Ganglien	10.000.000
auditiv	11,0 %	30.000 (je 15.000 in jedem Ohr)	50.000
haptisch	3,5 %	500.000	1
olfaktorisch	1,5 %	ca. 20 Mio	100
gustatorisch	< 1,0 %	30.000 bis 250.000	10
propriozeptiv und vestibular	< 1,0 %	k. A. (prop.) bzw. ca. 4.000 (vest.)	k. A.

Da die einzelnen Wahrnehmungskanäle unterschiedlich stark an der gesamten Informationsbeschaffung des Menschen beteiligt sind (s. Tabelle 3-2), und zudem je nach Einsatzgebiet und Nutzungskontext des eingesetzten AS diese Kanäle unterschiedlich stark ausgelastet sein können, ist es auch eine wichtige Aufgabe der Gestaltung von neuen AS, den jeweils optimalen zur Verfügung stehenden Informationskanal zu identifizieren und über die Schnittstelle anzusprechen. Das kann auch einen temporären Wechsel des genutzten Kanals bedeuten und wird in der Regel nur über mehrkanalige Auslegung der Informationsdarbietung zu realisieren sein.

Visuelle Wahrnehmung („Sehsinn“)

Wie allgemein bekannt und auch aus der Tabelle 3-2 zu entnehmen ist, ist das Sehen unsere primäre und wichtigste Informationsquelle. Die als Sehen bezeichnete visuelle Wahrnehmung ist eine hoch dynamische, empfindliche und über einen großen Wertebereich effektiv ablaufende Repräsentation der dreidimensionalen Umwelt im Cortex. Sie erfolgt durch Aufnahme von Lichtquanten und Umwandlung in elektrische Signale, Vorverarbeitung, Weiterleitung mit Filterung und abschließender Verarbeitung und Interpretation dieser reizäquivalenten Signale im visuellen Cortex und anschließendem Vergleich mit Bekannten in höheren Arealen der Großhirnrinde. Eine genaue Kenntnis über den Vorgang des „Sehens“ ermöglicht die gezielte Anpassung visueller Schnittstellen an diesen physiologischen Vorgang und die damit festgelegten Rahmenbedingungen für die zu erbringenden Leistungen durch den Menschen bei der Nutzung der dafür vorgesehenen Schnittstellen.

Das menschliche Sehorgan kann in folgende Teilsysteme unterteilt werden (eigene Einteilung in Anlehnung an Groner et al. 2008 und Schmidt et al. 2005):

- Bulbus und dioptrischer Apparat
- Tränenapparat
- Stütz- und Schutzapparat
- Sensorischer Apparat
- Versorgungssystem
- Reizleitung und Verarbeitung, Visueller Cortex
- Blicksteuerung und Blickbewegungsapparat (Hilfsapparat)

(Tränenapparat, Augenmuskeln, Augenlider und Bindehäute werden häufig auch als Augenanhangsorgane bezeichnet)

Für den eigentlichen Wahrnehmungsvorgang sind nur der abbildende und reizaufnehmende Teil des Auges, die neuronale Vorverarbeitung in Auge, Sehnerv und Sehbahn sowie der visuelle Cortex zuständig. Die anderen Strukturen sind Hilfssysteme zum Schutz, zur Versorgung und zur Regulierung bzw. Ausrichtung von Auge und Lichteinfall. In einem sehr engen Sinne kann beim Tränenapparat auch von einer Beteiligung am Sehen und der optischen Abbildung ausgegangen werden, da durch die äußere Lipidschicht des Tränenfilms eine Glättung von Unebenheiten der Cornea erfolgt und damit die Abbildungsgüte gesteigert wird.

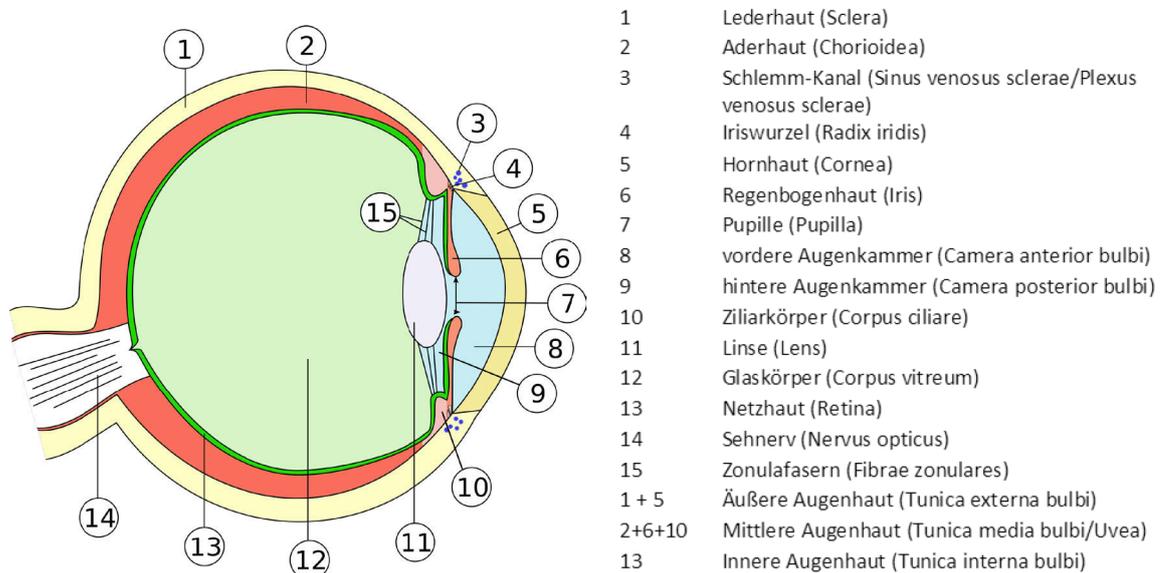
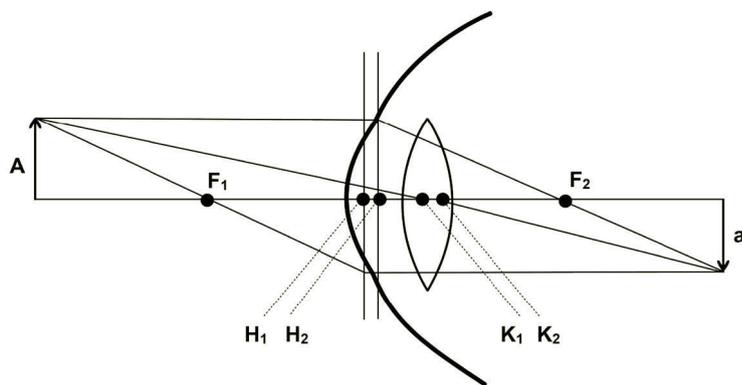


Abbildung 3-4: Übersicht über den Bau des Auges (Teilschnitt mit Sehnerv [Wikimedia4])

Der Augapfel selbst (lat.: *Bulbus oculi*) ist nahezu kugelförmig und wird aus einer dreihäutigen Hülle gebildet. Im Inneren findet sich neben dem Glaskörper auch die Linse, der Strahlenkörper, bestehend aus dem Strahlenmuskel (*Musculus ciliaris*) und dem Strahlenfortsatz (*Processus ciliares*) mit den daran angehefteten Zonulafasern (Linsenfasern) und der *Iris* (alles s. Abbildung 3-4). Die für die optische Abbildung relevanten Größen dieses zusammengesetzten optischen Systems mit mehreren brechenden Flächen werden durch das sog. „Gaußsche schematische Auge“ in Abbildung 3-5 wiedergegeben.

Zur vereinfachten Berechnung und um die interindividuellen Unterschiede zu normieren hat ALLVAR GULLSTRAND Ende des 19. Jahrhunderts bereits nach Vermessung vieler tausender Augen ein Augenmodell mit nur einer brechenden Fläche und gleicher optischer Dichte vor (Luft) und nach der Linse (Wasser) entworfen. Die wichtigsten Berechnungsgrößen des nach ihm benannten reduzierten „Gullstrand“-Auges sind der Tabelle 3-3 zu entnehmen. Der Strahlengang am reduzierten Auge kann u. a. aus (Winkelholz 2008, S. 408) entnommen werden.



Kardinalelemente
(nach Gullstrand):

H1= 1,35 mm
H2= 1,60 mm
F1= -15,70 mm (vord.)
F2= 24,38 mm (hint.)
K1= 7,08 mm
K2= 7,33 mm
f1= -17,05 mm
f2= 22,78 mm

Brechungsindices:
(gemittelt)

Kammerwasser	1,336
Linse	1,42 (1,37...1,4!)
Glaskörper	1,336
vgl. Kronglas	1,523

Opt. wirksame Krümmungsradien:

Vorderfläche Kornea	r = 7,8 mm
Vorderfläche Linse	r = 10,0 mm
Hinterfläche Linse	r = 6,0 mm

Abbildung 3-5:Optische Abbildung am Gaußschen schematischen Auge (eigene Darstellung nach Bálint 1963, S. 861) und zugehörige Werte der Kardinalelemente (nach Gullstrand aus Schneider 1964)

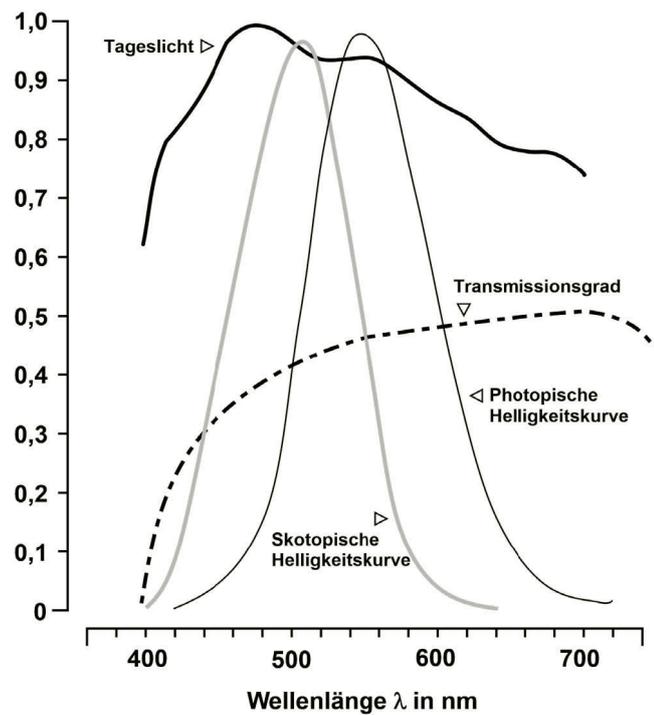
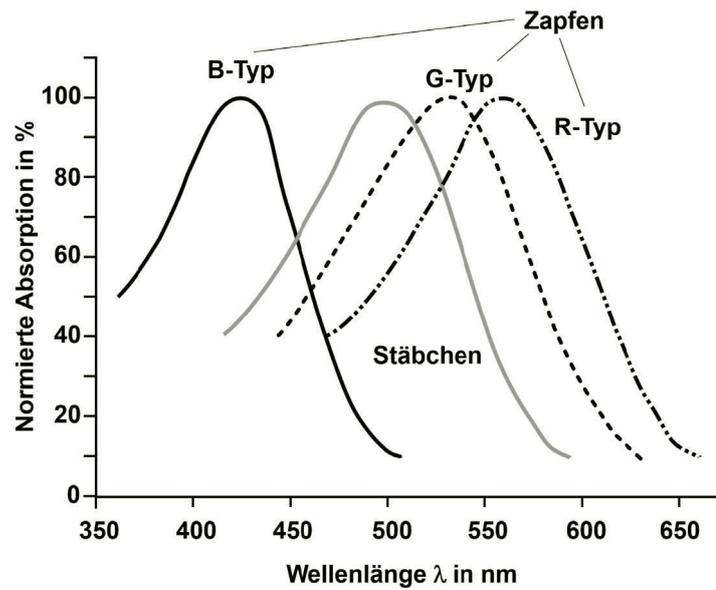


Abbildung 3-6: oben: Normierte spektrale Empfindlichkeit der Rezeptoren (selbst erstellt nach Dartnall et al. 1983, in Schmidt et al. 2005, S. 383); unten: Anpassung der normierten Helligkeitskurven und des Transmissionsgrades der abbildungsrelevanten Augenstrukturen an das Tagessehen (selbst erstellt nach Schmidt et al. 2005, S. 368)

Tabelle 3-3: Wichtige Berechnungsgrößen am „Reduzierten Auge“ nach GULL-STRAND (zusammengestellt aus Schneider 1964, Bille & Schlegel 2005, Schmidt & Schaible 2006 und Klinke et al. 2005)

Gesamtbrechkraft	Dges 58,65 dpt
Brechkraft der Cornea	Dc = 43,08 dpt
Brechkraft der Linse	DL = 19,5 dpt
Brennweite (Gegenstandsseite)	f = 17,06 mm
Lage Hauptpunkt (hinter Corneascheitel)	H = 1,3 mm
Lage Knotenpunkt (hinter Corneascheitel)	K = 7,4 mm
Krümmungsradius	r = (7,2 – 1,5) mm = 5,7 mm
Brechungsindex aller Strukturen	1,336

Die Rezeptoren des visuellen Systems sind Bestandteil des Sinnesepithels (*Stratum nervosum retinae*), einem Teil der inneren der drei Häute des Augapfels (*Tunica interna (sensoria) bulbi*). Diese Rezeptoren sind in ihren Eigenschaften bestimmt durch eine hervorragende Anpassung an das Tagsehen. Das vom Menschen wahrgenommene sichtbare Licht ist ein schmaler Anteil aus dem Spektrum elektromagnetischer Wellen. Dieser sichtbare Bereich liegt etwa zwischen 380 nm (dunkelviolet) und 720 nm (dunkelrot) und entspricht damit nahezu dem Spektrum des Sonnenlichts (s. Abbildung 3-6). Auch weitere Eigenschaften des Auges sind an diesen Wellenlängenbereich angepasst, so der Transmissionsgrad des dioptrischen Apparates (s. Abbildung 3-6), die Bereiche der maximalen Rezeptorempfindlichkeiten, die zahlenmäßige und räumliche Verteilung der Rezeptoren sowie deren Anteile am Seheindruck.

Der Mensch besitzt insgesamt vier verschiedene Photorezeptortypen¹¹, die grob in zwei Arten unterteilt werden: die vor allem für das Nacht- und Bewegungssehen verantwortlichen Stäbchen und die für das Tagsehen zuständigen drei verschiedenen Zapfentypen (für kurzwelliges Licht Blau-Typ, für mittel-

¹¹ Andere Wirbeltiere können Rezeptoren für mehr, weniger oder andere Spektralbereiche (also Farben) besitzen. Außerdem gibt es Theorien, wonach bei Frauen möglicherweise ein vierter Farbrezeptor (für Gelb, Tetrachromasie s. (Jameson et al. 2001) vorkommen kann. Diese Varianten sollen hier aber nicht näher betrachtet werden.

welliges Licht Grün-Typ und für langwelliges Licht Rot-Typ). Insgesamt besitzt der Mensch ca. 120 Millionen Stäbchen und etwa sechs bis sieben Millionen Zapfen.

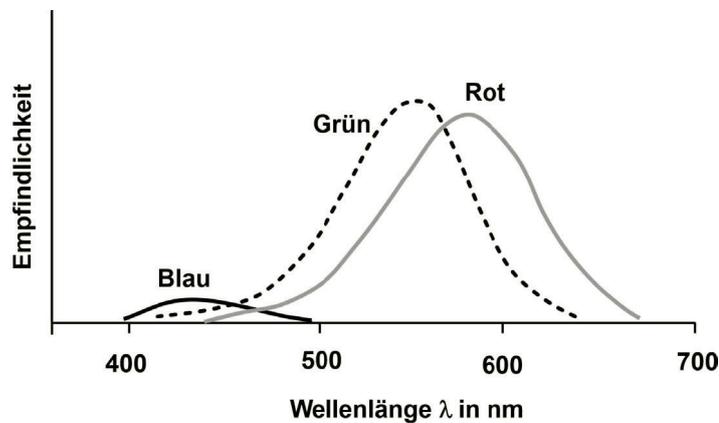


Abbildung 3-7: Qualitative Darstellung der einzelnen Zapfenempfindlichkeiten als Funktion der Wellenlänge (selbst erstellt nach Schlicht 1995)

Durch die in Abbildung 3-7 zu erkennende unterschiedliche starke spektrale Empfindlichkeit und eine zusätzlich kleinere Anzahl von Zapfen des Blau-Typs trägt blaues Licht insgesamt nur mit ca. 11 % zur Gesamthelligkeitswahrnehmung (und damit zum Seheindruck) bei (Schlicht 1995). Dieser Effekt wird bei Tageslicht zusätzlich durch die im Spektrum geringer enthaltenen Blauanteile verstärkt.

Die Photorezeptoren sind nicht nur hinsichtlich ihrer spektralen Empfindlichkeit spezialisiert und damit klassifizierbar, sondern auch anhand ihrer Aufgaben. So gibt es Rezeptoren für das Farbsehen, für Hell-Dunkel-Sehen, für Formerkennung, Bewegungserkennung, stereoskopisches Sehen (3D-Empfinden), für die Ansteuerung der Augenbewegung, des Pupillenreflexes und für die Gleichgewichtssteuerung.

Auditive Wahrnehmung („Hörsinn“)

Die quantitativ zweitwichtigste Sinneswahrnehmung ist der Hörsinn. Er spielt vor allem bei der Sprachwahrnehmung als Kommunikationsmittel und zur Wahrnehmung bestimmter schallgekoppelter Zustände der Umgebung wie auch zur Orientierung eine bedeutende Rolle.

Tabelle 3-4: Dynamikbereich des Ohrs

(eigene Darstellung nach Zenner 2006, Schmidt et al. 2005 und Klinke et al. 2005)

Schallintensität	Schalldruck	Schall-druckpegel (SPL)	Zunahme des Schall-druckes	Beispiel
100 W/m ²	200 Pa	140 dB	10.000.000	Schmerzschwelle, Düsentriebwerk
1 W/m ²	20 Pa	120 dB	1.000.000	Donner, Flugzeug, Schuss
10 ⁻² W/m ²	2 Pa	100 dB	100.000	Presslufthammer, lauter Industrielärm
10 ⁻⁴ W/m ²	0,2 Pa	80 dB	10.000	Straßenverkehr (Autobahn)
10 ⁻⁶ W/m ²	2 · 10 ⁻² Pa	60 dB	1.000	Staubsauger, normales Gespräch
10 ⁻⁸ W/m ²	2 · 10 ⁻³ Pa	40 dB	100	leise Musik oder Gespräche
10 ⁻¹⁰ W/m ²	2 · 10 ⁻⁴ Pa	20 dB	10	Wohngeräusche, ländliche Ruhe
10 ⁻¹² W/m ²	2 · 10 ⁻⁵ Pa	0 dB	1	Hörschwelle

Das Hören als Wahrnehmung von Schallwellen (insbesondere Klang und Geräusche als Veränderungen der Amplituden (Schalldrücke) und Frequenzen (Druckschwankungen) dieser Wellen) ist die neuronale Interpretation der durch die Schalldruckänderungen ausgelösten Reize der Rezeptoren im Innenohr und ihre Verarbeitung in den Projektionszielen der Hörbahn im Cortex. Dabei kann das Ohr einen Dynamikbereich der Schalldruckänderungen von sieben Zehnerpotenzen (s. Tabelle 3-4) überdecken und in diesem Bereich relevante Informationen aufnehmen.

Es lassen sich drei große Teile des Ohres abgrenzen: das Außen- bzw. äußere Ohr, das Mittel- und das Innenohr (s. Abbildung 3-8). Das äußere Ohr ist für das Auffangen der Schallwellen und die Schallleitung zuständig, im Mittelohr erfolgt über die mechanische Kette aus Trommelfell und Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) u. a. eine Impedanzanpassung zwischen luftgefülltem Raum (Umwelt, Außenohr) und flüssigkeitsgefüllten Raum (Endolymph-gefülltes Innenohr). Diese ist aufgrund der unterschiedlichen Schallausbreitungsgeschwindigkeiten und den damit zusammenhängenden komplexen Schallwellenwiderständen (Impedanzen) notwendig. Im Innenohr

erfolgen im Corti-Organ eine frequenzabhängige Aufspreizung des Schallsignals entlang der Basilarmembran sowie eine nichtlineare Verstärkung durch die äußeren Haarzellen. Es kommt zur Ausbildung einer Wanderwelle auf der Basilarmembran und damit verbundener Reizung der inneren Haarzellen. Diese löst Sensorpotentiale aus, die nach Stärke und Frequenz kodiert an den auditorischen Cortex und weitere Projektionsziele im Hirnstamm weitergeleitet und dort verarbeitet werden. Die meisten Nervenfasern kreuzen zur kontralateralen Seite des Gehirns, jedoch ist jedes Ohr über Afferenzen mit beiden Hirnhälften verbunden.

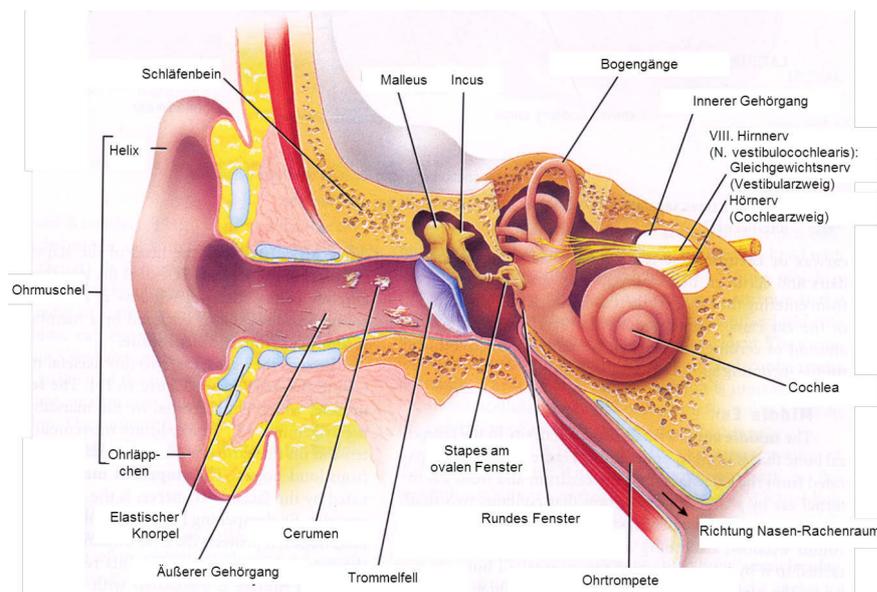


Abbildung 3-8: Schematischer Aufbau des Ohres (modifiziert, aus Tortora & Grabowski 2000, S. 531)

Das Richtungshören und die damit mögliche Ortung und Orientierung wird durch Laufzeitunterschiede zwischen den Ohren und aus der Kopfgeometrie hervorgerufenen Beugungseffekten der Schallwellen ermöglicht. Die Auswertung der resultierenden Reizmuster obliegt hochspezialisierten höheren Neuronen (Zenner 2006). Eine weitere damit verknüpfte wichtige Eigenschaft unseres Hörsinns ist die gezielte Filterung eines Nutzsignals (z. B. Sprache) aus Hintergrund- und Störgeräuschen. Auch dafür ist zumindest mitbestimmend das Richtungshören verantwortlich, das es erlaubt, den richtungsabhängigen Antischall zu identifizieren und die zugehörigen Reizmuster durch Hemmung der jeweiligen Neurone zu unterdrücken.

Wenn das Tasten nicht eine einzige Wahrnehmung, sondern eine Mehrzahl ist, sind auch seine Gegenstände eine Vielheit.

Aristoteles (Über die Seele).

Haptische und taktile Wahrnehmung („Tastsinn“)

Häufig werden Tasten und haptische Wahrnehmung gleichgesetzt. Diese Sichtweise ist bis zu einem gewissen Grad auch zulässig, eine vertiefende Diskussion der Gemeinsamkeiten und Unterschiede wird in (Grunwald & Beyer 2001) geführt. Prinzipiell ist unter Haptik eine Verschmelzung aus sensorischen und motorischen Funktionen im Sinne einer Systemintegration zu verstehen (als Schema beispielhaft in Abbildung 3-9 veranschaulicht) und bedingt als solches immer eine aktive Komponente zur Nutzung als Körpersinn. Diese Eigenschaft unterscheidet die Haptik vom reinen Tastsinn, der auch als rein passives Rezipieren erfahren werden kann (s. auch Grunwald 2001, S. 9: *„mit ‚haptics‘ werden jene Wahrnehmungsaktivitäten bezeichnet, die durch selbständiges und aktives Berühren [...] charakterisiert werden können. Im Gegensatz dazu bezeichnet ‚tactile touch‘ jene Wahrnehmungsbedingungen, bei denen die Stimulusapplikation auf die Haut passiv, d. h. ohne aktive Bewegung der wahrnehmenden Person, erfolgt.“*).

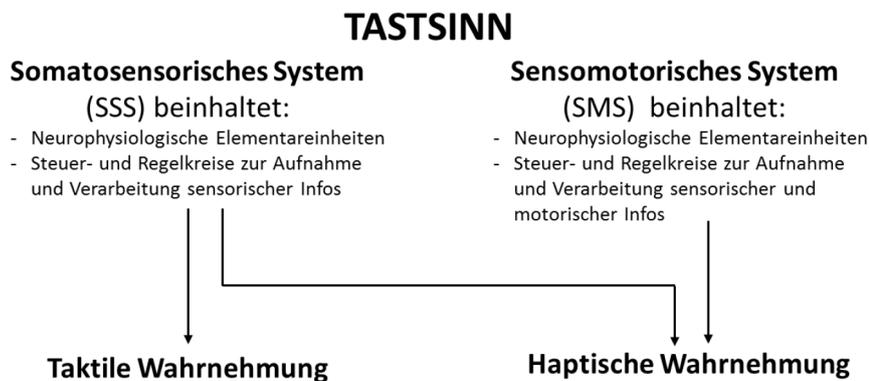


Abbildung 3-9: Schema zur Begriffsbestimmung der haptischen Wahrnehmung (modifiziert nach Grunwald 2001, S. 11)

Die haptische Wahrnehmung erfolgt nach LEDERMAN & KLATZKY auf der Basis zweier Subsysteme. Dabei ist das eine, sensorische Subsystem, für die Wahrnehmung der Objekteigenschaften und damit der konkreten „Dingwelt“ verantwortlich. Das zweite, motorische Subsystem, führt die für diese

Wahrnehmung notwendigen (aktiven) Bewegungen vor allem der Extremitäten aus. (Lederman & Klatzky 1987) Zusätzlich zu den hauptsächlich für die haptische Wahrnehmung genutzten Extremitäten sind auch propriozeptive und motorische Informationen des gesamten Körpers in die Haptik einbezogen.

Die Verknüpfung der somatosensorischen und sensomotorischen Systeme wird besonders bei der haptischen Exploration deutlich. Diese wurde Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts intensiv von LEDERMAN & KLATZKY untersucht und beschrieben. Daraus leiteten sie sechs Grundmuster der haptischen Exploration ab (s. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Erläuterung der sechs grundlegenden haptischen Explorationsstrategien (nach Lederman & Klatzky 1987)

Merkmal	Explorationsstrategie
Größe	Umfassen, Umschließen („enclosure“)
Textur	Streichbewegungen auf der Oberfläche („lateral motions“)
Härte	Drücken („pressure“)
Gewicht	Freies Halten, „Wiegen“ („unsupported holding“)
Form und Gestalt	Konturfolgebewegungen („contour following“)
Temperatur, Wärmeleitfähigkeit	Statischer Kontakt mit der Oberfläche („static contact“)

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Explorationsstrategien erfolgen in der Regel (bei komplexeren Objekten) auch noch ein erster Funktionstest (Ermittlung von Grundfunktionalitäten) und die Ermittlung des (möglichen) Freiheitsgrades von beweglichen Teilen.

Die haptische Erkundung und Informationsgewinnung gehört zu den wichtigsten primären Formen der frühkindlichen Wahrnehmung (Kiese-Himmel 2001) und wird durch die Kleinkinder noch vor der visuellen Wahrnehmung genutzt. Diese Verhaltensweise ist so tief geprägt, dass es auch eine ganze Reihe sprachlicher Metaphern gibt, die das widerspiegeln. So wollen wir Menschen die „Welt begreifen“ oder Dinge und Probleme „fassbar machen“.

Für Entwickler von Geräten mit haptisch nutzbaren Gebrauchseigenschaften sind diese Explorationsstrategien besonders relevant, da potentielle Nutzer diese Vorgehensweise bei der Eigenschaftsermittlung heranziehen werden.

Wie für alle Sinnesmodalitäten existieren auch für den haptischen Sinn Beschreibungen charakteristischer haptischer Objekteigenschaften (nach Kern 2009b). Dabei werden unter der haptischen Textur diejenigen Objekteigenschaften verstanden, die ausschließlich haptisch wahrgenommen werden können. Solche haptischen Texturen sind z. B. Oberflächenrauigkeiten und –strukturen (wie sie z. B. bei Leder anzutreffen sind) oder haptische Markierungen (z. B. auf Tastaturen die Tasten F und J bzw. die Ziffer 5).

Die haptische Gestalt beschreibt Objekteigenschaften, welche die äußere Kontur von Objekten betreffen und vor allem kinästhetisch wahrgenommen werden. Weiterhin gibt es eine Reihe von Oberflächeneffekten, die eine besondere haptische Komponente haben. Diese werden häufig auch als physikalische Entsprechungen in Softwarekonzepten zur Verbesserung des Realitätsgrades genutzt (s. Kern 2009a). Dazu zählen nach KERN:

- die Oberflächenreibung
(geschwindigkeitsproportionale Reibung eines Kontaktpunktes auf einer Oberfläche),
- die Oberflächenhaftung
(Haftkraft zur Verhinderung der Ablösung des Kontaktpunktes von der jeweiligen Oberfläche)
- die Rauheit (bei KERN Rauigkeit)
(Struktur, welche den Kontaktpunkt mit definierter, geringer Amplitude auf und ab wandern lässt).

In der Tabelle C-1 im Anhang sind die taktilen und kinästhetischen Rezeptoren mit der jeweiligen Charakteristik der Adaptation an den Reiz, die Reizmodalität, und der Ort des Rezeptors in der Haut sowie der Aufbau des Rezeptors zusammenfassend dargelegt. Zusätzlich zu den taktilen und kinästhetischen Rezeptoren tragen begrenzt auch noch die Mechanonozizeptoren (Schmerzrezeptoren, die vor allem auf spitze Reize reagieren) und die Haarfollikelrezeptoren (reagieren auf die Auslenkung der Haare) zur haptischen Wahrnehmung bei.

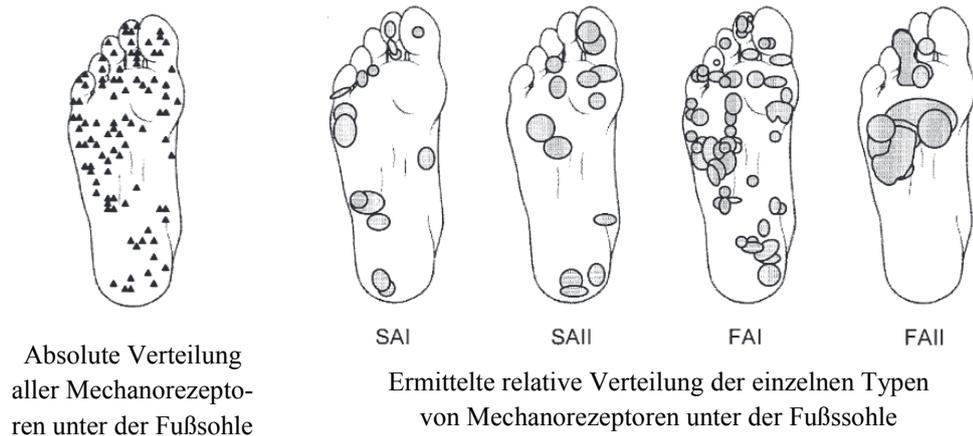


Abbildung 3-10: Ermittelbare Verteilungen der Mechanorezeptoren in der Fußsohle (aus Kennedy & Inglis 2002)

Die Mechanorezeptoren sind sowohl nach Art als auch Adaptationsgeschwindigkeit sehr unregelmäßig über die Körperoberfläche in der Haut verteilt, wie das Beispiel der Fußsohle in der Abbildung 3-10 zeigt. Die genaue Kenntnis dieser Verteilung kann essentiell für bestimmte Gestaltungsaufgaben sein. So ist die Wahl des Stimulationsortes wie auch der genutzten Frequenz beim Aufbau einer Vibrationschnittstelle in der Schuhsohle stark von dieser Verteilung und Sensibilität abhängig.



Abbildung 3-11: Die aus der Verteilung der Rezeptoren in der Fußsohle abgeleitete Anordnung von Vibrationsaktoren in einer Schuhsohle als Informationsschnittstelle (aus Lutherdt, Roß & Witte 2016)

Im hier in der Abbildung 3-11 gezeigten Beispiel wurde die Anordnung der Aktoren entlang der Hauptverteilung der SA-II-Rezeptoren gewählt und zur Informationsvermittlung eine mittlere Reizfrequenz von 200 Hz eingesetzt.

Diese entspricht in etwa dem Mittelwert der Reizfrequenzen der Mechanorezeptoren. Die striktere Auslegung der Reizfrequenz auf genau einen Rezeptortyp wie bei der Anordnung ist nicht angebracht, da es ohnehin durch den Aufbau der Haut und die damit verbundene mechanische Kopplung zu einem Übersprechen auch auf andere Rezeptoren kommt. Eine summative Empfindung durch Stimulation mehrerer Rezeptortypen senkt jedoch die Wahrnehmungsschwelle und verbessert damit die gestalterischen Möglichkeiten.

Entsprechend dem vorangestellten Beispiel sind für den Entwickler haptischer Schnittstellen neben der Kenntnis grundsätzlicher physiologischer Funktionen vor allem die Verteilung der Rezeptoren und, soweit ermittelbar, deren Reizschwellen und Antwortverhalten von Bedeutung. In der folgenden Tabelle sind die über den gesamten Körper sehr unterschiedlich ausgeprägten Wahrnehmungsschwellen hinsichtlich verschiedener mechanischer Reize dargestellt.

Olfaktorische Wahrnehmung („Geruchssinn“)

Der Geruchssinn ist die summierte Empfindung zweier sensorischer Systeme, des olfaktorischen und des nasal-trigeminalen. Zudem sind Geruch und Geschmack in ständiger Interaktion, sofern diese nicht unterbrochen wird (z. B. bei Schnupfen). Dem Trigeminus-Nerv sind keine speziellen Sinneszellen zugeordnet, man geht aber davon aus, dass Sinneseindrücke wie brennend, beißend, brenzlich, scharf oder stechend durch ihn vermittelt werden.

Die eigentliche Riechschleimhaut als Träger der Geruchsrezeptoren (beim Menschen ca. 400 verschiedene) ist nur ca. (2 x 5) cm groß und befindet sich in der oberen Concha der Nase. Die Gesamtheit der Riehzellen beim Menschen beträgt ca. 20 Millionen mit einer Lebensdauer von rund einem Monat (Hatt 2006). Diese primären Sinneszellen sind in der Lage, flüchtige gasförmige Moleküle organischer Stoffe über spezielle Rezeptorproteine wahrzunehmen. Die Lösung in flüssiger Phase und damit die Aufnahmefähigkeit erfolgt unmittelbar an der Riechschleimhaut.

Der ungeübte Mensch kann ca. 10.000 verschiedene Düfte unterscheiden. Die Empfindlichkeiten des olfaktorischen Systems sind für verschiedene Stoffe stark unterschiedlich, so reichen im Einzelfall (z. B. bei Skatol, riecht nach Fäkalien) bereits 10^7 Moleküle je cm^3 Luft für eine Wahrnehmung aus. Es

wird grundsätzlich die Wahrnehmungsschwelle von der Erkennungsschwelle unterschieden. Um die Wahrnehmung „da ist etwas“ auszulösen reichen 4 mg Methylmercaptan (Knoblauchgeruch), um dieses auch zu erkennen (also benennen zu können) muss die Konzentration rund 50-mal höher sein (Hatt 2006).

Für die direkte Wahrnehmung von Systemzuständen spielt der Geruchssinn auch in MMS durchaus eine Rolle (s. Kapitel 2.2), trotzdem ist er für Gestaltungsaufgaben bei AS kaum oder gar nicht nutzbar, weil durch die nicht exakt definierbare Ausbreitungsgeschwindigkeit der Moleküle und zusätzlich einwirkende Störungen wie Luftzug o. ä. hohe Latenzen auftreten können. Zudem ist eine räumliche Einschränkung auf bestimmte Bereiche schwierig, und bei einem Wechsel des Systemzustandes müssen zuerst alle Moleküle entfernt werden, bevor eine neue Wahrnehmung erzeugt werden kann (gleiche Moleküle können nicht mehrere verschiedene Systemzustände kodieren). Auch dieser Umstand erhöht die Reaktionszeit des Systems.

Gustatorische („Geschmackssinn“) und vestibuläre Wahrnehmung („Gleichgewichtssinn“)

Diese beiden ebenfalls schon von Aristoteles beschriebenen Sinneswahrnehmungen spielen in der Anwendung wie Gestaltung von MMS keine Rolle, auf eine nähere Beschreibung wird daher verzichtet.

Die vestibuläre Wahrnehmung muss natürlich als Einflussfaktor in bewegten Systemen berücksichtigt werden, da durch eine unterschiedliche Reizung der Rezeptoren in den Bogengängen und Maculaorganen (im Gleichgewichtsorgan) Interpretationsprobleme im ZNS auftreten können, die sich kurzfristig als Schwindel oder längerfristig als sog. Seekrankheit (Kinetose) bemerkbar machen (s. Schlick et al. 2010).

Weitere Körpersinne

Wie schon im einleitenden Teil von 3.1.2 beschrieben wird ein Großteil der Interozeption hier nicht näher betrachtet. Dieser Verzicht betrifft vor allem die Viszerozeption. Die Propriozeption ist natürlich wichtig für die Nutzung von Werkzeugen bzw. grundsätzlich für die bewusste und gesteuerte Ausübung jeder Form von Bewegung und Aktionen des menschlichen Körpers. Trotzdem kann sie nicht direkt durch gestalterische Mittel unterstützt werden.

Weitere wichtige Körpersinne stellen die Nozizeption (Schmerzempfinden) und der Temperatursinn dar. Grundsätzlich sollten die gestalterischen Lösungen so angelegt sein, dass die Nozizeption bei der Gerätenutzung schon aus rein ethischen Gründen heraus keine Rolle spielt. Das Temperaturempfinden spielt im Zusammenhang mit den anzutreffenden klimatischen Verhältnissen natürlich eine Rolle. Für diese gibt es zumindest im Kontext von Arbeitsumgebungen feste Vorschriften, weshalb sich ebenfalls eine weitere Betrachtung erübrigt. Bei der Gestaltung von Schnittstellen sind Fragen des Wärmeübergangs zwischen Hautoberfläche und technischem System ebenso zu berücksichtigen wie die Einhaltung von Temperaturgrenzwerten für eine schadensfreie und als angenehm empfundene Nutzung des Gerätes.

„Wer weiß, ob die Gedanken nicht auch einen ganz winzigen Lärm machen, der durch feinste Instrumente aufzufangen und empirisch (durch Vergleich oder Experiment) zu enträtseln wäre?“

Christian Morgenstern

3.2 Aspekte der Kognition

Eine ganz entscheidende Rolle bei der Nutzung von AS wie auch bei der Einschätzung ihrer Güte spiegeln die kognitiven Prozesse des Menschen wider. So ist es selbstverständlich wichtig, ob ein AS durch seine Gestaltung an die Leistung des menschlichen Gedächtnisses wie auch an die Art der menschlichen Informationsaufnahme angepasst ist, ob es durch geeignete Hilfen wie der Nutzung von Metaphern die Bildung einfacher mentaler Modelle unterstützt, welche wiederum den Lernprozess verkürzen und effektiver werden lassen. Genauso wichtig ist, ob die Anzahl der zur Informationsvermittlung notwendigen Sinnesreize der tatsächlich aufnehmbaren und verarbeitbaren Menge angepasst ist. Dass die Art der angebotenen Sinnesreize in einer für die jeweiligen Rezeptoren adäquaten Form erfolgen muss versteht sich selbstredend. Nicht zuletzt spielen auch Fragen der Aufmerksamkeitslenkung eine große Rolle.

3.2.1 Prozess der Informationsverarbeitung

Zur Erklärung der menschlichen Informationsverarbeitungsprozesse existieren sehr viele verschiedene, unterschiedlich komplexe Modelle. Diese sollen hier nicht vollständig erklärt, sondern nur an einigen ausgewählten die Konsequenzen für die Gestaltung von AS und Schnittstellen verdeutlicht werden. Die ersten Modelle entstanden bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts (Reaktionszeitaufgabe von DONDERS 1868, in Schlick et al. 2010¹²). Grundsätzlich unterscheidet man zwischen phänomenologisch-empirischen und mathematisch-funktionalen Modellen, orientiert am Ablauf und den jeweils beteiligten wahrnehmungs- und kognitionspsychologischen Funktionsbereichen. Eine weitere wichtige Einteilung bzw. Unterscheidung liefern die Stufen- bzw. Kaskadenmodelle (simultane Informationsverarbeitung) und die Aufmerksamkeitsmodelle.

Ein sehr anschauliches und lange in den Ingenieurwissenschaften zur Erklärung der menschlichen Informationsverarbeitung genutztes Modell ist das sog. „Flaschenhalsmodell¹³“ (s. Beelich & Schwede 1991, S. 76). Es zeigt, dass die große Anzahl an gleichzeitig empfangenen Sinnesreizen durch den Flaschenhals der Informationsverarbeitung gelangen muss, was im Wesentlichen durch aufmerksamkeitsbezogene Ausfilterung für die aktuelle Aufgabe unnötiger Informationen erfolgt. Danach erfolgt die Verteilung auf die wiederum große Anzahl von Effektoren (s. Abbildung 3.12).

¹² Als Jubiläumsausgabe neu erschienen 1969: Donders, Frans C.: On the Speed of Mental Processes. *Acta Psychologica Attention and Performance II* (30), S. 412-431.

¹³ Das „Flaschenhalsmodell“ ist eine Weiterführung von BROADBENTS „filter model of attention“ (in Broadbent 1958).

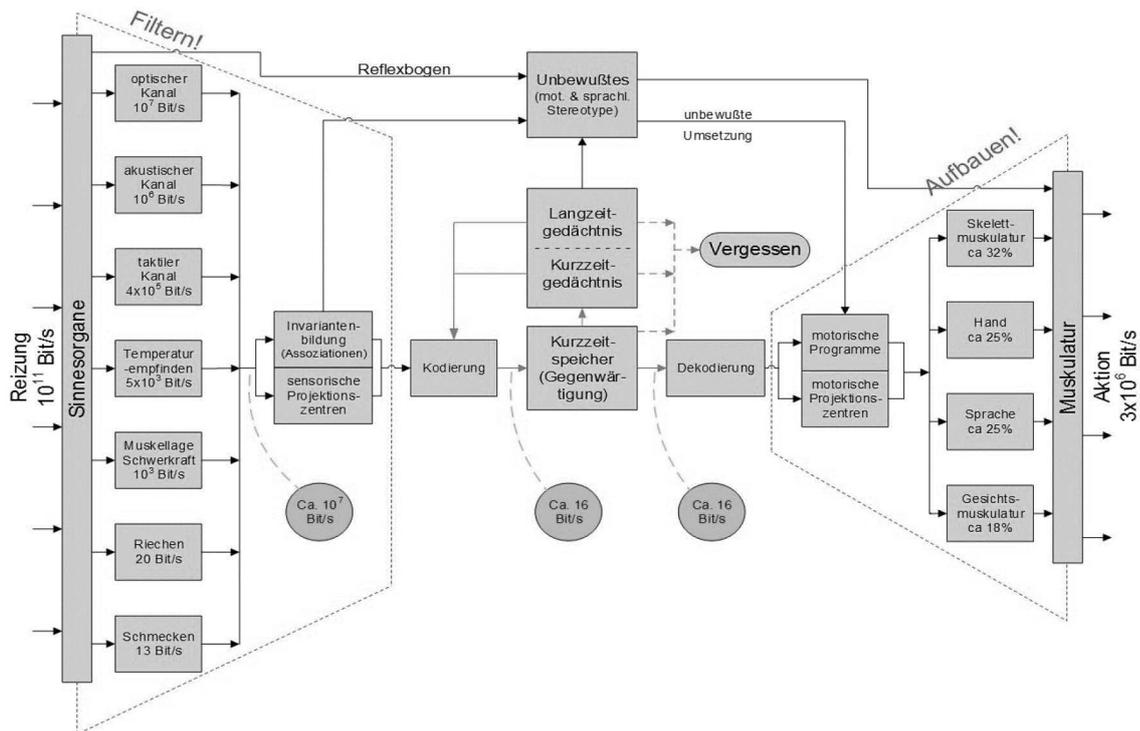


Abbildung 3-12: Schematische Verdeutlichung des „Flaschenhals“ der menschlichen Informationsverarbeitung (modifiziert nach Beelich & Schwede 1991, S. 76)

Dieses Modell ist jedoch mittlerweile weitgehend durch das Regulationsebenenmodell (s. Heinsen & Vogt 2003, Vogt 2003) abgelöst worden. Trotzdem erklärt es eine Reihe von Phänomenen, und es ist gut geeignet um die sinnvolle Aufteilung von Informationen auf verschiedene Sinnesmodalitäten zu stützen. Außerdem wird deutlich, dass überall da ein Vorteil durch Umgehung des „Flaschenhalses“ entsteht, wo motorische Stereotype ausgeprägt werden oder solche bereits vorhandenen genutzt werden können und durch die Gestaltung unterstützt werden.

Regulationsebenenmodelle

Bei diesen Modellen wird die Informationsverarbeitung unterschiedlichen Verhaltensebenen zugeordnet, die je nach Art der Aufgabe aus dem zur Verfügung stehenden sensorischen Input über unterschiedliche Strategien und Abläufe Handlungen generieren (s. Abbildung 3-13). Diese drei Ebenen sind nach NEWELL und RASMUSSEN die fähigkeitsbasierte (skill-based), die regelbasierte (rule-based) und die wissensbasierte (knowledge-based) Ebene (Rasmussen 1983, Newell 1990).

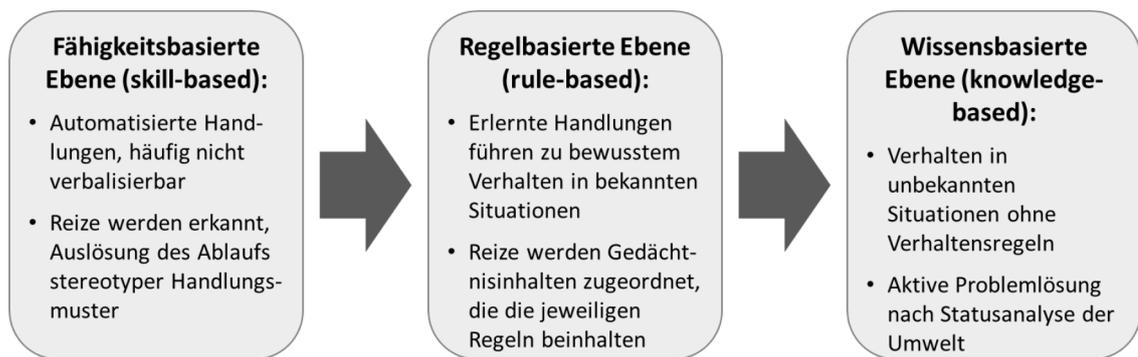


Abbildung 3-13: Verschiedene Ausführungsebenen des menschlichen Verhaltens nach RASMUSSEN (eigene Darstellung nach Rasmussen 1983)

Die unterste (fähigkeitsbasierte, sensumotorische) Ebene ist geprägt durch nicht direkt dem Bewusstsein unterliegende (weil erlernte und automatisiert ablaufende) Handlungen. Ein Beispiel ist das Balancehalten und Geradeausfahren beim Fahrradfahren. Auf der darüber liegenden regelbasierten Ebene laufen Verarbeitungsprozesse ab, bei denen Ergebnisse einer Merkmalsextraktion (z. B. visueller Mustervergleich) zur Assoziation mit erlernten Schemata und Regeln genutzt werden und daraus Handlungen generiert werden. Dieser Prozess erfolgt u. a. bei der Einhaltung von Verkehrsregeln beim Fahren oder bei Fehlersuchprozeduren. Auf der obersten wissensbasierten Ebene müssen Handlungsstrategien erst entwickelt werden. Diese Notwendigkeit betrifft vor allem neue Situationen, Umgebungen und Aufgaben, in denen die bekannten und bewährten Strategien nicht anwendbar sind. Auf dieser Ebene werden Informationen als Symbole interpretiert, die zur Situationsanalyse genutzt werden. Zur Generierung von Handlungen und Lösungsstrategien werden Ziele formuliert und mentale Modelle genutzt, um Alternativen abzuwägen und einen Plan zur Zielerreichung zu entwerfen (bspw. Diagnose komplexer Störungen). (Schlick et al. 2010, S. 290)

Da die drei Ebenen je nach Nutzer und Aufgabenkontext unterschiedlich stark genutzt werden und durchaus anders in Anwendung kommen, sollten diese Unterschiede bei der Gestaltung von AS Berücksichtigung finden. Das kann u. a. dadurch erfolgen, dass verschiedene Modi für Anfänger, Fortgeschrittene und Experten vorgesehen werden. Durch längere Nutzung eines Systems wird es auch bei ein und demselben Nutzer zu einem Wechsel der Regulationsebene

kommen, was ebenfalls für die Einrichtung verschiedener Modi spricht. (vgl. auch (Schlick et al. 2010, S. 290 f.)

Auch eine Betrachtung der Informationsverarbeitung als Flaschenhalsmodell nach BEELICH (s. Abbildung 3-12) lässt die Möglichkeit zu, gestalterisch die menschliche Informationsverarbeitung zu unterstützen. So ist es zuallererst notwendig, die für die jeweilige Aufgabe notwendigen Informationskanäle zu identifizieren und die passend dazu notwendigen Informationsumfänge abzuschätzen. Sollte sich dabei herausstellen, dass der/die gewählten Kanäle mit der anfallenden Informationsmenge überlastet werden, dann müssen Alternativen gefunden werden. In einem zweiten Schritt können die im Prozess der menschlichen Informationsverarbeitung stattfindenden Filtervorgänge unterstützt werden, indem diese bereits durch das technische System (AS) durchgeführt werden und nur die Ergebnisse dem Nutzer präsentiert werden. Die daraus abzuleitenden Entscheidungen, resultierenden Eingriffe und Steueraufgaben können unter Nutzung bekannter, vorhandener mentaler Modelle und Handlungsstereotype in der Software des AS verankert werden. Damit werden die gesamten Prozesse vereinfacht, fehlersicherer und letztlich wird für den Nutzer die Gebrauchstauglichkeit (s. 4.2) verbessert.

Kapazitätsmodelle

Diese Modelle betrachten und berücksichtigen weniger den Zeitverbrauch der Informationsverarbeitung, sondern den damit verbundenen Energieverbrauch bzw. –einsatz durch die Zuweisung und Nutzung vorhandener kognitiver Kapazitäten. Diese Zuordnung ermöglicht u. a. die messtechnische Bestimmung der mit einer Aufgabe einhergehenden mentalen Beanspruchung¹⁴. Kern dieser Modelle ist die Annahme, dass die menschlichen Kapazitäten zur Informationsverarbeitung begrenzt sind und daher aufgabenbezogen aktiviert und zugewiesen werden. Die damit einhergehende Ressourcenauslastung ist ein Maß für die mentale Beanspruchung. (Schlick et al. 2010, Grandt & Ley 2008)

Je nach Menge und/oder Komplexität der zu verarbeitenden Informationen resultiert eine mehr oder weniger hohe Beanspruchung, die im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes (s. 3.1.1) für jeden Operateur und auch zu

¹⁴ z. B. über die Bestimmung der Flimmerverschmelzungsfrequenz

unterschiedlichen Zeiten (also sowohl inter- als auch intra-individuell) jeweils eine unterschiedlich hohe bis sehr hohe Beanspruchung zur Folge haben kann. Damit einhergehend erhöht sich aber die Zeit der Aufgabenbearbeitung wie auch die Fehlerrate (Grandt & Ley 2008). Diesen Zustand bezeichnet man dann auch als Überforderung (Johannsen 1993, Bortz & Döring 2006)

3.2.2 Aufmerksamkeit

Der Informationsverarbeitung vorgeschaltet ist selbstverständlich der Informationserwerb. Dafür besitzt der Mensch ein umfassendes Sensorium, welches bereits in Kapitel 3.1.2 ausführlich beschrieben wurde. Dieses Sensorium liefert nahezu pausenlos informationsadäquate Reize an das Zentralnervensystem und dort vor allem an den primären Kortex zur Weiterverarbeitung. Dieser kontinuierliche Strom an Informationen wird jedoch (neben anderen Faktoren) je nach Aufmerksamkeitsniveau durch den Thalamus gefiltert. Ein bekannter Effekt ist die verminderte Wahrnehmung von Reizen durch den Einfluss von Medikamenten, Drogen, Alkohol oder Müdigkeit. Diese überwiegend extrinsischen Faktoren senken teilweise rapide das Aufmerksamkeitsniveau. Aber auch intrinsisch kann durch unterschiedliche Faktoren (Interesse, gezielte Aufmerksamkeitssteuerung) die Wahrnehmung bzw. Wahrnehmbarkeit von Reizen aus der Umgebung verändert sein. Ein Modell hierfür lieferte ROBERTSON mit ihrem SEEV-Modell¹⁵ (Robertson 1994). Kern dieses Modells ist, dass Menschen besonders gut diejenigen Dinge wahrnehmen, die sie in bestimmten zeitlichen, räumlichen oder kontextuellen Zusammenhängen erwarten. Gleiches gilt auch umgekehrt, was u. a. einen hohen sicherheitsrelevanten Aspekt hat. So sind Auffahrunfälle in eigentlich unkritischen Situationen auf das fehlende Gefahrenbewusstsein und die damit einhergehende herabgesetzte Aufmerksamkeit zurückzuführen (s. Muhrer & Vollrath 2009). Dieses Modell ist damit direkt nutzbar für die Gestaltung von AS. Die Anordnung von Elementen sollte immer so erfolgen, dass sie in einem nachvollziehbaren Sinnzusammenhang stehen und nach Möglichkeit entsprechend gruppiert sind. Gleiches gilt auch für Anzeigen: sich häufig ändernde und evtl. miteinander verkoppelte Systemzustände sollten in einem zeitlich-räumlich eng

¹⁵ SEEV: Saliency Effort Expectancy Value

verbundenen Bereich angezeigt werden. Dieses Prinzip leitet sich auch aus verschiedenen Gestaltgesetzen ab (s. 3.4).

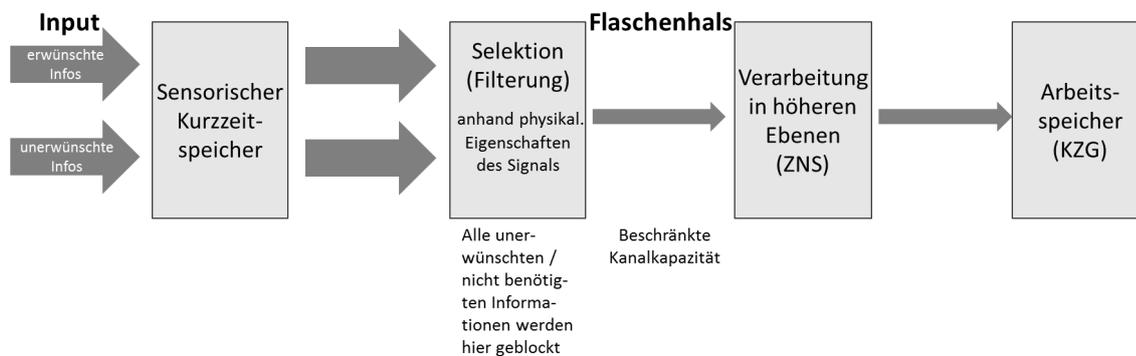


Abbildung 3-14: Schematische Darstellung von Broadbents Filtermodell (eigene Darstellung nach Broadbent 1958)

Ausgehend von der Theorie nur begrenzt vorhandener Kapazitäten postuliert Broadbent das Vorhandensein selektiv arbeitender Filter, die auf physikalische Eigenschaften abgestimmt sind (z. B. Lautstärke, Tonhöhe, Farben oder Richtungen). Damit werden alle eingehenden Informationen gefiltert, an dieser Stelle befindet sich somit ein Informations-Flaschenhals. Daher hat dieses Modell auch die Bezeichnung „Flaschenhals- oder Bottleneck-Modell“. Die Formulierung des Modells beruht auf Untersuchungen zum dichotischen Hören. Andere Phänomene wie der „Cocktailparty-Effekt“ lassen sich damit jedoch nicht erklären.

Das Filtermodell ist eine Theorie der frühen Selektion, so werden wie in Abbildung 3-14 erkennbar die informatorischen Reize bereits in einer frühen Phase der Verarbeitung selektiert und geblockt oder durchgelassen. Dem gegenüber stehen Modelle der späten Selektion (Gray & Wedderburn 1960), (Deutsch & Deutsch 1963) oder Mischmodelle wie bei (Treisman 1969). Diese und weitere Modelle sollen jedoch nicht näher betrachtet werden.

Lernen und Gedächtnis

Für den Wissenserwerb und damit auch für die Gestaltung von Systemen, für deren Nutzung wiederkehrende (damit zu erlernende) Abläufe nötig sind, ist die Kenntnis über die Struktur unseres menschlichen Gedächtnisses wichtig. Bereits seit Ebbinghaus (1885) wird zwischen Kurzzeitgedächtnis

(KZG) und Langzeitgedächtnis (LZG) unterschieden¹⁶. Die Überführung aus dem auch als aktives oder Arbeitsgedächtnis bezeichneten KZG ins LZG erfordert interne oder externe Wiederholungen des zu Lernenden (sog. „rehearsals“). Dieser Prozess wird auch als Konsolidierung des Wissens bezeichnet (Birbaumer & Schmidt 2010). Außerdem sind noch weitere „Gedächtnisarten“ bekannt (vgl. Schmidt et al. 2005), die sich bezüglich ihrer Struktur und Nutzung unterscheiden. Eine Synopsis sowie den Prozess der Überführung aus einem Gedächtnisteil in einen anderen zeigt das Gedächtnissystem nach BECKER-CARUS und LOOPIK in der Abbildung 3-15 (Loopik et al. 1994).

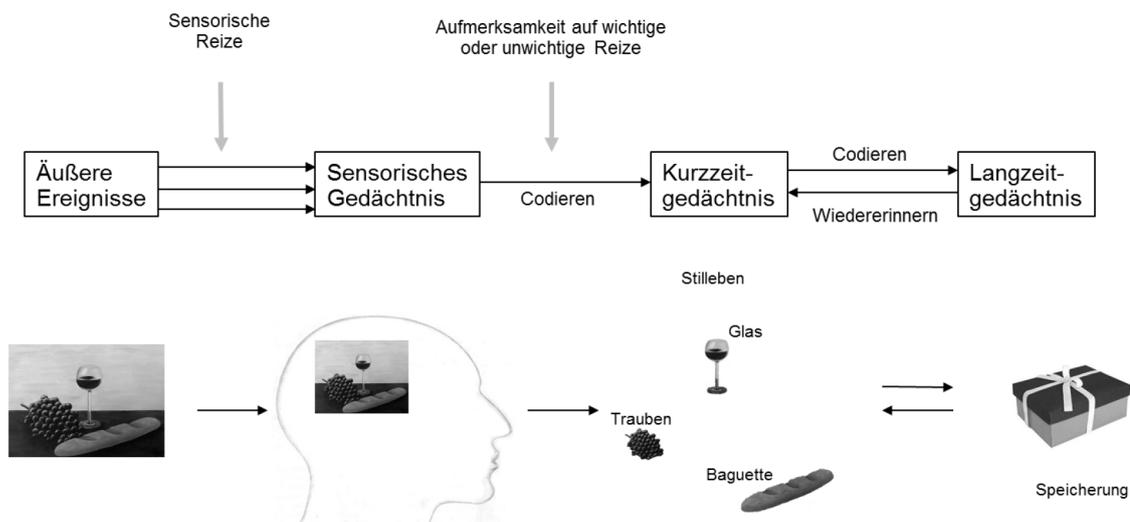


Abbildung 3-15: Gedächtnissystem nach Becker-Carus (selbst erstellt nach Loopik et al. 1994)

Eine Sonderform des Lernens stellt das sog. „Motorische Lernen“ dar, das auch als Training im sportlichen Sinne bekannt ist. Dieses Motorische Lernen fördert insbesondere die Koordination als wesentliche Voraussetzung für den Erwerb spezielle motorischer Fähigkeiten. Es geht dabei um Erwerb und Optimierung zentralnervöser Funktionen zur Ansteuerung der Skelettmuskulatur (Schmidt et al. 2005). Grundlegende Voraussetzung ist das Sich-Bewegen-Können, durch verschiedenartige Einschränkungen zeitlicher oder dauerhafter

¹⁶ Bei Ebbinghaus hießen KZG und LZG noch Gedächtnisspanne und natürliches Gedächtnis. Im Englischen unterscheidet man zwischen short term und long term memory (STM und LTM).

Art werden sowohl der Prozess des Erlernens als auch die Ausführung der erlernten Bewegung selbst erschwert oder unmöglich gemacht.

Eine typische Eigenschaft erlernter Bewegungen ist, dass die räumlich-zeitlichen Anteile wie auch die dynamisch-statischen weitgehend unbewusst ablaufen, da die zugehörigen zentralnervösen Prozesse der Informationsaufnahme, -verarbeitung, -speicherung und -abgabe überwiegend peripher durch geschlossene Regelkreise mit automatischer Verrechnung im Sinne der Sensorik (s. a. 3.1.2) ablaufen. In der Umsetzung des Erlernten reproduziert der Körper nicht einfach invariante Bewegungsmuster, sondern modifiziert bedarfsgerecht die gespeicherten Bewegungsprogramme. (Schmidt et al. 2005). Für die Gestaltung von MMS allgemein sollten immer Varianten gefunden werden, die das Herausbilden solcher Programme (Bewegungstereotype) unterstützen. Bei Neuentwicklungen sollten sich diese möglichst an den bekannten und damit bereits erlernten Bewegungsformen wie auch an den grundsätzlichen physiologischen Möglichkeiten orientieren. Für die Schnittstellen, vor allem aber Eingabegeräte oder -elemente, sollten großräumige Bewegungen generell vermieden werden, da hierbei eine Verkopplung von Grob- und Feinmotorik mit der dazu notwendigen Aktivierung und Nutzung großer und kleiner Skelettmuskeln mit ihren jeweils sehr unterschiedlichen Eigenschaften notwendig ist, was häufig kontraproduktiv zur Aufgabe einer möglichst schnellen und präzisen Eingabe ist. Andererseits sollten nach Möglichkeit Wege gefunden werden, um repetitive Bewegungen in das Eingabekonzept einzubauen, da wie durch die beschriebene Verlagerung der zentralnervösen Ansteuerungsprozesse in die peripheren sensomotorischen Regelkreise Verarbeitungskapazität im Großhirn freigemacht werden kann.

3.3 Psychophysik

Mit der Fragestellung, wie groß ein Reiz sein muss, um unter bestimmten Umgebungsbedingungen wahrgenommen zu werden (z. B. Helligkeit des Displays in einem Flugzeugcockpit, Lautstärke der Alarmierung oder einer Durchsage in einer Werkhalle, Leuchtdichteunterschiede, Kontrastverhältnis von Anzeigen in Leitwarten etc.) oder wie stark sich Reize verändern müssen, um gegeneinander abgrenzbar zu sein, damit befasst sich der Wissenschafts-

zweig der Psychophysik. Dieser Begriff wurde durch Gustav Theodor Fechner¹⁷ 1860 geprägt. Als erster widmete sich Ernst Heinrich Weber seit Anfang der 1830er Jahre der systematischen Untersuchung von Wahrnehmbarkeitsschwellen sowie ersten Messverfahren zur Bestimmung physikalischer Reize.

„Die Psychophysik versucht, die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen physikalischen Stimuli, die auf die Sinnesorgane einwirken, und den dadurch hervorgerufenen Empfindungen quantitativ exakt zu beschreiben. Sie ist das älteste Teilgebiet der wissenschaftlichen Psychologie.“ (Zimbardo et al. 1999, S. 116)

Es werden zwei Arten von Wahrnehmbarkeitsschwellen unterschieden, die beide für die ergonomische Systemgestaltung von Bedeutung sind: die absolute Schwelle und die Unterschiedsschwelle.

1. Mit der absoluten Schwelle wird derjenige Betrag einer physikalischen Größe (i. d. R. Energie) beschrieben, der gerade ausreicht, um bei einem Menschen überhaupt eine Empfindung auszulösen.
2. Die Unterschiedsschwelle ist der physikalische Abstand (z. B. die Energiedifferenz), der gerade ausreicht, um diese beiden Reize voneinander zu unterscheiden (als „unterschiedlich“ wahrzunehmen).

Die absolute Schwelle hat dabei die Einheit der jeweiligen physikalischen Größe, die Unterschiedsschwelle ist theoretisch als Verhältnisgröße einheitenlos und könnte in [Bel] angegeben werden. In der Praxis hat sich dafür jedoch die „Pseudo“-Einheit [JND] für „just noticeable difference“¹⁸ (differentielle Wahrnehmbarkeitsschwelle) eingebürgert.

Neben Fechner waren es Ernst Heinrich Weber mit Untersuchungen zu den Unterschiedsschwellen (1834) und vor allem Stanley Smith Stevens mit Experimenten zur Konstruktion psychophysischer Skalen (1957), die wesentliche Beiträge zur Psychophysik leisteten und grundlegende Gesetzmäßigkeiten entdeckten. Ihre Arbeiten stellten die drei „Grundgesetze der Psychophysik“ auf. Für den Gestalter von AS ist es wichtig zu wissen, dass zur Wahrnehmung

¹⁷ G. T. Fechner: geb. 19. April 1801 in Groß Särchen bei Muskau; gest. 18. November 1887 in Leipzig; Pseudonym Dr. Mises

¹⁸ engl.: eben noch wahrnehmbarer Unterschied

von Unterschieden in der Reizstärke bzw. zur Feststellung von Abständen dieser Unterschiede, immer bestimmte und für jede Reizqualität charakteristische Mindestverhältnisse dieser Reize notwendig sind. Damit sind auch die unterschiedlichen Diskriminationsfähigkeiten unserer Wahrnehmungskanäle berücksichtigt.

3.4 Berücksichtigung der psychophysischen Eigenschaften bei der Gestaltung von Assistenzsystemen

Um aus der Vielfalt der aus der menschlichen Anatomie und Physiologie resultierenden Eigenschaften und den damit verbundenen Anforderungen an die Gestaltung von AS praktikable Empfehlungen für die Entwickler ableiten zu können, sollen an dieser Stelle komprimiert in Form eines Anforderungskatalogs die wichtigsten Vorgaben zusammengestellt werden. Außerdem werden mit der Händigkeit und den sog. mentalen Modellen noch zwei die Gestaltung beeinflussende bzw. bei der gestalterischen Umsetzung zu nutzende Phänomene kurz vorgestellt.

3.4.1 Händigkeit

Die Händigkeit ist ein Phänomen, das vor allem bei Primaten beobachtet wird und die Bevorzugung einer bestimmten Hand für die Ausführung (vor allem komplexer) Tätigkeiten beinhaltet. Allerdings sind auch schon bei niederen und stammesgeschichtlich älteren Tieren wie Krustentieren Asymmetrien beobachtet worden, diese beziehen sich allerdings auf das Nervensystem (Stein & Stoodley 2006, S. 428). Viele Säugetiere, wie z. B. Pferde, besitzen ebenfalls eine dominante Seite. Im Gegensatz zum Menschen sind die präferierten Seiten bei Tieren aber in etwa gleichverteilt. Bei Menschenaffen wurde zwar auch eine teilweise Ungleichverteilung beobachtet (s. Cashmore et al. 2008), was aber möglicherweise auch ein Problem der geringen Stichprobengröße war.

Die Prägungsvorgänge der Händigkeit beim Menschen (und den anderen Primaten) sind noch nicht vollständig geklärt. Grundsätzlich besteht jedoch eine funktionelle Asymmetrie beider Hirnhälften, die sich im Verlauf der Evolution entwickelt hat und durch die damit ermöglichte Spezialisierung einen Vorteil gegenüber Konkurrenten brachte (Stein & Stoodley 2006, S. 435). Es

gibt Anzeichen dafür, dass die Händigkeit zu einem Teil genetisch veranlagt ist, allerdings treten auch bei (genetisch gleichen) eineiigen Zwillingspaaren bei etwa einem Viertel unterschiedliche Händigkeiten auf (Stein & Stoodley 2006).

Durch alle Zivilisationen hindurch lässt sich eine Rechtshänderdominanz nachweisen, wobei die Zahlenwerte dafür je nach Quelle deutlich schwanken. Die frühere Annahme, die Rechtshändigkeit habe sich mit dem Gebrauch von Waffen, insbesondere von Schwert und Schild (Stein & Stoodley 2006, S. 385), herausgebildet, ist überholt. Grund dafür sind Untersuchungen an Werkzeugen von Urmenschen und Neandertalern, an denen auch schon eine überwiegende Rechtshändigkeit nachgewiesen werden konnte (Cashmore et al. 2008). Somit trägt zwar die Sozialisierung mit zur Ausprägung einer Handpräferenz bei, aber auch ohne gesellschaftliche Konventionen und Stigmatisierungen, wie sie heute in der Erziehung und Gesellschaft allgemein üblich sind, beträgt z. B. in Deutschland der Anteil der Linkshänder nur ca. 10 % bis etwa 15 % (nach DGAUM 2014). Die sog. funktionellen Beidhänder sind noch seltener, wobei es dabei auch auf die jeweilige Definition zur Beschreibung der Beidhändigkeit ankommt.



Abbildung 3-16: „Anatomisch“ vorgeformte Fernbedienung der Fa. Thomson (2000) mit deutlicher Einschränkung der Nutzbarkeit für Linkshänder (Bildquelle [amazon.de])

Für die Gestaltung von MMS, insbesondere aber deren Schnittstellen zur Bedienung (im engeren Sinne zur Eingabe), spielt die Händigkeit eine nicht zu unterschätzende Rolle. So sollten Geräte und Schnittstellen so gestaltet sein, dass sie stets mit beiden Händen gleich gut benutzt werden können, oder sie müssen auf die jeweils präferierte Hand einstellbar sein (als Gegenbeispiel kann exemplarisch die Abbildung 3-16).

3.4.2 Mentale Modelle

Mentale Modelle dienen in der Psychologie der Verhaltensklärung. Sie werden durch den Menschen zur inneren (kognitiven) Repräsentation von Objekten, Strukturen, Abläufen, Problemlösungen und Funktionsweisen genutzt. Dabei sind diese Modelle je nach Individuum und Aufgabengebiet unterschiedlich komplex. Mentale Modelle können als individuelle Abbildungen der Wirklichkeit verstanden werden, die dem Menschen die Reaktion auf neuartige Situationen erleichtern bzw. erst ermöglichen. Nach HASEBROOK sollen uns die mentalen Modelle vor überflüssigem Nachdenken schützen und damit die Arbeit vereinfachen, das Verkürzen von Denkprozessen durch eine interne Modellbildung brachte in der Evolution einen entscheidenden Vorteil gegenüber den Konkurrenten (vgl. Hasebrook 1995). Das Verstehen neuer Sachverhalte und Lösen neuartiger Probleme erfolgt über das Schließen von Analogien und das Übertragen bekannter Strategien. Beispiele für mentale Modelle sind z. B. die Vorstellung eines Stromkreises als Wasserkreislauf in sehr dünnen Rohren oder als Männchen, die im Inneren des Kabelrohrs herumlaufen (vgl. Dutke 1994, S. 3 f. bzw. Gentner & Gentner 1983). Eine weitere Erklärung über die Entscheidungsfindung mit Hilfe mentaler Modelle liefert SCHLICK. Danach werden mentale Modelle situationsabhängig gebildet, um erkannte Informationen in eine Systemanalyse zu transformieren und bei der Vorhersage des Systemverhaltens zu helfen (Schlick et al. 2010, S. 375 f.). Gleichzeitig unterstützen sie dadurch das Situationsbewusstsein („situation awareness“) und helfen „Speicherplatz“ im Langzeitgedächtnis zu sparen und die Reaktionszeiten zu verkürzen. Das Konzept der situation awareness beschreibt nach ENDSLEY die Vollständigkeit wie auch Korrektheit des jeweiligen mentalen Modells in Bezug auf die aktuelle Umgebungssituation (Endsley 1995). Dieses Konzept findet für Gestaltungslösungen häufig in hochdynamischen Aufgabenkontexten wie Flugzeug- oder Fahrzeugsteuerungen oder

hochintegrierten bzw. hochkomplexen Umgebungen wie Leitständen, Blockwarten, Kraftwerken oder militärischen Anwendungen seine Anwendung.

Da mentale Modelle mit jeder Aktivierung neu gebildet werden und sich dabei ständig verändern (können), muss diese Fluidität bei Gestaltungsprozessen berücksichtigt werden. Besonders bei Produkten mit kurzen Entwicklungszyklen oder hoher Dynamik aufgrund der Darbietungsform (z. B. Webseiten) muss daher auf strikte Konsistenz geachtet werden (s. 4.3.1), um die Usability nicht zu beeinträchtigen. Wird diese Regel beachtet, kann davon ausgegangen werden, dass der Nutzer mit dem einmal gebildeten Modell schneller navigieren kann, die Belastung nicht so hoch ist und die Fehlerrate sinkt (Dutke 1994 und Hasebrook 1995).

3.4.3 Weitere abgeleitete Gestaltungsempfehlungen

Eine weitere Erkenntnis aus den bereits getroffenen Aussagen zu den menschlichen Befähigungen mit Bezug auf die Gestaltung von AS ist die Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Sinnesmodalitäten. Am Beispiel der Wahrnehmungsfähigkeit unseres visuellen Systems für unterschiedliche Farbreize lässt sich diese Notwendigkeit verdeutlichen. So berechnet sich der Helligkeitseindruck einer Lichtquelle (und damit auch einer optischen Anzeige) nicht einfach aus der Summe der Einzelhelligkeiten, sondern gewichtet gemäß der folgenden Formel {2} (aus Schlicht 1995):

$$H = 0,59gn + 0,3rt + 0,11bl \quad [2]$$

H: Helligkeitseindruck, gn: grün, rt: rot, bl: blau

Formel 2: Formel zur Berechnung des tatsächlich wahrgenommenen Helligkeitseindrucks durch Zusammensetzung aus den drei Grundfarben rot, grün und blau (Schlicht 1995, S. 17)

Dieses Phänomen ist sowohl bei der Gestaltung von Hintergründen als auch bei der Wahl von Farben zur Hervorhebung wichtiger Informationen zu berücksichtigen.

Weiterhin bedeutsam ist die Tatsache, dass der Mensch grundsätzlich „analog“ denkt und wahrnimmt. Zudem ist die Wahrnehmungsgeschwindigkeit für visuelle Reize bei gleichzeitig geringster Fehlerwahrscheinlichkeit dann am

höchsten, wenn dem Auge Vergleichsmöglichkeiten oder Grenzwertmarkierungen geboten werden (Beispiel Nonius beim Messschieber). In (Meißner & Engmann 2008) ist beispielhaft eine überarbeitete Zusammenstellung verschiedener Fehlerwahrscheinlichkeiten von SWAIN und GUTTMAN beim Ablesen von Anzeigen enthalten, die dieses Phänomen verdeutlicht (vgl. Swain & Guttman 1983).

Aus der Organisationsstruktur des Großhirns sowie den bereits beschriebenen Informationsverarbeitungsprozessen leiten sich weitere Gestaltungsempfehlungen ab, die teilweise schon älter sind als die sie erklärenden Erkenntnisse über Bau und Funktion des menschlichen Gehirns. So erfolgte die Formulierung der in der Gestaltpsychologie bekannten „Gestaltgesetze“ teilweise bereits in der Antike. In der Gestaltpsychologie werden heute zehn Gestaltgesetze beschrieben, deren Umsetzung auch bei der Gestaltung grafischer Oberflächen oder bei der ergonomischen Systemgestaltung z. B. zur Anordnung von Bedienelementen in beliebigen Umgebungen eine große Bedeutung haben. Im Einzelnen sind sie jedoch nicht (alle) theoretisch begründet oder belegt. Trotzdem sind sie sowohl intuitiv wirksam als auch empirisch und experimentell gestützt. (vgl. u. a. Schlick et al. 2010, S. 355 f.)

Gestaltgesetze

Gestaltgesetze beschreiben Vorgaben für die Anordnung oder Struktur, bei deren Einhaltung nach den Erkenntnissen der Gestaltpsychologie sowohl ein ästhetischer Eindruck entsteht als auch eine Unterstützung bei der Wahrnehmung vor allem komplexer und anspruchsvoller Informationen erfolgt. Umfangreiche Untersuchungen zu Gestaltgesetzen erfolgten durch WERTHEIMER, KOFFKA und KÖHLER sowie in der „Berliner Schule“ Anfang des 20. Jh. u. a. durch METZGER, RAUSCH und GOTTSCHALDT. Dabei wurde insbesondere die Tendenz, zu Gruppierungen zu neigen, untersucht. Im Folgenden werden die heute allgemein akzeptierten zehn Gesetze kurz vorgestellt (s. Katz 1969).

Gesetz der Ähnlichkeit (Gleichheit).

Einander ähnliche Elemente werden eher als zusammengehörig wahrgenommen oder erlebt als einander unähnliche.

Dieses gilt als stärkstes Gesetz, dem sich alle anderen mehr oder weniger unterordnen (müssen). Das Gesetz beschreibt die Eigenschaft unseres visuellen Systems, dass sich einander ähnlich sehende Objekte als zusammengehörig empfunden werden. Worin diese Ähnlichkeit besteht ist dabei unerheblich. Zudem gilt bei diesem Gesetz auch der Umkehrschluss: unterscheiden sich Elemente in wichtigen Eigenschaften, so werden sie als nicht zusammengehörig wahrgenommen oder empfunden.

Gesetz der Nähe

Elemente mit geringen Abständen zueinander werden als zusammengehörig wahrgenommen.

Gesetz der Prägnanz

Es werden bevorzugt (oder zeitlich/räumlich zuerst) Elemente wahrgenommen, deren Gestalt sich von anderen durch ein bestimmtes Merkmal abhebt.

Zudem strebt die Wahrnehmung danach, resultierende Elemente als eine möglichst einfache Struktur zu erkennen.

Gesetz der Kontinuität

Reize oder Elemente, die eine Fortsetzung vorangehender zu sein scheinen, werden auch als zusammengehörig angesehen.

Gesetz der Geschlossenheit

Linien, die eine Fläche umschließen, werden unter sonst gleichen Umständen leichter als eine Einheit aufgefasst als diejenigen, die sich nicht zusammenschließen.

Gesetz der gemeinsamen Bewegung

Zwei oder mehrere sich gleichzeitig in eine Richtung bewegende Elemente werden als eine Einheit oder Gestalt wahrgenommen.

Gesetz der fortgesetzt durchgehenden Linie (Gesetz der guten Fortsetzung bzw. Gesetz der guten Gestalt)

Linien werden immer so gesehen, als folgten sie dem einfachsten Weg.

Kreuzen sich zwei Linien, so gehen wir nicht davon aus, dass der Verlauf der Linien an dieser Stelle einen Knick macht, sondern wir sehen zwei gerade durchgehende Linien (s. Abbildung 3-17).

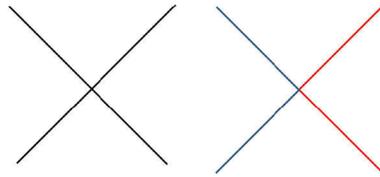


Abbildung 3-17: Veranschaulichung des Gesetzes der Kontinuität anhand zweier Linienpaare (durchgehende Linie schwarz, abknickende Linien blau und rot)

Zusätzlich zu diesen von WERTHEIMER formulierten Gesetzen fand PALMER in den 1990er Jahren drei weitere Gestaltgesetze (s. Palmer 1999).

Gesetz der gemeinsamen Region

Elemente in abgegrenzten Gebieten werden als zusammengehörig empfunden.

Gesetz der Gleichzeitigkeit

Elemente, die sich gleichzeitig verändern, werden als zusammengehörig empfunden.

Gesetz der verbundenen Elemente

Verbundene Elemente werden als ein Objekt empfunden.

Außerdem gibt es noch zahlreiche weitere ähnliche Gestaltgesetze (in der Literatur werden bis zu hundert und mehr aufgeführt), als Beispiel sei noch ein weiteres zuvor nicht genanntes aufgeführt:

Gesetz der Vertrautheit

Es beschreibt die Tendenz, bereits zuvor wahrgenommene und im Gedächtnis gespeicherte Bildelemente als zusammengehörig anzusehen.

Der Wunsch zur Gruppierung von Elementen und die daraus resultierende bessere Wahrnehmbarkeit, der sich auch in vielen der o. g. Gestaltgesetze abbildet, resultiert auch aus physiologisch determinierten Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen. So ist es uns Menschen nicht möglich, unerwünschte bzw. irrelevante Informationen vollständig zu unterdrücken und von der Verarbeitung auszuschließen, wenn sie im Hauptwahrnehmungsbereich des

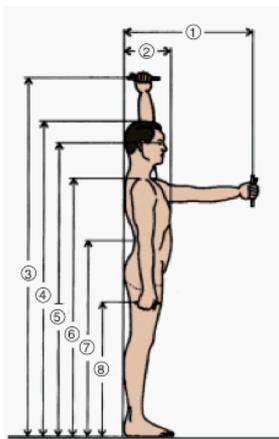
Auges liegen (vgl. Schlick et al. 2010, S. 361 f.). BROADBENT hat nachgewiesen, dass die Fokussierung oder Trennung zweier Stimuli unmöglich ist, wenn sie weniger als 1° Sehwinkel auseinanderliegen (s. Broadbent 1982). Auch diese Beobachtung ist natürlich in der Gestaltung von Anzeigen und Bedienelementen zu berücksichtigen.

3.5 Katalog wesentlicher zu berücksichtigender psychophysischer Eigenschaften des Menschen

Da die in den vorangegangenen Kapiteln getroffenen Feststellungen über die menschlichen Eigenschaften sehr vielfältig sind und zum Teil für Systemgestalter nur schwer zu direkten Gestaltungsanforderungen in Beziehung gesetzt werden können, sollen über eine Synopsis deren Schwerpunkte herausgestellt und in einem „Anforderungskatalog“ zur Umsetzung bei der Gestaltung von AS festgehalten werden. Diese eigenständig auf Basis der vorhergehenden Propädeutik erarbeitete Auflistung erfolgt ähnlich einer Werteempfindungstabelle nach Mussforderungen (unbedingt bei der Gestaltung einzuhalten), Soll-Forderungen (sinnvollerweise einzuhalten) und Wunsch-Forderungen (wünschenswert, nach Möglichkeit einzuhalten).

Folgende Eigenschaften sind als unverzichtbar einzustufen und damit als unumgänglich bei der Gestaltung zu berücksichtigen (Muss-Forderungen):

1. Anatomische Verhältnisse, anthropometrische Daten



Körpermaße stehender Personen	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Abmessungen in cm	männlich	männlich	männlich	weiblich	weiblich	weiblich
1. Reichweite nach vorn	68,5	74,0	81,5	62,5	69,0	75,0
2. Körpertiefe	26,0	28,5	38,0	24,5	29,0	34,5
3. Reichweite nach oben, beidarmig	197,5	207,5	220,5	184,0	194,5	202,5
4. Körperhöhe	165,0	175,0	185,5	153,5	162,5	172,0
5. Augenhöhe	153,0	163,0	173,5	143,0	151,5	160,5
6. Schulterhöhe	134,5	145,0	155,0	126,0	134,5	142,5
7. Ellenbogenhöhe ü. d. Standfläche	102,5	110,0	117,5	96,0	102,0	108,0
8. Höhe d. Hand ü. d. Standfläche	73,0	76,5	82,5	67,0	71,5	76,0
9. Hüftbreite stehend	34,0	36,0	38,5	34,0	36,5	40,0
10. Schulterbreite	44,0	48,0	52,5	39,5	43,5	48,5

Abbildung 3-18: Werte der Körpermaße nach DIN 33402-2:2005-12 (DIN 33402-2 Berichtigung 1:2007-05)

Da zu allen AS zwingend Eingabegeräte dazugehören (vgl. 2.1), müssen diese selbstverständlich durch die sie bedienenden Personen erreichbar-, und bedien- und damit benutzbar sein. Dabei tritt eine große Spreizung der möglichen in Frage kommenden Benutzer und ihrer jeweiligen Größen auf. Für Gestaltungsaufgaben soll die Bedienbarkeit sowohl durch eine „kleine“ Frau (5. Perzentil) als auch durch einen „großen“ Mann (95. Perzentil) sichergestellt werden. Daraus resultiert beispielsweise die Berücksichtigung eines Bereichs der Körperhöhe von 153,5 cm bis 185,5 cm entsprechend den tabellierten Werten in der DIN 33402-2:2005-12, s. Abbildung 3-18.

2. Eigenschaften des menschlichen Sensoriums

Die in Kapitel 3.1.2 dargelegten wesentlichen Eigenschaften des menschlichen sensorischen Apparats bilden die Grundlagen für den gesamten Input der Wahrnehmung und damit die Entscheidungsfindung. Der Schwerpunkt liegt auf der Einhaltung der Rahmenbedingungen für die visuelle, auditive und haptische Wahrnehmung. Dabei ist sowohl eine adäquate Reizung notwendig, um eine Wahrnehmung zu erzeugen, wie auch Schäden durch zu hohe oder nicht dem Rezeptortyp entsprechenden Reizformen zu vermeiden.

Eine weitere Anforderung bildet die Berücksichtigung nicht korrigierbarer Beeinträchtigungen wie z. B. von Farbfehlsichtigkeiten. Deshalb ist eine Information immer mindestens auf zweierlei verschiedene Art zu kodieren, wenn eine davon eine Farbkodierung ist (DIN EN ISO 9241-12, Kap. 7.5).

3. Psychophysische Eigenschaften

Spielen Fragen der Wahrnehmung von Unterschieden in der Reizstärke eine Rolle bei der Nutzung eines Systems, dann sind die Gesetze von Weber, Fechner und Stevens zu berücksichtigen. Änderungen der Reizstärke müssen immer bestimmte Mindestwerte betragen, damit sie vom Nutzer/Bediener überhaupt wahrgenommen und damit in die Entscheidungen einbezogen werden können. Für verschiedene Sinnesmodalitäten und Reizqualitäten sind diese notwendigen Änderungen der Reizstärke jeweils spezifisch unterschiedlich und verlaufen zudem nichtlinear. Im Einzelfall müssen diese Änderungsschwellen experimentell ermittelt werden, da sie nicht in jedem Fall bereits bekannt sind.

Gleichzeitig können Menschen auch motorisch bestimmte Vorgänge wie z. B. Einstellaufgaben nur limitiert (in der zeitlichen Abfolge oder räumlichen Anordnung) durchführen, was in der Auslegung von Bediensystemen ebenso zu berücksichtigen ist. Insbesondere die Einhaltung des anatomisch determinierten menschlichen Wirkraums ist über die in entsprechenden Normen dargelegten Werte im Entwurf durch Umsetzung entsprechender Anforderungen abzubilden.

4. Kognitive Eigenschaften

Die Leistungsfähigkeit unseres Arbeitsgedächtnisses ist dadurch zu berücksichtigen, dass für unmittelbar systemrelevante Entscheidungen nicht mehr als fünf Items (bzw. „chunks“¹⁹) gleichzeitig (entspricht der durchschnittlichen Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses, vgl. Miller 1956) herangezogen werden dürfen. Ist eine größere Anzahl unabdingbar, dann sind sequentielle Prozesse vorzusehen, innerhalb derer über geeignete Hilfestellungen ein erneutes Erinnern möglich wird.

Um die gezielte Wahrnehmung wichtiger Informationen zu unterstützen, sind die Anzeigen so zu gestalten, dass zusammengehörige Informationen in Gruppen räumlicher Nähe zusammengefasst werden und durch gleichartige graphische und farbliche Gestaltung repräsentiert werden. Wenn im Gegensatz dazu Informationen unterschiedliche Aufgaben, Systeme oder Prozesse betreffen, sollten die zugehörigen Anzeigeelemente auch ausreichend weit getrennt platziert und durch ihre graphische Gestaltung als nicht zusammengehörig ausgewiesen werden.

Eigenschaften, die nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollten (Soll-Forderungen):

1. Anatomische Verhältnisse, anthropometrische Daten

Um den späteren Nutzern keine zusätzlichen Hürden bei der Nutzung der entworfenen Systeme zu schaffen, sollten Anpassungen oder Gestaltungslösungen für spezielle Eigenschaften wie Rechts- / Linkshändigkeit oder direkte

¹⁹ Der Begriff der „chunks“ stammt von George A. Miller aus dem Jahr 1956. Er untersuchte den Umfang unseres Kurzzeitgedächtnisses und ermittelte als Durchschnittswert speicher- und wieder abrufbarer Elemente die Anzahl 7 ± 2 (vgl. Miller 1956). Neuere Untersuchungen korrigieren diesen Wert sogar noch weiter nach unten auf 3 – 4.

Abformungen von Körperteilen (beispielsweise von Händen wie in manchen Sportarten üblich) vermieden werden. Ist eine Differenzierung aus Gründen des Aufgaben- bzw. Anwendungskontextes (s. 5.3.1) notwendig, dann müssen für alle möglichen Varianten geeignete Lösungen zur Verfügung gestellt werden.

2. Eigenschaften des menschlichen Sensoriums

Für die sensorischen Eigenschaften gilt das oben Genannte analog. Grundsätzlich sollten keine verschiedenartigen Lösungen notwendig sein bzw. keine speziell angepassten Systeme vorgesehen werden. Eine Ausnahme bildet der Ausgleich vorhandener Defizite durch technische Unterstützung, wie z. B. Hör- oder Sehhilfen. Eine uneingeschränkte Benutzbarkeit dieser Hilfen in Verbindung mit dem entwickelten technischen System versteht sich von selbst.

Wunschforderungen an die Gestaltung zur Berücksichtigung menschlicher Eigenschaften:

1. Anatomische Verhältnisse, anthropometrische Daten

Zur besseren Adaptation an die großen Unterschiede in der Länge oder dem Durchmesser der einzelnen Körperteile wie auch dem individuellen Kraftvermögen sollten mechanische Bauteile bzw. Systemkomponenten, mit denen der Benutzer physisch interagiert, in ihren physikalischen Dimensionen einstellbar sein. Solche Einstellmöglichkeiten betreffen z. B. die Längen von Hebelarmen, aber idealerweise auch Massenträgheitsmomente.

2. Eigenschaften des menschlichen Sensoriums

Alle nicht systemrelevanten, aber dem Nutzer in der Bedienung beeinflussenden Eigenschaften wie z. B. Helligkeit, Kontrast und Farbprofil einer Anzeige, Lautstärke von Audioausgaben, Farben des Gesamtsystems etc. sollten nach Möglichkeit einstellbar oder nach Nutzerwunsch wählbar sein. Die individuellen Fähigkeiten und evtl. Defizite ausgleichende Maßnahmen sollten permanent ins System integriert werden (Bsp. „Daltonizing“ für Farbfehlsichtige, vgl. 5.5) oder bei Bedarf einfach abrufbar sein.

3. Psychophysische Eigenschaften

Analog zu 2.

Die Anzahl von Arbeitsschritten, Menüebenen und –punkten sollte minimiert werden und nach Möglichkeit vier Hierarchieebenen nicht überschreiten. Über die Einhaltung der Gestaltgesetze sowie farbige und anderweitige Kodierungen sollten implizite und darüber hinaus auf Nutzerwunsch auch explizite Hilfestellungen in Form von Text, Abbildung oder Verweisen angeboten werden.

Mit diesen Kenntnissen über die psychophysischen Eigenschaften und unter Nutzung des aufgestellten Anforderungskataloges sind erste Voraussetzungen für die nutzergerechte Gestaltung eines AS geschaffen worden. Ob dieses tatsächlich vom Nutzer akzeptiert wird und sich damit für ihn als gebrauchstauglich erweist, muss über entsprechende Tests und Evaluierungen ermittelt werden. Die Grundlagen dafür werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Techniktücken sind Entwicklungslücken.

Erhard Horst Bellermann

4 Die Gebrauchstauglichkeit als Bewertungsmaßstab für eine nutzergerechte Gestaltungsgüte von AS

4.1 Problemstellung

Mit der Kenntnis der psychophysischen Eigenschaften des Menschen und einem entsprechenden Anforderungskatalog zur nutzergerechten Gestaltung von AS sind erste grundlegende Voraussetzungen beschrieben worden. Um einen darauf aufbauenden Gestaltungsprozess evaluieren zu können, müssen quantitative oder qualitative Bewertungsmöglichkeiten vorhanden sein, die eine Aussage über die Umsetzung der gestellten Forderungen erlauben. Als ein möglicher Bewertungsmaßstab bietet sich die Gebrauchstauglichkeit und die damit stark korrelierte Nutzerakzeptanz an. Da die Gebrauchstauglichkeit selbst über Normen und Richtlinien definiert ist, folgt daraus die Frage nach der Messbarkeit oder qualitativen Bewertbarkeit der Nutzerakzeptanz. Erreicht diese ein hohes positives Maß, dann hat das dabei verwendete technische System eine hohe Gestaltungsgüte im Sinne einer Anpassung an den jeweiligen Nutzer.

Ob ein technisches System wie die in dieser Arbeit betrachteten AS zum „Gebrauch tauglich“ ist und somit vom Kunden „(gut) benutzt“ werden (kann), hängt im Wesentlichen von der Bedienbarkeit dieses Produkts bzw. Systems ab. Somit sind diese drei Qualitätskriterien (Benutzbarkeit, Bedienbarkeit und Gebrauchstauglichkeit) untrennbar miteinander verknüpft und stellen die für den Nutzer die Akzeptanz mitprägenden Systemeigenschaften dar. Insofern ist eine nähere Betrachtung, Definition und anschließende Feststellung der Gestaltungsmöglichkeiten dieser drei Kategorien unabdingbar.

Zur Verdeutlichung für das o. g. Problem seien die in der folgenden Abbildung 4-1 aufgeführten Beispiele von Armbanduhren mit Taschenrechnerfunktion aufgeführt.



Abbildung 4-1: Beispiele für die Verschmelzung von zwei Geräten in einem neuen Design, ohne dass eine Nutzerakzeptanz erzielt werden konnte (links Piratron, rechts Seiko C153-5007 (1977), Bildquelle [uhrenforum.de])

Den hier gezeigten Uhrenmodellen (es gibt noch verschiedene weitere Ausführungen, die im Kern dieselbe gestalterische Lösung repräsentieren) liegt die Idee zugrunde, zwei häufig genutzte Gebrauchsgegenstände in einem Produkt zu vereinen. Dabei wurden sowohl psychophysische Eigenschaften (Wahrnehmbarkeit der Anzeige, verminderte Bedienbarkeit sowohl durch limitierte motorische wie visuelle Fähigkeiten aufgrund der winzigen Abmessungen der Eingabeelemente) als auch kognitive Eigenschaften (Fehlen eines mentalen Modells über die Funktionsweise: eine Uhr ist kein Taschenrechner) vernachlässigt. Zudem ist die Lücke zwischen Funktionsvielfalt und tatsächlicher Realisierbarkeit aufgrund der begrenzten Anzahl an Ein- und Ausgabeelementen gestalterisch nicht zu schließen. Damit verlagert sich die Nutzung bestimmter Funktionalitäten auf eine Mehrfachbelegung der Eingabeelemente, die wiederum durch fehlende dafür geeignete Modellvorstellungen nur sehr aufwendig über das Handbuch erlernt werden müssen. In der Folge setzte sich diese Gestaltungslösung nicht wie erhofft durch, und nach einem kurzen Verkaufshoch verschwanden diese Uhren bereits nach zwei bis drei Jahren wieder weitgehend vom Markt. Sie erwiesen sich damit insgesamt als „Entwicklungs-Flop“.

4.2 Bedienbarkeit als wesentliches Merkmal der Gebrauchstauglichkeit

4.2.1 Definition der Gebrauchstauglichkeit (Usability)

Die Gebrauchstauglichkeit (eines Produkts oder Systems) wird in der Regel mit dem englischen Begriff der Usability²⁰ gleichgesetzt. Zur Definition bzw. Beschreibung der Gebrauchstauglichkeit wird häufig die Definition der DIN EN ISO 9241 Teil 11 herangezogen. Diese sagt aus, dass die Gebrauchstauglichkeit die Eignung eines Produktes oder Systems beschreibt, vorbestimmte Ziele effizient, effektiv und zufriedenstellend zu erreichen²¹. Dabei ist die Gebrauchstauglichkeit immer in Bezug zu einem bestimmten Nutzungskontext und in Verbindung mit einem bestimmten (adressierten) Nutzer oder einer Nutzergruppe zu sehen. Somit kann man die Benutzungsfreundlichkeit ("usability") ganz allgemein beschreiben als: *"...the ease of use and acceptability of a system or product for a particular class of users carrying out specific tasks in a specific environment; where 'ease of use' affects user performance and satisfaction, and 'acceptability' affects whether or not the product is used"* (Bevan et al. 1991).

Als Nutzungskontext gilt ganz allgemein alles, was konkret bei der Nutzung eines Systems miteinander interagiert. Das beinhaltet somit den Benutzer selbst, seine Arbeitsaufgaben, die genutzten Arbeitsmittel (Hard- und Software, Material, Energie, Informationen) sowie die physische, soziale und organisatorische Umgebung, in der das Produkt (System) genutzt wird (vgl. Abbildung 2-2 und DIN EN ISO 9241-11 sowie ISO/DIS 26800:2009).

Aufgrund der oben angeführten Definition der Gebrauchstauglichkeit wird klar, dass durch die Einbeziehung des Faktors der Zufriedenheit (des Nutzers) eine enge Verbindung der Usability mit der Nutzerfreundlichkeit („user friendliness“) besteht und als Besonderheit bei der Beurteilung technischer Systeme dem bedienenden bzw. (be)nutzenden Menschen eine zentrale Rolle

²⁰ Kunstwort aus „to use“ (= nutzen, gebrauchen) und „ability“ (= Fähigkeit)

²¹ Gebrauchstauglichkeit: Das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. (DIN EN ISO 9241-11, S. 4)

als Design-mitbestimmendes Kriterium zukommt. Bereits in 2.2.3 wurde die enge Beziehung zwischen Zufriedenheit und dem Spaß („fun“, auch joy of use) bei der Nutzung eines AS hervorgehoben. Das stellen neben anderen HASSENZAHL und CARROLL heraus, indem beide anmahnen, bei der Gestaltung von interaktiven Systemen neben der (ISO 9241-gerechten) Berücksichtigung von Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit auch den Spaß nicht zu vergessen (vgl. Hassenzahl 2006; Carroll 2004). Für die Umsetzung bietet sich die Empfehlung von SHNEIDERMAN in Anlehnung an seine Golden Rules²² an:

- “(1) provide the right functions so that users can accomplish their goals,*
- (2) offer usability plus reliability to prevent frustration from undermining the fun, and*
- (3) engage users with fun-features.”*

(Shneiderman 2004)

Aus diesen Betrachtungen wird deutlich, dass die Usability nicht als unabhängige, singuläre Produkteigenschaft betrachtet werden kann, sondern als zusammenfassende Beschreibung der „Nutzungsqualität“ (s. a. Machate und Burmester 2003, S. 17). Für eine noch tiefere Betrachtung auch hinsichtlich einer positiven Beeinflussung der Gebrauchstauglichkeit sollten die einzelnen in der DIN EN ISO 9241-11 aufgeführten Komponenten Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit noch näher betrachtet werden.

Für Entwicklungsaufgaben und die Betrachtung der Gestaltungsprozesse und ihrer Ergebnisse ist zu beachten, dass, stärker als in der Ergonomie, bei der Usability die Nutzerzufriedenheit im Mittelpunkt steht (vgl. Döring 2004). Somit sind Gestaltungsmaßnahmen nicht primär auf Verbesserungen des Arbeitsprozesses oder Produktivitätssteigerungen ausgerichtet.

²² The Eight Golden Rules of interface design (in Shneiderman & Plaisant 2010, S. 88 f.)

4.2.2 Effektivität

Die Effektivität wird in der DIN EN ISO 9241 Teil 11 wie folgt definiert:

„Die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer ein Ziel erreichen.“ {Def 6}

(DIN EN ISO 9241-11, S. 4)

Diese beiden Variablen, Genauigkeit und Vollständigkeit, sind bestimmbar und können somit auch einen rechnerischen Wert (z. B. für eine computergestützte Auswertung) liefern. Dadurch ist die Effektivität einer Anwendung mess- und quantifizierbar, was in Tests von Produkten genutzt werden kann.

4.2.3 Effizienz

Im Gegensatz zur Effektivität definiert die Norm 9241 Teil 11 die Effizienz als den:

„[...] im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen.“ {Def 7}

(DIN EN ISO 9241-11, S. 4)

Dieser Aufwand kann z. B. Zeit, Material, monetäre Größen wie auch psychische und physische (nicht exakt messbare) Beanspruchungen sein.

Effizienz und Effektivität werden im Sprachgebrauch häufig synonym gebraucht, tatsächlich hängen sie auch direkt voneinander ab, ohne (lt. Definition) dasselbe zu bedeuten. Vielmehr lässt sich die Effizienz als Effektivität geteilt durch den jeweils betrachteten Aufwand bestimmen (s. a. DIN EN ISO 9241-11, S. 7). Damit ist auch die Effizienz eine messbare und mittels Tests ermittelbare Größe.

4.2.4 Zufriedenheit

Die Zufriedenheit wird in der Norm als Zufriedenstellung (des Benutzers) bezeichnet, ist damit aber nur ein Synonym für die Zufriedenheit. Zufriedenheit bedeutet das „innere Einverständnis“ mit einer Sache oder Situation, was zugleich zu einem Zustand der Ausgeglichenheit führt, indem diejenige Person nichts Anderes verlangt als das, was sie bereits hat.

Die Zufriedenstellung wird in der DIN 9241 Teil 11 wie folgt definiert:

„Freiheit von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produkts.“ {Def 8}

(DIN EN ISO 9241-11, S. 4)

In der erweiterten Betrachtung des Begriffs „Zufriedenheit“ im Kontext der Usability bedeutet es, dass sich das „Einverstandensein“ auf die Geräte- und Systemgestaltung erstreckt und den gesamten Nutzungsprozess beinhaltet. Es ist somit eine positive Grundhaltung bezüglich der eingesetzten Komponenten, ihrer Gestaltung und Anordnung gemeint wie auch die damit verbundenen Aktionen, die Ausführbarkeit und das nachvollziehbare wie reproduzierbare Erreichen eines bestimmten gewünschten Zieles bei der Nutzung des jeweiligen Systems. Außerdem ist lt. BORTZ & DÖRING zu berücksichtigen, dass Zufriedenheit nicht erst mit der Benutzung des Produktes selbst beginnt. Sie gliedert sich tatsächlich in drei Phasen (vor, während und nach der Benutzung), was ebenfalls Einfluss auf die benutzerfreundliche Gestaltung hat (s. Bortz & Döring 2006).

Bei der Nutzung technischer Systeme treten immer Fehler auf. Grundsätzlich beeinflusst die Anzahl von Fehlern bzw. notwendige Korrekturen die Zufriedenheit, das bedeutet aber im Umkehrschluss nicht, dass nur solche Systeme oder Geräte eine hohe Akzeptanz und damit Zufriedenheit erzielen, die eine „Null-Fehler-Bedienung“ erreichen. Grundsätzlich werden Fehler als etwas und Natürliches und Menschliches durchaus akzeptiert, solange eine Korrektur einfach möglich ist, die Fehlerursache bzw. –herkunft identifizierbar ist und der/die Fehler nicht permanent auftreten. Außerdem sollte Technik immer so gestaltet sein, dass der Mensch aus seinen Fehlern lernen kann (und darf).

Die Bestimmung der Nutzerzufriedenheit bzw. der Kundenzufriedenheit sowie der Zufriedenheit in beliebigen Kontexten wird häufig entweder auf das Herzberg²³- oder das Kano-Modell („Attractive-Must-Be-Quality“, Kano et al. 1984)) bezogen. Dabei ist das Kano-Modell ebenfalls eine Weiterentwicklung des Herzberg-Modells und wurde in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch NORIAKI KANO im Zuge von Untersuchungen im

²³ Genauer: Motivationstheorie oder Zwei-Faktoren-Theorie von Herzberg (Herzberg et al. 2005)

Auftrag der Fa. Konica entwickelt. KANO stellte fest, dass der Schlüssel zum Erfolg nicht im jeweils durch die Kunden explizit Geäußerten lag, sondern vielmehr in der Erlangung eines tieferen Verständnisses über die impliziten Wünsche und unausgesprochenen Bedürfnisse. (vgl. Sauerwein 2000, Bailom et al. 1996)

Tabelle 4-1: Anforderungsarten zur Erreichung von Kundenzufriedenheit nach KANO

Anforderung aus dem Kano-Modell	Beispiel für ein AS (Car-Navigationssystem)
<ul style="list-style-type: none"> • Basisattribute (Must-be) Werden vom Kunden selten explizit formuliert, Erfüllung wird aber vorausgesetzt, Nichterfüllung führt zu extremer Unzufriedenheit, Erfüllung führt nicht zu erhöhter Zufriedenheit. 	Eingabemöglichkeit beliebiger Ziele innerhalb des Kartengebietes, Zugriff auf aktuelles Kartenmaterial
<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsattribute (One-dimensional, Satisfier) Zufriedenheit steigt direkt proportional mit dem Erfüllungsgrad. 	Möglichkeit zur Abspeicherung eigener Routen, Zugriff auf eigene POI ²⁴ , Umkreissuche,..
<ul style="list-style-type: none"> • Begeisterungsattribute (Attractive, Delighters, Exciters) Höchster Einfluss auf die Zufriedenheit, sie werden selten explizit formuliert und sind daher schwer erkennbar. Bei Nichterfüllung entsteht keine Unzufriedenheit. 	Automatisches Abspeichern gefahrener Routen und Nutzung bei späteren Routenberechnungen
<ul style="list-style-type: none"> • Indifferente Attribute Einfluss auf die Zufriedenheit ist nicht feststellbar. 	Verschiedene Symbole zur Fahrzeugdarstellung auf der Karte, Auswahlmöglichkeit verschiedener Sprecher
<ul style="list-style-type: none"> • Reverse Attribute (Reversal) Es wird genau das Gegenteil erwartet, somit führt Erfüllung zu Unzufriedenheit und Nichterfüllung zu Zufriedenheit. Die Reverse-Attribute entstehen durch Fehleinschätzungen des Kundenwunsches. 	(ohne Beispiel)

KANO legte in seinem Modell fünf Arten von Anforderungen für die Erreichung der (Kunden-) Zufriedenheit fest, die der folgenden Tabelle 4-1 zu entnehmen sind.

Der Zusammenhang zwischen der Erfüllung von Kundenwünschen und dem tatsächlichen Erreichen von Zufriedenheit muss nach den Erkenntnissen von

²⁴ Abkürzung: Point of Interest

Kano nicht immer linear sein, wie sich in der Abbildung 4-2 zeigt (s. auch Good et al. 1986, Nardi 1995).

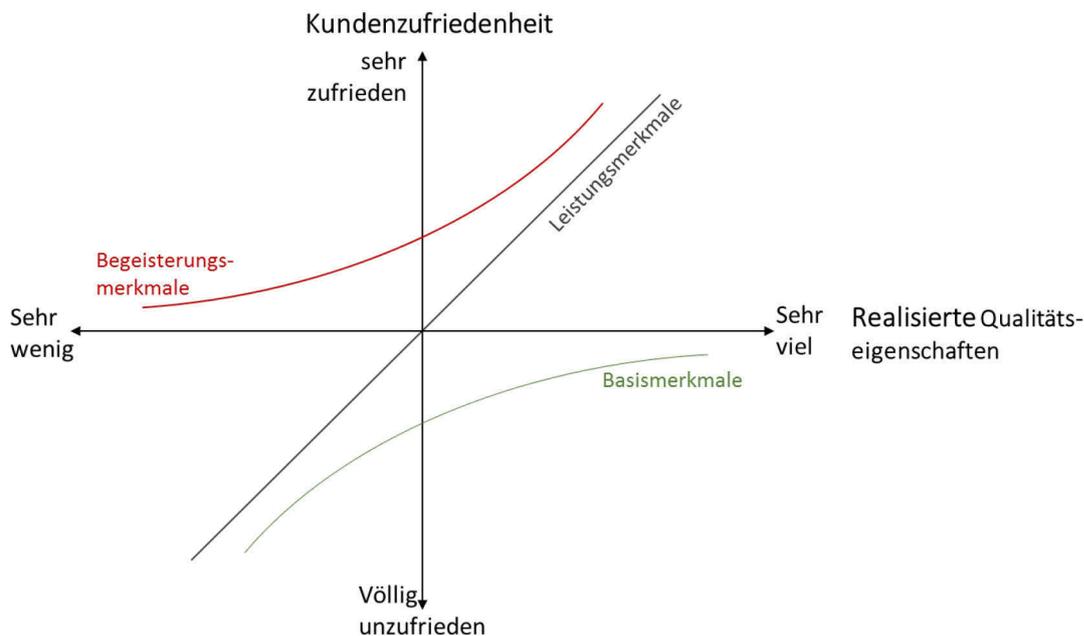


Abbildung 4-2: Grafische Darstellung des "Kano-Modells" der Kundenzufriedenheit (modifiziert nach Sauerwein 2000)

Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Methoden, um die Anforderungen für die einzelnen Attribute zu ermitteln. Diese sind ausführlich bei SAUERWEIN beschrieben (in Sauerwein 2000), weshalb hier darauf verzichtet werden soll. Der Zusammenhang verschiedener mit Hilfe des neuen Konzepts gefundener Lösungen und Systemeigenschaften auf die Zufriedenheit, insbesondere in Bezug auf die Attribute nach KANO, wurde nicht näher untersucht. Es stellt aber durchaus die Grundlage für weitergehende Forschungsfragen in der Zukunft dar.

4.2.5 Methoden zur Sicherung der Gebrauchstauglichkeit

Benutzerfreundliche Produkte entstehen nicht rein zufällig, sondern als Ergebnis der konsequenten Anwendung etablierter Methoden. Zudem besitzt die Umsetzung dieser Methoden immer einen Prozesscharakter und darf nicht nur punktuell erfolgen. (vgl. Heinsen & Vogt 2003, S. 4 f.) Dieser Prozess wird auch als User Centered Design Process (UCDP) bezeichnet und ist mittlerweile auch in Normen beschrieben und niedergelegt worden (z. B. DIN EN

ISO 13407:2000-11: Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme²⁵, s. 5.1.2). In diesem UCDP werden die Nutzerwünsche bereits zu einem frühen Stadium (schon während der Planungsphase) mit in die Entwicklung einbezogen. Als zentrale Methode wird dabei die sog. Aufgaben- bzw. Task-Analyse eingesetzt (s. auch Kap. 5.2.1.). Zudem werden zusätzlich ähnliche bereits existierende Produkte oder Anwendungen und die Nutzung derselben untersucht, um dabei bestehende Probleme nicht zu wiederholen und positive Eigenschaften übertragen zu können. Bei MAYHEW werden diese Eigenschaften unter dem Begriff „general design principles“ zusammengefasst (Mayhew 1999, s. 5.2.1). Die Erkenntnisse aus der Taskanalyse und der Synopsis der bereits bestehenden Produkte wird in einem Anforderungsdokument zusammengefasst, welches verschiedene Bezeichnungen haben kann. Diese Prozessstufe wird auch als Requirement-Analyse bezeichnet. Im Ergebnis der häufig noch durch eine Feldstudie gestützten Ergebnisse dieser Analyse wird meistens ein Prototyp definiert oder aufgebaut. Ab dieser Phase sind erste Nutzer-tests nötig und sinnvoll, insbesondere wenn es sich um völlig neue Produkte oder gar Produktgruppen handelt (z. B. neuartige mobile Anwendungen oder Geräte), da hier das Wissen über den künftigen Nutzer nicht ausreichend ist für eine reine Expertenschätzung, empirische und heuristische Erkenntnisse existieren damit erst recht nicht zur Abstützung (vgl. Heinsen & Vogt 2003).

Zum Abschluss der ersten Entwurfsphase finden immer Usability-Tests statt, um die erreichte Benutzerfreundlichkeit belegen und festhalten zu können. Anhand der eingangs des Entwurfsprozesses definierten Anforderungen wird entschieden, ob der erreichte Stand diesen Zielen entspricht oder ein weiterer Durchlauf des Prozesses erfolgen muss. In der Regel werden Usability-Entwurfsprozesse zyklisch in mehreren Iterationsstufen durchlaufen.

4.2.6 Messbarkeit der Gebrauchstauglichkeit

Obwohl von Messung und damit von quantitativer Bestimmung gesprochen wird, kann das Ergebnis eines Usability Design Prozesses häufig nur qualitativ beurteilt werden. Man versucht dann über entsprechende statistische Methoden quantifizierbare Rückschlüsse zu ziehen. Diese Methoden sind ein weites

²⁵ ersetzt durch EN ISO 9241-210 (Quelle: DIN EN ISO 13407:2000-11)

Feld und umfangreich in der Literatur beschrieben, so z. B. bei (Bortz & Döring 2006), deshalb soll darauf hier nicht näher eingegangen werden.

Die „Messung“ und damit quantitative Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit ist Teil der Evaluierung der Entwicklungsergebnisse und entsprechend dem vorhergehenden Kapitel ein Teil der Prozesskette des UCDP. Da sie aber ein wesentlicher Teil dieser Prozesskette ist, soll hier noch einmal gesondert darauf eingegangen werden.

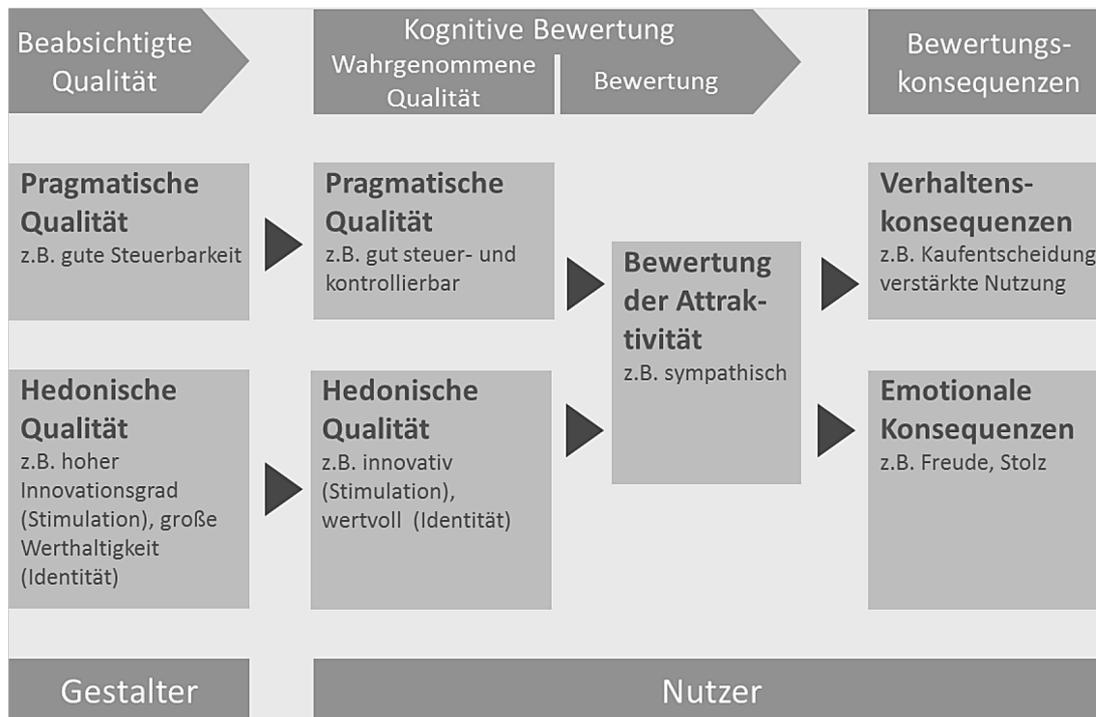


Abbildung 4-3: Arbeitsmodell zur Bildung eines Attraktivitätseindrucks beim Benutzer und der möglichen Konsequenzen (eigene Darstellung nach Hassenzahl et al. 2011)

Für die qualitative Erhebung stehen vor allem diverse Nutzertests mit den Prototypen und Mock-ups zur Verfügung. Diese werden häufig durch kombinierte oder begleitende Befragungen ergänzt und mit den Beobachtungen der Experten bei den durchgeführten Nutzertests verglichen. Es kann häufig sinnvoll sein, für diese Tests externe Usability-Experten heranzuziehen, um das

Problem der „sich selbst erfüllenden Prophezeiung“²⁶ zu umgehen. Eine Besonderheit bietet das Verfahren AttrakDiff[®] zur Ermittlung Attraktivität eines neuen Produkts nach HASSENZAHN als Korrelation der pragmatischen und hedonischen Produktqualität. Dieses Verfahren ist mittlerweile auch mit einem Onlinetool²⁷ durch jeden anwendbar und in der Grundversion kostenfrei. Dieses Verfahren (schematisch abgebildet s. Abbildung 4-3) dient der Berücksichtigung von vier verschiedenen Aspekten zur Beurteilung des Entwicklungsergebnisses neuer Produkte:

- Die vom Entwicklungsteam gewünschten Eigenschaften
- Die jeweiligen subjektiven Wahrnehmungen und Bewertungen der erreichten Qualität
- Die eigentlich unabhängigen pragmatischen und hedonischen Qualitätsanteile
- Konsequenzen aus der Bewertung

Die Ermittlung erfolgt in einem vorgegebenen oder auch selbst zu gestaltenden Abfrageprozess mittels gegensätzlicher Frageitems (semantisches Differential, s. Hassenzahl & Beu 2001). Dabei werden mehrere Items zu einer Skala zusammengefasst und anschließend in einem Graphen veranschaulicht.

Durch diese Ausführungen wird klar, dass bei der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit (quantitativ wie qualitativ) immer nur einzelne bzw. wenige Parameter gleichzeitig betrachtet und bestimmt werden können. Diese Parameter müssen in Übereinstimmung mit den Design- bzw. Entwicklungszielen gebracht werden, um eine Aussage über die Güte der erreichten Lösung treffen zu können.

Für die Evaluation des neuen Konzepts und der damit entworfenen Lösungen wurde deshalb auf die Anwendung einer entsprechenden Methode verzichtet, da die Einbettung in größere Entwicklungsaufgaben die Bestimmung der Einflussparameter für diese Verfahren schwierig bis unmöglich machte.

²⁶ Engl. self-fulfilling prophecy: die Beeinflussung eines Testergebnisses (in die eigentlich gewünschte oder erhoffte Richtung) durch das Verhalten des Testleiters (nachzulesen u. a. in Aronson et al. 2008).

²⁷ Verfügbar nach Anmeldung unter <https://esurvey.uid.com/project/#!/login> (zuletzt abgerufen 19.10.2016)

Trotzdem wurden durch Befragungen und Nutzertests mit teilnehmender Beobachtung die Meinung der Testpersonen über die dargebotenen gestalterischen Lösungen erhoben.

4.2.7 Benutzbarkeit, Benutzungsfreundlichkeit und Bedienbarkeit

Diese drei Begriffe scheinen eine Synonymgruppe darzustellen. Daher ist es notwendig, die jeweiligen Definitionen und Begriffsbestimmungen näher zu betrachten:

Das Konzept der Benutzbarkeit wird u. a. von BAGGEN & HEMMERLING ausführlich dargestellt und mit Beispielen erläutert (Baggen & Hemmerling 2000, S. 234 ff.). Der Ansatz für ihre Ausführungen ist, dass durch die Einhaltung von Designregeln und die Implementierung von regelbasierten Entwurfprozessen nicht automatisch gebrauchstaugliche, benutzbare Produkte entstehen. Ähnliches wurde mit dem Beispiel der Uhren mit Rechnerfunktion auch schon gezeigt (s. Abbildung 4-1). Und selbst wenn ein Gerät oder System benutzbar ist, bedeutet das nicht automatisch auch, dass es schon benutzungsfreundlich ist. Denn das setzt eine an die Wünsche und Anforderungen der Nutzer angepasste Gestaltung voraus. Diese ist aber, wie bereits mehrfach erwähnt, durch die frühzeitige Einbindung der späteren Nutzer in den Entwurfprozess erreichbar. Ähnlich wie in Abbildung 4-4 als Karikatur dargestellt, mangelt es jedoch häufig auch an einer gemeinsamen (und beiderseits verständlichen) Sprache, um sich über Ziele und Anforderungen austauschen zu können. So beschreiben BAGGEN und HEMMERLING (ebd., S. 234, nach Loopik et al. 1994) eine Problemsituation, in der beim Test einer neuen Generation von Staubsaugern die Testpersonen sehr zufrieden mit der Bedienung der Geräte waren und durchweg ein positives Fazit zogen. Dabei hatten sie die neu integrierten Funktionen der Geräte überhaupt nicht gefunden (und damit auch nicht genutzt). Die Ursache dafür war, dass die Testpersonen schlicht keine neuen Funktionen an „ihrem“ Staubsaugern erwarteten und deshalb auch nicht danach gesucht hatten. Aber auch dieses einfache Problem lässt sich über frühzeitige Nutzerpartizipation in der Entwicklung umgehen.

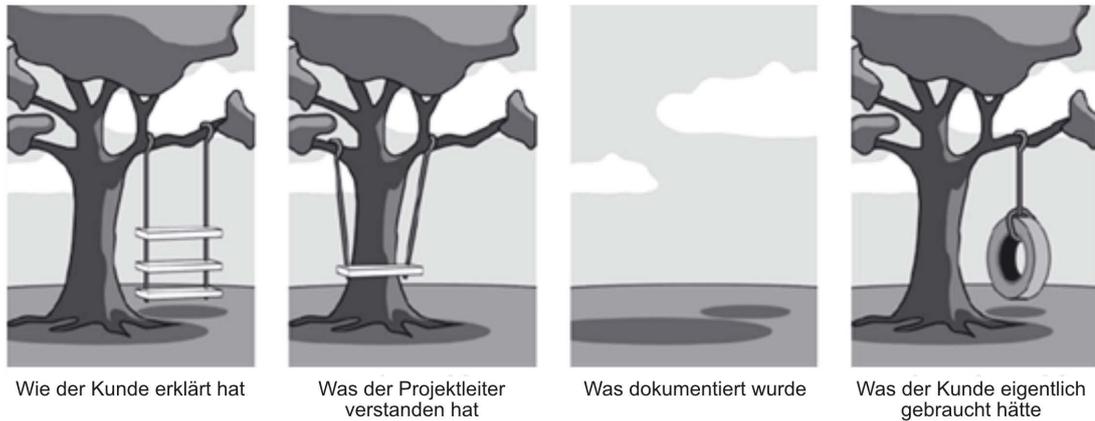


Abbildung 4-4: Verschiedene Sichtweisen und Mängel in der Kommunikation führen zu unterschiedlichem und oft falschem Verständnis desselben Problems (modifiziert und gekürzt nach [Businessballs.com])

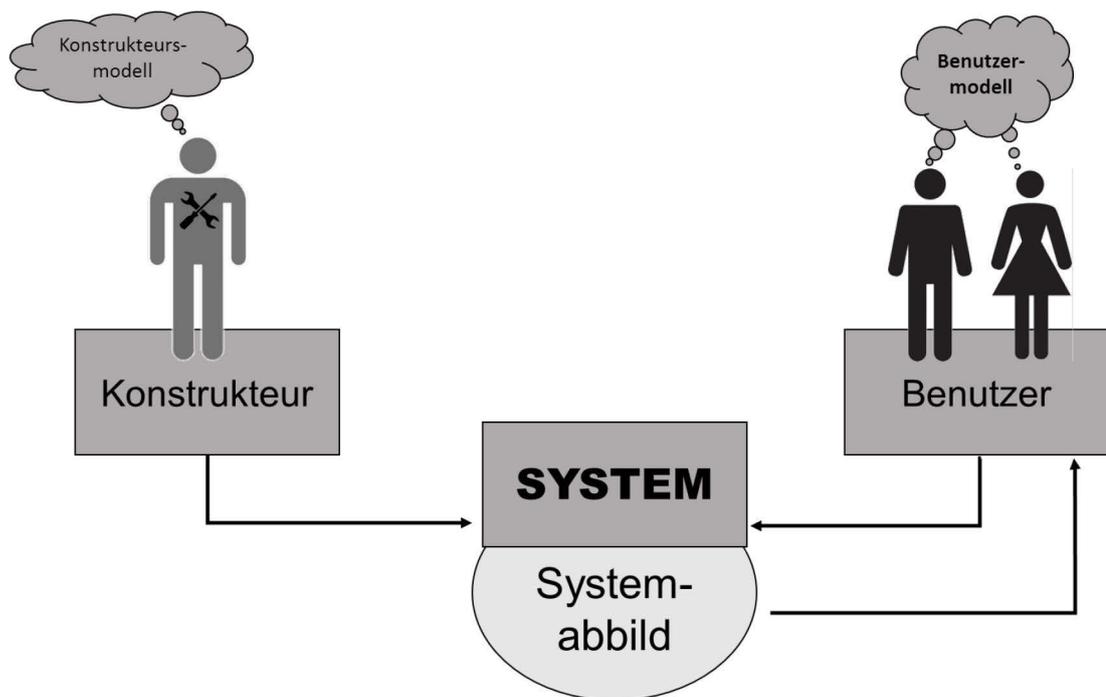


Abbildung 4-5: Verdeutlichung der jeweils unterschiedlichen Sichtweisen von Benutzern und Produktentwicklern (eigene Darstellung nach Norman 1986)

Grundsätzlich haben Entwickler, Designer, Programmierer und Benutzer jeweils eigene, sich voneinander unterscheidende Modelle und Repräsentationen des Systems (und seiner Funktionalität), die in einem Prozess aneinander angenähert werden müssen. Dieses Problem hat schon NORMAN stark ab-

trahiert in seiner Darstellung der unterschiedlichen Sichtweisen auf ein System/Produkt zu verdeutlichen versucht (in Norman 1986, s. Abbildung 4-5). Nur wenn es im Entwurfsprozess gelingt, durch Wissen über den späteren Nutzer und seine möglichst frühe Einbeziehung in den Entwurfsprozess das innere Modell des Nutzers im späteren Produkt abzubilden bzw. für die spätere Nutzung in das Systembild zu integrieren, wird das Ziel einer hohen Nutzerzufriedenheit und damit -akzeptanz erreicht werden können.

Der Begriff der Benutzbarkeit als zusätzliche Eigenschaft über die allgemeine Gebrauchstauglichkeit hinaus verankert noch stärker die Berücksichtigung der zur Benutzung notwendigen technischen Komponenten im Designprozess: das sind die Ein- und Ausgabeelemente in Form der jeweiligen Benutzerschnittstelle eines MMS (s. 2.1.1. f.). Entscheidend sind dabei für eine erfolgreiche Berücksichtigung der Gestaltungskriterien folgende Bereiche (s.a. Baggen & Hemmerling 2000, S. 236 f.):

- Berücksichtigung psychophysischer Voraussetzungen, Befähigungen und Leistungsgrenzen (vgl. Kap. 3.1)
- Betrachtung und Optimierung der Belastung/Beanspruchung für die jeweiligen Nutzer (vgl. Kap. 3.1.1)
- Sichere, möglichst intuitive, reproduzierbare Handhabung

Dabei ist die Benutzbarkeit wie alle Gestaltungskriterien und –parameter innerhalb eines MMS in den jeweiligen Kontext aus Arbeitsaufgabe und individuelle Befähigungen, Bedürfnisse und Kenntnisse einzuordnen. Darüber hinaus verweisen viele Autoren noch darauf, dass weitere über die eigentliche Gestaltung der Benutzerschnittstelle hinausgehende Parameter längerfristig für die Zufriedenheit wie auch psychische und physische Gesundheit der Nutzer ausschlaggebend sind. Dieser Ansatz wird hier jedoch nicht weitergeführt, da er den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Um die Benutzbarkeit zu verbessern (damit wird die Benutzerfreundlichkeit erreicht) oder sie für manche Gruppen von Nutzern überhaupt erst einmal zu gewährleisten, sind neben den allgemeinen Gestaltungsregeln auch Ansätze der Barrierefreiheit, der Individualisierung und des Designs für Alle zu berücksichtigen. Durch diese Einbeziehung wird zumindest eine allgemeine Bedienbarkeit sichergestellt. Somit ist auch die Begriffshierarchie der drei

scheinbaren Synonyme Bedienbarkeit, Benutzbarkeit und Benutzungsfreundlichkeit hergestellt. Zuunterst steht die Bedienbarkeit. Sie muss somit zuallererst sichergestellt werden, und zwar für jeden denkbaren späteren Nutzer eines Gerätes. Danach erfolgen die weiteren Stufen Benutzbarkeit im Sinne der Gebrauchstauglichkeit und Benutzungsfreundlichkeit durch angepasste Gestaltung mit dem Erreichen eines hohen Levels der Zufriedenheit beim Nutzer.

In der praktischen Umsetzung ist diese allgemeine Nutzbarkeit und Zugänglichkeit häufig nur durch Zusatzkomponenten und/oder die Individualisierung der jeweiligen Geräte realisierbar. Letztlich ist damit aber wiederum ein Mehrnutzen für alle anderen Nutzer verbunden, weil auch für sie die Benutzungsfreundlichkeit über die Möglichkeit der individuellen Anpassung steigt. Beispiele für die individuelle Anpassung von Geräten für bestimmte Nutzer(gruppen) sind in Kap. 5.5 aufgeführt.

Bei vielen modernen Geräten ist die Einfachheit der Bedienung einfach verwirrend.

Siegfried Wache

4.3 Nutzerschnittstellen als Koppelglied in der Mensch-Technik-Interaktion

Aus dem vorangegangenen Kapitel wurde bereits deutlich, dass der Nutzer die ihn umgebende Technik in einem MMS bzw. die von ihm zur Kooperation genutzten Geräte vor allem und zuerst über die jeweilige (Be-)Nutzerschnittstelle wahrnimmt. Sie stellt in den allermeisten Fällen einen direkten, physischen Kontakt zwischen dem Benutzer und der zu bedienenden Technik her. Dabei liefert die Schnittstelle sowohl die Möglichkeit zur Einwirkung auf das technische System als häufig auch die informatorische Rückkopplung über den aktuellen (erreichten) Systemzustand. Ein deutliches Beispiel dafür sind die verschiedenen Nutzerschnittstellen im Auto. Die größte und wichtigste von ihnen wird häufig explizit als solche gar nicht wahrgenommen: der Fahrersitz. Er verbindet den Fahrer unmittelbar physisch mit seinem Fahrzeug,

und über den Sitz werden die Reaktionen des Fahrzeugs auf die Eingabeaktionen des Fahrers (z. B. Lenken, Bremsen, Beschleunigen) am intensivsten wahrgenommen. Eine Fehlgestaltung dieser Koppelstelle z. B. durch zu harte oder zu weiche Auslegung, unpassende Formgebung oder im Extremfall durch störende Teile der Unterkonstruktion im Kontaktbereich würde sich der Fahrer soweit aus dem optimalen Sitzbereich herausbewegen, dass die Informationsübertragung (neben dem Verlust der Sicherheit) nicht mehr gegeben wäre.

Die Gestaltung der Nutzerschnittstellen ist eine der Hauptaufgaben im nutzerzentrierten Designprozess für die usability professionals. Dabei wird sowohl die reine Form- und Funktionsanpassung untersucht wie auch der oben beschriebene Informationsaustausch sichergestellt. Das gilt insbesondere für Schnittstellen in interaktiven und mobilen Anwendungen und von AS. Für die Gestaltung solcher häufig bildschirm- und grafikbasierten Nutzerschnittstellen gibt es eine ganze Reihe von Regeln und Realisierungen, die im Gestaltungsprozess berücksichtigt werden sollten.

4.3.1 Regeln für die Gestaltung von interaktiven und grafisch basierten Nutzerschnittstellen

Im Verlauf der Entwicklung von grafischen Benutzeroberflächen wurden verschiedenste Regeln zu deren Gestaltung aufgestellt und evaluiert. Beispielhaft sollen hier die acht „goldenen“ Regeln des Schnittstellenentwurfs von SHNEIDERMAN aufgeführt werden. Andere Autoren bieten vergleichbare Regeln bzw. orientieren sich aneinander (z. B. NIELSEN, CAROLL, STEPHANIDIS u. w.)

„Golden Rules of Interface Design“

(vgl. Shneiderman 2004, Shneiderman & Plaisant 2010, S. 88 f., gekürzt)

1. *„Strive for consistency“*²⁸
 - Konsistenz vereinfacht Verständnis und Orientierung deutlich.
2. *„Cater to universal usability“*
 - Vereinfachungen für Anfänger, Abkürzungen für Fortgeschritten.

²⁸ Die nach SHNEIDERMAN am meisten vernachlässigte Regel

3. „*Offer informative Feedback*“
 - immer angemessene Rückmeldung (je wichtiger die Aktion, desto deutlicher).
4. „*Design dialogs to yield closure*“
 - Gruppe von Dialogen wird durch Gesamtdialog (Zusammenfassung) abgeschlossen.
5. „*Prevent errors*“
 - Fehler/Zusatzarbeit vermeiden und Benutzer vor kritischen Aktionen schützen.
6. „*Permit easy reversal of actions*“
 - Einfache Möglichkeit anbieten, Aktionen rückgängig zu machen.
7. „*Support internal locus of control*“
 - Benutzer soll Gefühl haben, dass er volle Kontrolle über die Aktion hat.
8. „*Reduce short-term memory load*“
 - Nicht zu viel Information auf einmal; mehrere Seiten mit wenig Information.

Auch die Reaktionszeit des Systems auf Nutzereingaben (sog. Antwortzeit) beeinflusst die Benutzbarkeit und damit die Akzeptanz. Die Nutzerwartung bzgl. der Antwortzeit des Systems ist im Wesentlichen bestimmt durch den Erfahrungshintergrund der Nutzer sowie aufgaben- und nutzerbezogene (individuelle) Unterschiede (Shneiderman & Plaisant 2010, S. 436). Zusammenfassend gibt SHNEIDERMAN folgende Richtlinien für die zu realisierenden Antwortzeiten vor (Auswahl, Shneiderman & Plaisant 2010, S. 445):

- Nutzer bevorzugen kurze Antwortzeiten.
- Längere Antwortzeiten (>15 s) sind störend.
- Die Benutzungsprofile der Nutzer ändern sich als Funktion der Antwortzeit.
- Eine höhere Geschwindigkeit erhöht die Produktivität, aber auch die Fehlerrate.
- Antwortzeiten sollten sich an den jeweiligen Aufgabenorientieren:
 - Schreiben, Cursor-Bewegungen, Maus-Auswahlaktionen: 50 ms – 150 ms.
 - einfache, häufig wiederkehrende Aufgaben 1 s.
 - allgemeine Aufgaben 2 s – 4 s.
 - komplexe Aufgaben 8 s – 12 s.

- Nutzer sollten unbedingt auf längere Verzögerungen hingewiesen werden.
- Kleinere, moderate Abweichungen in der Antwortzeit sind akzeptabel.
- Unerwartete Verzögerungen sind störend.
- Dem Nutzer sollte eine Möglichkeit zur Wahl der Geschwindigkeit geboten werden.

Diese Empfehlungen werden gestützt werden durch SPINAS et al., nach denen die Antwort- bzw. Reaktionszeiten eines Systems möglichst wenig variieren sollen (Spinas et al. 1983). WOODSON und GILMORE empfehlen für Dateneingaben Antwortzeiten unter 100 ms (entspricht der Empfehlung von SHNEIDERMAN für das Schreiben) sowie für Berechnungen zwischen einer und drei Sekunden (adäquat zu SHNEIDERMANS Empfehlungen für allgemeine Aufgaben, s. Woodson 1987 und Gilmore et al. 1989). Außerdem sollte ebenfalls in Übereinstimmung mit SHNEIDERMAN bei (unüblich) längeren Antwortzeiten dem Nutzer dieses signalisiert werden (s. Baumann & Lanz 1998, S. 19 f.). Geeignet sind dafür z. B. Balken, bewegte Symbole oder Tortendiagramme.

Letztendlich steht über allen diesen Richtlinien die Empfehlung, dass die Gestaltung immer so einfach wie möglich zu halten ist (KISS-Prinzip²⁹, u. a. in Iuppa 2001).

4.3.2 Abgeleitete Gestaltungsanforderungen und -ziele

Wie bereits mehrfach dargelegt ist es das Ziel jedes Gestaltungsprozesses in der Mensch-Technik-Interaktion, ein optimales Zusammenwirken zu ermöglichen. Dieses erzeugt in der Umsetzung eine hohe Gebrauchstauglichkeit für den Nutzer, und damit wird aus Nutzersicht eine hohe Gestaltungsgüte erreicht.

Insbesondere aus den Ausführungen zu psychophysischen Dispositionen und den möglichen Störungen bzw. geringeren Befähigungen potentieller Nutzer ist abzuleiten, dass eine generalisierte Gestaltungsempfehlung für den Entwurf

²⁹ KISS: Akronym für „Keep it short and simple!“ (engl.: „Mach es kurz und einfach!“)

von Schnittstellen schnell obsolet wird, wenn Geräte einem breiteren potentiellen Nutzerkreis zugänglich gemacht werden sollen. Hier kann die Lösung nur darin bestehen, dass die zukünftigen Nutzer genau analysiert und in Nutzergruppen eingeteilt werden, für die dann jeweils zugeschnittene Lösungen zur Verfügung gestellt werden. Trotzdem oder gerade deshalb gibt es einige allgemeine Gestaltungsanforderungen, die sich aus dem Wissen über den Menschen als Nutzer an sich ergeben.

Für die Gestaltung kann somit nur so viel generalisiert vorgegeben werden, dass sich Geräte und Schnittstellen für ihre Bedienung an den am häufigsten anzutreffenden Eigenschaften orientieren müssen (s. 3.5). Das betrifft die Anpassung der Informationsausgabe an unsere sensorischen Kanäle (visuell möglichst im Bereich der höchsten Empfindlichkeit grün/gelb, auditiv im Frequenzbereich der Sprache und mit ausreichendem Schalldruckpegel ohne Rauschen oder störende Nebengeräusche) genauso wie die formgebende Gestaltung durch Einhaltung der Körpermaße und aufbringbaren Körperkräfte, niedergelegt in entsprechenden Normen (u. a. DIN 33402-2:2005-12 Körpermaße des Menschen, Teil 2: Werte, DIN EN 547-3:2009-01 Sicherheit von Maschinen - Körpermaße des Menschen - Teil 3: Körpermaßdaten, DIN 33411-5 Körperkräfte des Menschen - Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte). Des Weiteren sind die grundlegenden Befähigungen unseres kognitiven Systems zu berücksichtigen, was sich zum einen in der Einhaltung der Gestaltgesetze ausdrückt (s. 3.4), zum anderen in der Unterstützung unserer kognitiven Prozesse und des Wissenserwerbs bzw. der Informationsverarbeitung und -speicherung (Gedächtnisformen) und dazu passenden Auslegung von Anzeigen und anderen Informationsschnittstellen.

Designing an object to be simple and clear takes at least twice as long as the usual way. It requires concentration at the outset on how a clear and simple system would work, followed by the steps required to make it come out that way – steps which are often much harder and more complex than the ordinary ones. It also requires relentless pursuit of that simplicity even when obstacles appear which would seem to stand in the way of that simplicity.

T.H. Nelson, The Home Computer Revolution, 1977

5 Analyse von Entwicklungs- und Entwurfsmodellen und Synthese nutzbarer Phasen zu einem neuen Konzept

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Erarbeitung und Test eines Konzepts für die Gestaltung von AS und ihren Nutzerschnittstellen (NuGASt). Dazu ist es natürlich notwendig, bereits bestehende Modelle (auch aus anderen Bereichen der Technik) auf ihre Eigenschaften, Vor- und Nachteile hin zu untersuchen und einen entsprechenden Entwicklungsbedarf abzuleiten. Darüber hinaus können aus dieser Analyse Elemente und Strukturen identifiziert werden, die nach Möglichkeit in das neue Konzept übernommen werden, wenn sie zu den Gestaltungszielen dieses neuen Konzepts passfähig sind.

Es wurde bereits am Anfang dieser Arbeit herausgestellt, dass AS zunehmend in IT-Systemen und Geräten mit Computeranbindung ihren Einsatz finden. Damit ist gleichzeitig immer eine enge, häufig untrennbare Verknüpfung aus Hard- und Software verbunden. Deshalb ist es zum einen wichtig und notwendig, auch die Entwurfsprozesse von Softwareprojekten zu kennen und zu untersuchen. Zum anderen werden die Fragen der Nutzerakzeptanz und das Erzielen einer hohen Gebrauchstauglichkeit automatisch zu Gestaltungsanforderungen der Softwareentwicklung.

In diesem Kapitel werden aus der Vielzahl von Entwicklungsmodellen und Entwurfsprozessen exemplarisch Vertreter vorgestellt und deren grundlegende Eigenschaften beschrieben. Eine Beurteilung und Einschätzung ihrer Anwendbarkeit auf die Entwicklung von AS und deren Schnittstellen erfolgt erst ab dem Kapitel 5.7. Diese Einteilung spiegelt damit auch z. T. den Verlauf des Erkenntnisgewinns für diese Arbeit wider, da zuerst einmal die bereits verfügbaren Modelle praktisch untersucht und angewendet worden. In der

Auseinandersetzung mit ihnen entstand daraus über die im Weiteren beschriebenen Schritte das Konzept.

5.1 Entwicklungsmodelle und Entwurfsprozesse

5.1.1 Phasenmodelle der Softwareentwicklung als Form der Entwurfsprozesse

Entwurfsprozesse werden heutzutage in der Regel prozessorientiert durchlaufen (vgl. dazu Kap. 1.3, {Def. 3} und {Def. 5}). Dafür werden verschiedene Vorgehensmodelle genutzt, die teilweise standardisiert oder wie z. B. bei Ausschreibungen und Vergabeprozessen auch strikt vorgeschrieben werden. Diese Vorgehensmodelle sind häufig in Produktlebenszyklen eingebunden und mit diesen zusammen auch zertifiziert. Allein im Bereich der Softwareentwicklung existiert eine Vielzahl von Entwicklungsprozessen, von denen einige in der folgenden Liste (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) aufgeführt sind. Dabei sind einige davon nur Derivate oder Weiterführungen anderer bzw. haben aus Schutzrechtsgründen andere Namen erhalten und unterscheiden sich damit strukturell nicht von diesen.

Für die sich anschließende Analyse wurde soweit möglich auf Grundmodelle ohne deren Weiterführung zurückgegriffen, und es wurden auch keine übergeordneten Vorgehensmodelle betrachtet (Beispiel Wasserfallmodell/Kanban, s. 5.1.1 bzw. 5.7). Genauso wurde bei verschiedenen Varianten eines Modells nur jeweils eine davon betrachtet und untersucht (s. Beispiel V-Modell).

- actiF: Agiler Entwicklungsprozess
- Agile Unified Process (AUP)
- Bundesvorgehensmodell (Österreich)
- Catalysis
- CMMI (Capability Maturity Model Integration)
- Crystal Family
- Enterprise Unified Process
- Extreme Programming (XP)
- Feature Driven Development (FDD)
- Hermes (EDV): Das (IT-)Projektführungsmodell der Schweizer Bundesbehörden
- ISO 12207, Rahmen für Prozesse im Lebenszyklus von Software
- ISO 13407, Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme
- Kanban in der IT
- Microsoft® Solutions Framework

- Modellgetriebene Softwareentwicklung
- OPEN
- Open Unified Process
- Personal Software Process
- Plastic Interface for Collaborative Technology Initiatives through Video Exploration
- Process Patterns
- Prototyping
- Rational Unified Process
- ROPES (Rapid Object-oriented Process for Embedded Systems)
- Scrum
- Spiralmodell
- Stage-Gate-Modell
- Team Software Process
- Test Driven Development
- V-Modell (IT-Entwicklungsstandard der öffentlichen Hand in Deutschland / Modell der deutschen Bundesverwaltung)
- Wasserfallmodell
- W-Modell (eine Weiterentwicklung des V-Modells mit vorgezogener Testphase).

Diese Entwicklungsprozessmodelle können als Vorgehensmodell eigenständig oder häufiger als Bestandteil von Software-Lebenszyklus-Managements durchgeführt werden. Die wichtigsten standardisierten Lebenszyklen-Managements sind:

- Norm ISO/IEC 12207
- Capability Maturity Model (CMM)
- Capability Maturity Model Integration (CMMI)

In den Vorgehensmodellen werden zu den jeweiligen Anforderungen an die betrieblichen Prozesse („*WAS*“) die notwendigen EDV-typischen Realisierungen („*WIE*“) gegenübergestellt und festgelegt. Dabei können verschiedene Entwicklungsstufen festgelegt und ggf. zertifiziert werden (vgl. Kneuper 1998, Kneuper 2006).

Wasserfallmodell

Das sog. Wasserfall-Modell (WFM, s. Abbildung 5-1) ist ein einfaches Modell für sequentiell ablaufende Entwicklungsprozesse. Aufgrund seiner klaren Struktur und einfachen Handhabung wird es auch heute noch häufig nicht nur im Softwareentwurf verwendet. Aufgrund dessen und weil es zudem die Basis für zahlreiche andere Modelle liefert, soll es etwas umfangreicher dargestellt und erläutert werden. Bestimmendes Merkmal dieses Modells ist, dass erst die vollständige Erfüllung einer Phase mit den jeweiligen Resultaten die Basis für

die nachfolgende ist. Dadurch existieren eindeutige Start- und Endpunkte, die am jeweiligen Phasenende in Projekt- oder Meilensteinsitzungen überprüft und in definierten Dokumentationen abgelegt und übergeben werden. (Dahm 2006)

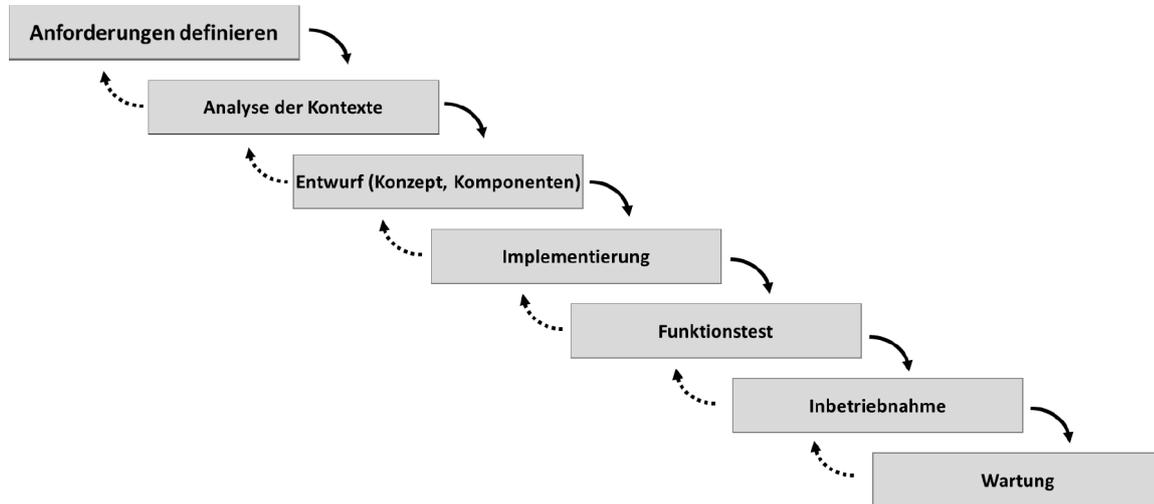


Abbildung 5-1: Phasen des Software-Entwurfs im rückgekoppelten Wasserfall-Modell (nach Dahm 2006 und Royce 1987)

Das ursprüngliche WFM sieht keine iterativen Abschnitte vor, wurde jedoch durch Rücksprungmöglichkeiten um diese erweitert, um flexibler auf mögliche auftretende Probleme in der Projektbearbeitung reagieren zu können. Dadurch wird eine Risikominimierung gegenüber erhöhten Projektkosten und einem möglichen Scheitern des Projekts erreicht. Da die Eingriffsmöglichkeiten trotzdem recht eingeschränkt sind, schlägt schon ROYCE 1987 eine Erweiterung dieses Modells vor (s. Royce 1987).

Spiralmodell

Das Spiralmodell (s. Abbildung 5-2) geht auf einen Vorschlag von BOEHM zurück (vgl. Boehm 1988). Es ist ein generisches Vorgehensmodell und stellt eine Weiterentwicklung des WFM dar, wobei die einzelnen Phasen spiralartig mehrfach durchlaufen werden. Dabei hat der jeweilige Entscheidungsträger eine wiederholte Eingriffsmöglichkeit in den Prozess (s. Balzert 1998). Eine wesentliche Erweiterung gegenüber dem WFM (und auch gegenüber anderen Modellen) stellt die integrierte und wiederholt durchzuführende Risikoanalyse dar. Dabei werden möglichst umfassend alle Risiken betrachtet, die das Projekt bedrohen und nach Lösungen für deren Beseitigung gesucht. Erst wenn in

der Einschätzung keine Risiken mehr existieren wird das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt gilt als gescheitert, wenn die Beseitigung der Risiken fehlschlägt bzw. keine Lösungen gefunden werden (s. Ludewig & Lichter 2007). Folgende Vorteile bietet die Anwendung des Spiral-Modells für den Entwickler und sein Unternehmen:

- Verringerung der Zeit zwischen Konzeption und erstem Test.
- Ergebnis wird früher deutlich und greifbar, was dem Kunden die Möglichkeit einer zeitigeren Rückkopplung über seine Zufriedenheit mit dem entstehenden Produkt gibt.
- Dem Entwickler werden Möglichkeiten und Grenzen eines eingeschlagenen Weges schneller klar.

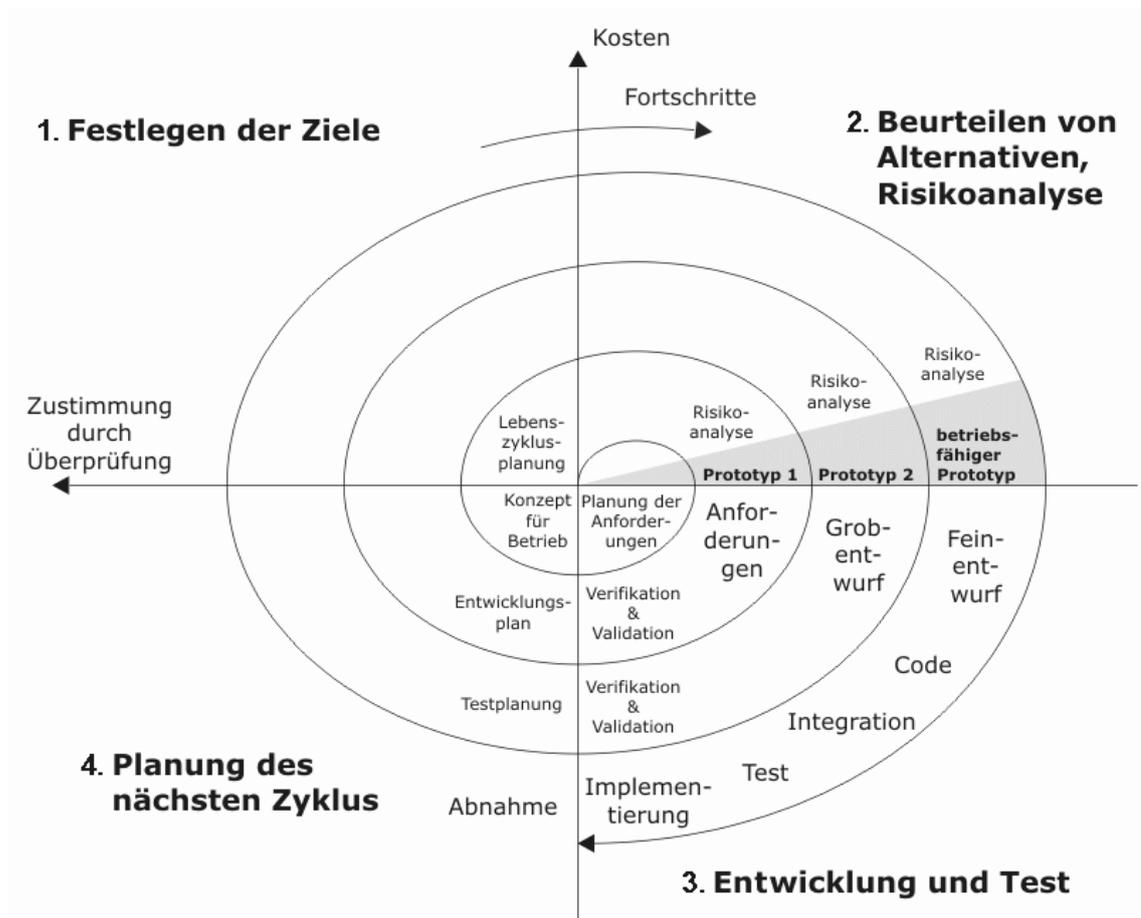


Abbildung 5-2: Darstellung des Entwurfsprozesses nach dem Spiralmodell von Boehm (nach Boehm 1988)

Trotz der offensichtlichen Vorteile trifft man das Spiralmodell in der Praxis eher seltener an (insb. in kleineren Unternehmen und Projekten). Die Ursache liegt im (scheinbar) höheren Aufwand, einer schwierigeren vertraglichen Gestaltung (da mehrere Teilabnahmen nötig sind) und sicherlich auch an Gewohnheitsaspekten (vgl. Dahm 2006).

V-Modell

Im V-Modell wie in Abbildung 5-3 zu sehen bzw. seiner Weiterentwicklung, dem V-Modell XT, sind im Gegensatz zu den klassischen Phasenmodellen lediglich Aktivitäten und zugehörige Ergebnisse definiert. Es fehlen jedoch die Abnahmen, die ein Phasenende und damit die strikte sequentielle Abfolge festlegen. (vgl. u. a. Moradi 2006)

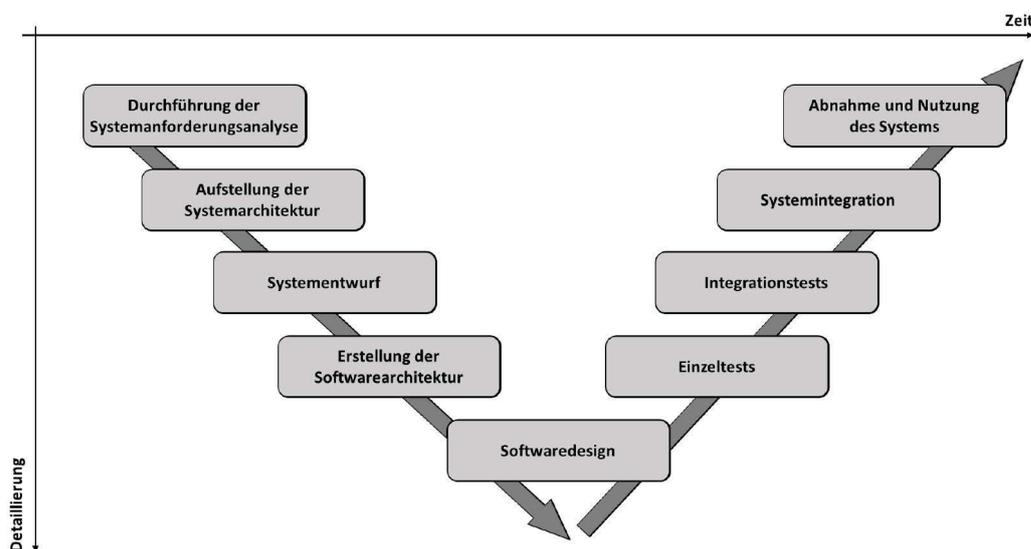


Abbildung 5-3: Schematische Darstellung des Ablaufs eines Softwareentwicklungsprojekts nach dem V-Modell (eigene Darstellung nach Voigt 2011)

Die V-Modelle sind mittlerweile ein fester Standard für die Entwicklung von IT-Systemen. Seinen Ursprung hat es jedoch in Forderungen und Vorgaben zur Realisierung von IT-Projekten des Militärs und der öffentlichen Hand. Der Unterschied zwischen V-Modell und V-Modell XT liegt in der Anpassbarkeit des Modells XT an die jeweiligen Bedürfnisse, in der Einbindung des Auftraggebers und einer stärkeren Modularisierung. Außerdem wurde den neueren Softwareentwicklungsansätzen wie Objekt-Orientierung Rechnung getragen. Es gibt auch in anderen Bereichen Entwicklungsmodelle nach der V-Modell-Struktur, so in verschiedenen Ingenieurwissenschaften (Mechatronik,

Medizintechnik). Dabei sind die jeweiligen Aktivitäten und Ergebnisse den geänderten Einsatzbedingungen angepasst. Insbesondere dem V-Modell zum normgerechten Entwurf mechatronischer Systeme (vgl. VDI 2206 Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme) kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

In der Richtlinie VDI 2206 wird das V-Modell für den mechatronischen Systementwurf als Makrozyklus zum generischen Vorgehen beschrieben und dargestellt. Dabei sind die wesentlichen Schritte:

1. Festlegung der Anforderungen
2. Systementwurf
3. Domänenspezifischer Entwurf
4. Systemintegration
5. Eigenschaftsabsicherung
6. Fertiges Produkt

Dabei erfolgt vor allem bei größeren und komplexeren Vorhaben ein mehrfacher Durchlauf dieses Makrozyklus.

5.1.2 Entwurfsmodelle aus anderen Bereichen der Technik

Es gibt eine Reihe von Modellen, die bereichsübergreifend in der Technik für Entwicklungsaufgaben Anwendung finden und nicht ausschließlich für Softwareprojekte erarbeitet wurden. Auch diese sollen, soweit als möglich und sinnvoll, in die Betrachtungen einbezogen werden.

Insbesondere für den Entwurf und die Gestaltung von Software und Interaktionskomponenten (Nutzerschnittstellen) gibt es zahlreiche weitere zum Teil standardisierte Entwurfsabläufe und Gestaltungsempfehlungen, die in einigen Fällen sogar Normenstatus erhalten haben. Einige dieser Normen haben dabei eine besondere Bedeutung und werden deswegen noch näher vorgestellt. Außerdem gibt es prozessorientierte Vorgehensweisen für den systematischen Entwurf, die in den einzelnen Entwurfsmodellen oder deren Teilvorgängen zur Anwendung kommen können, weshalb sie hier ebenfalls aufgeführt werden.

Prototyping

Das Prototyping ist selbst kein Entwurfsmodell. Es ist eine Methode, die während des Entwurfsprozesses in bestimmten Phasen zu Einsatz kommt. In frühen Phasen der Entwicklung können damit verschiedene Designs für eine spezielle Funktion verglichen werden, in späten Phasen kann darüber die Benutzbarkeit spezieller Funktionen optimiert werden.

Das Prototyping ist eine Softwareentwicklungsmethode, bei der explizit die Nutzereinbindung geplant und erforderlich ist. Je nach Art des Prototypings werden verschieden umfangreiche Teile der späteren Funktionalität in einem Prototyp realisiert und danach Nutzertests unterzogen. Mit dem erfolgten Feedback erfolgt die weitere Entwicklung. Der Prototyp selbst kann in einfachen Fällen auch als Mock-up bzw. Simulation umgesetzt sein. Anhand der Ergebnisse und der zugehörigen Prototypen ist eine bessere Verständigung und Zieldiskussion zwischen Entwicklern, Kunden und späteren Nutzern möglich (vgl. Dahm 2006). Folgende Varianten des Prototypings sind gebräuchlich:

- Exploratives Prototyping
- Evolutionäres Prototyping
- Experimentelles Prototyping
- Rapid Control Prototyping
- Vertikales Prototyping (Durchstich)
- Horizontales Prototyping

Vorteile des Prototypings liegen ganz allgemein in der Risikominimierung durch frühzeitige Überprüfung des Entwurfs, in der Möglichkeit zur fortwährenden Präzisierung der Anforderungen und einer frühzeitigen Einbindungsmöglichkeit für Aspekte der Qualitätssicherung. Nachteile können sich dadurch ergeben, dass scheinbar alle Aspekte der Anforderungsspezifizierung berücksichtigt wurden und damit keine weiteren Aktivitäten, auch bei der zugehörigen Dokumentation, mehr durchgeführt werden. Außerdem entstehen durch die zusätzlichen Schritte Mehrkosten, die aber durch verringerte Nacharbeiten wieder aufgefangen werden können.

Problemlösungsansatz/-zyklus

Der Problemlösungsansatz (PLA) bzw. Problemlösungszyklus ist ein bekanntes Vorgehen im Systems Engineering, hat aber auch in abgewandelter Form Eingang in andere Bereiche gefunden (z. B. Betriebswirtschaft oder Softwareentwicklung). Es gibt zahlreiche Untersuchungen über die Nutzbarkeit und Effektivität dieses Ansatzes auch aus psychologischer Sicht (s. Dörner 1994).

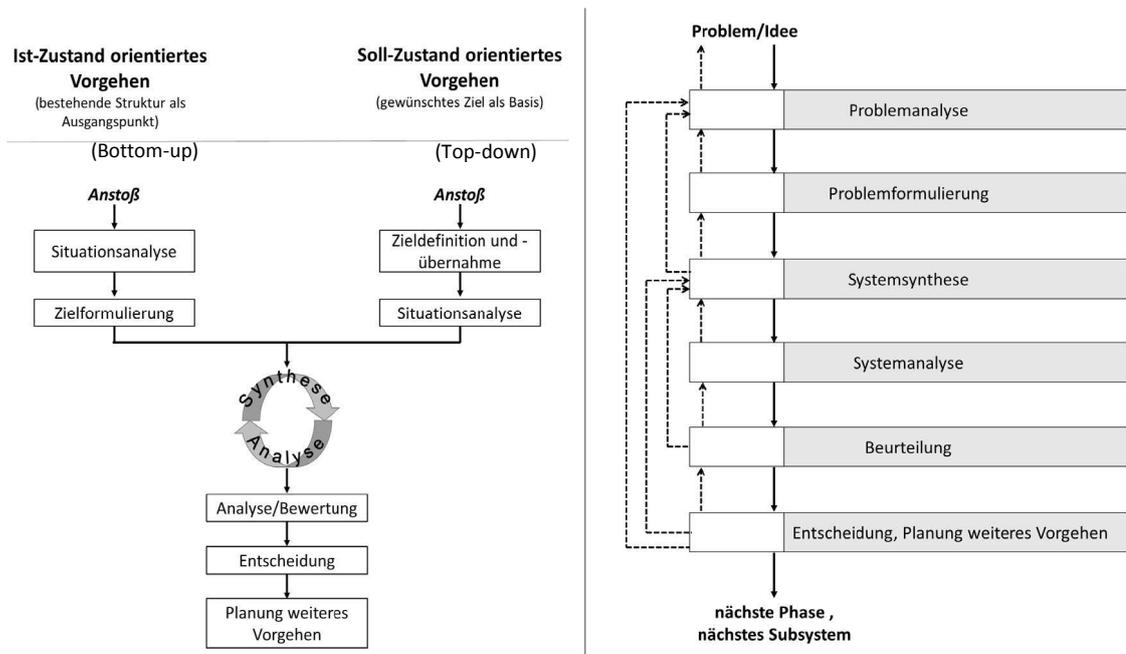


Abbildung 5-4: Schematische Darstellungsvarianten des PLA zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte

(links: eigene modifizierte Darstellung nach VDI 2206;
rechts: eigene modifizierte Darstellung nach VDI 2221)

Verschiedene Darstellungen des PLA finden sich u. a. in den Normen VDI 2206 und 2221. Grundsätzlich umfasst der PLA als Prozess folgende Phasen, die bis zur endgültigen Lösung bzw. Entscheidung auch mehrfach iterativ durchführbar sind:

- Situationsanalyse oder Zielübernahme
- Zielformulierung
- Synthese
- Analyse
- Bewertung
- Entscheidung

Wie aus der Abbildung 5-4 (links) ersichtlich ist, kann der PLA von zwei verschiedenen Ausgangspunkten aus durchgeführt werden, indem man sich entweder am vorhandenen Ist-Zustand orientiert oder ein bestimmtes Ziel als Soll-Zustand vorgibt (top-down oder bottom-up Ansatz). Im rechten Teil der Abbildung 5-4 wird die iterative Abarbeitung des PLA als Prozesszyklus deutlich, innerhalb des PLA existieren verschiedene Rücksprungmöglichkeiten zur Verbesserung des Systems.

Die folgenden Entwurfsmodelle sind alle nur für einzelne Entwurfsphasen ausgelegt und bilden in sich keine geschlossenen Prozessketten. Sie sind damit nicht zur Modellierung eines Gesamtprozesses geeignet und werden deshalb nicht in die nachfolgenden Analysen einbezogen. Da sie dennoch zum Teil eine große Bedeutung für die Schnittstellengestaltung erlangt haben, sollen sie kurz erwähnt und erläutert werden. Für alle im Folgenden aufgeführten Entwurfsmodelle gilt, dass sie für sehr unterschiedliche Anwendungsfälle entwickelt wurden und deshalb unterschiedlich komplex, umfangreich und detailgetreu sind und auch die Benutzeraktionen unterschiedlich abbilden. Eine Nutzerintegration in den Entwurfsprozess ist bei diesen Modellen in der Regel nicht vorgesehen bzw. aus verschiedenen Gründen der Modellierung auch nicht umsetzbar. Im Weiteren wird auch nicht näher auf die sog. Anthropometrischen Modelle (vgl. Herczeg 2005, S. 42) und die mit ihnen verknüpften Entwurfs- und Simulationswerkzeuge bzw. Softwarepakete (z. B. CATIA³⁰) eingegangen. Diese spielen natürlich eine große Rolle beim Entwurf von Benutzungsschnittstellen, die eine räumliche Ausrichtung und Verteilung von Interaktionskomponenten erfordern. So sind sie z. B. unverzichtbar bei der Gestaltung des Innenraums von Fahrzeugen (Beispiel RAMSIS³¹), bei Konzeption und Gestaltung von Leitwarten und Bedienständen und ähnlichem mehr, wo sie auch eine breite Anwendung finden.

³⁰ CATIA: Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application (Fa. Dassault Frankreich)

³¹ RAMSIS (Akronym): Rechnergestütztes Anthropometrisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation

1. IFIP-Modell (für Benutzungsschnittstellen)

Das IFIP³²-Modell bildete neben anderen die Grundlage für die Strukturierung verschiedener Normen und Richtlinien zum Entwurf von interaktiven Systemen und Benutzerschnittstellen (z. B. für die ISO-Reihe 9241). Wie aus der Übersicht in Abbildung 5-5 erkennbar wird, sind einige der in der ISO 9241 bzw. ihrer Teile festgelegten Gestaltungskriterien und Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit (Selbsterklärungsfähigkeit, Erlernbarkeit, Wahrnehmbarkeit u. w. m.) bereits im IFIP-Modell für Benutzungsschnittstellen verankert worden. Dieses Modell entstand in Zusammenarbeit von Verhaltensforschern und Ergonomen und wurde 1983 von DZIDA veröffentlicht (Dzida 1983, s. auch Meißner & Engmann 2008 und Herczeg 2005). Im IFIP-Modell wird der Organisationsschnittstelle ein relativ kleiner Raum gewährt, allerdings erfolgt bereits eine wichtige Unterscheidung in technische und nicht-technische Strukturen. Mit den technischen Organisationsstrukturen wird festgelegt, wie der Computer bzw. das Computersystem in den Arbeitsablauf eingebunden ist. Die nicht-technischen Organisationsschnittstellen legen diese Arbeitsabläufe selbst fest.



Abbildung 5-5: Aufbau des IFIP-Modells (eigene Darstellung nach Meißner & Engmann 2008)

³² IFIP: International Federation for Information Processing, ist eine Informatikorganisation unter Schirmherrschaft der UNESCO und wurde als Nichtregierungsorganisation 1960 gegründet. Sie fungiert als Dachorganisation für viele nationale Informatikgesellschaften und richtet verschiedene Konferenzen aus.

2. Model View Controller (MVC) und Seeheim-Modell

Der MVC (s. Abbildung 5-6) ist ein Architekturmuster zur Software-Entwicklung und wurde erstmals 1979 von REENSKAUG für SmallTalk-Umgebungen beschrieben. Es gilt mittlerweile aber auch als Quasi-Standard für große und komplexe Software-Projekte. Das Ziel des Modells ist ein flexibler Programmentwurf, der während und auch nach dem eigentlichen Programmierprozess Änderungen und Erweiterungen ermöglicht. Die Abkürzung MVC steht für Datenmodell (Model), Präsentation (View) und Programmsteuerung (Controller).

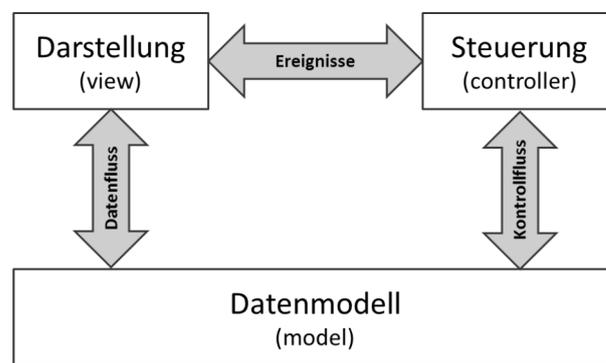


Abbildung 5-6: Schematische Darstellung des MVC (nach (Meißner & Engmann 2008))

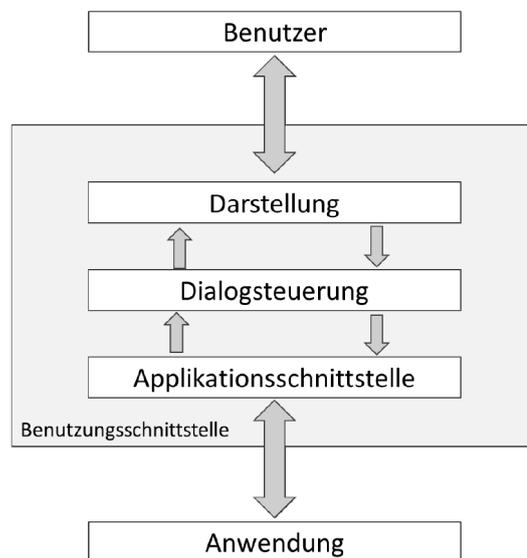


Abbildung 5-7: Seeheim-Modell als schichtenbasierte Darstellung in Bezug auf Benutzungsschnittstellen (nach Meißner & Engmann 2008)

Das darauf aufbauende Seeheim-Modell wurde 1985 von Computergrafikern und weiteren Softwareprogrammierern auf dem Workshop *User Interface Management Systems* in Seeheim entwickelt. Der Konferenzort gab dem Modell dann seinen Namen. Eine schichtenbasierte Darstellung dieses Seeheim-Modells als Anwendung auf die Benutzungsschnittstelle ist in der Abbildung 5-7 zu sehen (aus Meißner & Engmann 2008). Dem Datenmodell des MVC entspricht dabei die Applikation, der View entspricht die Präsentation und dem Controller die Dialogkontrolle.

Das Seeheim-Modell beschreibt typische Strukturen interaktiver Softwaresysteme. Es wird dabei, wie in der Abbildung 5-7 zu sehen, eine strikte Trennung zwischen eigentlicher Applikation und Benutzungsschnittstelle definiert (s. Meißner & Engmann 2008).

3. GOMS-Modell

Im Gegensatz zum MVC- und Seeheim-Modell wurde das GOMS-Modell nicht von Informatikern, sondern von Kognitionspsychologen entworfen. Zuerst vorgestellt wurde es von CARD, MORAN und NEWELL (in Card et al. 1983). Dabei sind die diesem Akronym zugrundeliegenden Elemente folgende:

G:	Goals	(Bearbeitungsziele)
O:	Operators	(Operatoren)
M:	Methods	(Methoden)
S:	Selection Rules	(Auswahlregeln)

Ein weiterer Unterschied zu den vorgenannten Modellen liegt beim GOMS darin, dass es vordergründig nicht für komplette Softwareprojekte, sondern für Benutzungsschnittstellen bzw. im engeren Sinne für Benutzeroberflächen entwickelt wurde. Beim Entwurf nach dem GOMS-Modell als klassischen Top-Down-Entwurf werden alle Benutzeraktionen (Goals) in elementare Funktionen bzw. Aktionen zerlegt, d. h. die Nutzerziele werden in Unterziele aufgeteilt, welche wiederum in Methoden untergliedert werden (vgl. Meißner & Engmann 2008). Um diese Ziele erfüllen zu können, darf der Benutzer des Systems bestimmte Aktionen ausführen, diese sind die Operatoren (Operators) und werden durch Software festgelegt. Die Methoden sind verschiedene Verkettungen und Aneinanderreihungen von Operatoren, die zum Ziel führen können (und sollen). Die Auswahlregeln (Selection Rules) setzt der Benutzer

ein, um in der jeweiligen Situation zu entscheiden, welche Methode tatsächlich zur Anwendung kommt.

4. DIN EN ISO 13407: Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme

Die DIN EN ISO 13407 wurde im November 2000 in der deutschen Fassung als DIN-Norm veröffentlicht. Seit Januar 2011 ist als Ersatz für diese Norm die EN ISO 9241-210 gültig. Wesentlicher Kern des darin beschriebenen Entwurfsprozesses ist zum einen die explizit iterativ geforderte Durchführung des Prozesses, und zum anderen die Orientierung auf den Nutzer bei der Gestaltung. Dabei wird wie in der Abbildung 5-8 links zu sehen ist noch die Untersuchung gefordert, ob eine Notwendigkeit zur nutzerzentrierten Gestaltung besteht. Die kann für die Entwicklung von AS bzw. erst recht deren Schnittstellen entfallen, da diese immer auf den Nutzer ausgerichtet sein müssen.

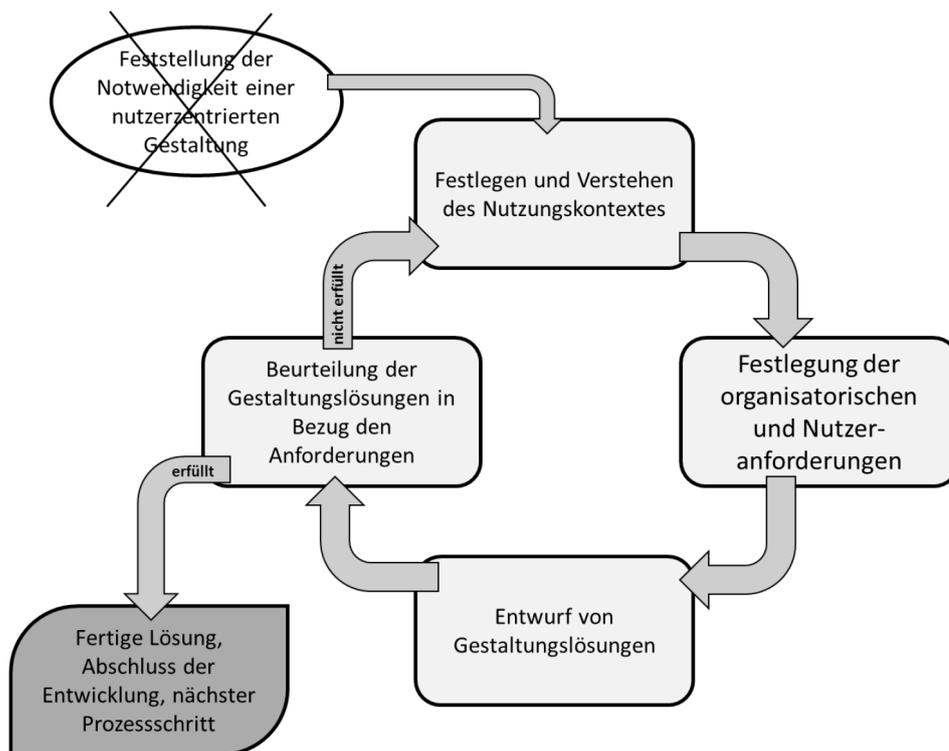


Abbildung 5-8: Schematische Darstellung des Entwurfsprozesses interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 13407 (eigene modifizierte Darstellung)

Die Norm DIN EN ISO 13407 sieht für die Gestaltung interaktiver Systeme den sog. Benutzerzentrierten Designprozess (ausführlich dargestellt im Kapitel 5.3) vor. Sie beschreibt diesen als einen iterativen Prozess, der aus den

Teilen Anforderungsermittlung (Requirement Analysis), Gestaltungsentwurf und Systembewertung besteht (s. Abbildung 5-8, rechts). Es werden jedoch keine Angaben gemacht, wie diese Phasen im Einzelnen ablaufen haben bzw. woraus sie sich im Detail zusammensetzen (vgl. DIN EN ISO 9241-11).

5. DIN EN ISO 9241

Diese Normenreihe gliedert sich in viele verschiedene Teile, die alle im Kern die Gebrauchstauglichkeit von Hard- und Software sowie deren Verbindung in Büroanwendungen und -umgebungen sicherstellen sollen und dafür entsprechende Kriterien festlegen sowie Hilfestellung bzw. Beispiele zu deren Umsetzung geben.



Abbildung 5-9: Auswahl einiger Normen der Reihe ISO 9241 zur Verdeutlichung des Aufbaus der Reihe und der damit abgedeckten Gestaltungsfelder

6. Szenariobasiertes Design

Eine ebenfalls häufig verwendete Methode für den Softwareentwurf insbesondere bei einer damit verbundenen Schnittstellengestaltung in Form von grafischen Oberflächen bildet das szenariobasierte Design, das ebenfalls eine Variante des Usability Engineering Prozesses (s. folgendes Kapitel 5.2) wie auch

des nutzerzentrierten Designs (s. Kapitel 5.3) darstellt. Deshalb wird diese Methode in diesen Kapiteln näher erläutert.

5.2 Usability Engineering

Die Usability als Synonym für Gebrauchstauglichkeit wurde bereits definiert und die drei Bestandteile der Usability (Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit) genannt. Um von einem benutzerfreundlichen Produkt sprechen zu können müssen selbstverständlich alle drei Komponenten ausreichend aus Sicht des Nutzers erfüllt sein. Dabei kann je nach Produkt auch eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Maße zur ganzheitlichen Bewertung nötig werden.

Um ein Produkt (hier Software) gebrauchstauglich zu entwerfen und zu gestalten, wird ein mittlerweile weitgehend standardisierter Prozess durchlaufen, der als Usability Engineering bezeichnet wird und von vielen Autoren (u. a. von MAYHEW) näher beschrieben wurde. Dabei gilt es, in einer iterativen Abfolge von Teilprozessen zuerst die Eigenschaften eines Produktes anhand von Nutzeranforderungen und allgemeinen Gestaltungsregeln mit Blick auf die zu lösende Aufgabe zu definieren und danach die Umsetzung und Realisierung dieser Anforderungen zu überprüfen. Dabei ist eine direkte Einbindung des späteren Nutzers gewünscht und gefordert, wofür eine Reihe von Möglichkeiten existieren, die hier nicht näher beschrieben werden sollen.

Der Begriff des Usability Engineerings wurde durch verschiedene Usability-Fachleute der Digital Equipment Corporation im Jahr 1986 geprägt (s. Good et al. 1986) und hat sich seither als Sammelbegriff für alle Aktivitäten zur Planung, Umsetzung und Überprüfung der erreichten System-Usability etabliert.

Die Überprüfung der gesteckten Ziele erfolgt in sog. Usability-Studien. Die Festlegung der Testaufgaben zur Überprüfung der erreichten Ergebnisse erfolgt anhand einer umfassenden nutzer- und aufgabenbezogenen Anforderungsanalyse unter Einbeziehung reeller Nutzer und tatsächlicher Aufgaben. Usability-Studien zur Validierung und Evaluierung bieten eine Reihe von Vorteilen, die bei HEINSEN & VOGT wie folgt zusammengefasst sind:

- Planbarkeit und Zeitersparnis durch geringeren Entwicklungsaufwand bei der Fokussierung auf die erwünschten Merkmale der Zielgruppe des Produkts
 - Kostenersparnis durch frühzeitig mögliche Korrekturen im Entwicklungsprozess und geringere Kosten für Support, Dokumentation und Training für die Nutzer des fertigen Produkts
 - Neue Ideen werden bei der Durchführung von Usability-Tests durch den vielfältigen Input unterschiedlicher Nutzer und Experten generiert
 - Usability ist durch die nutzerzentrierte Entwicklung als Qualitätsmerkmal zu sehen.
- (Heinsen & Vogt 2003)

Von Anfang an war das Usability Engineering geprägt durch die Nutzung von Interaktionsszenarien, was in den späten 1980er Jahren dazu führte, dass solche Szenarien Bestandteile bzw. Anhänge der Software-Entwicklungsdokumentation wurden (s. Rosson & Carroll 2002). Insbesondere für die Gestaltung der Nutzerschnittstelle wurden häufig entsprechende Ansätze gewählt (ebd., S. 14).

5.2.1 Usability Engineering Design Lifecycle

Der Usability Engineering Design Lifecycle (UEDL) wurde für die Gestaltung von Benutzerschnittstellen vorgestellt (Mayhew 1999), insbesondere deren softwareseitige Entwicklung. Er ist aber prinzipiell für alle Aufgaben im Bereich der nutzerbezogenen Gestaltung anwendbar. Der UEDL ist ein iterativer Prozess und besteht grundsätzlich aus drei großen Phasen: der Anforderungsermittlung, der Entwurfs- und Konzeptphase sowie der Installation bzw. Implementierungsphase. Innerhalb der beiden letzteren findet zusätzlich eine iterative Abfolge aus Konzeption, Realisation und Evaluation statt (Abbildung 5-10). Dabei erfolgt die Evaluation in Form von Usabilitytests, jedoch nicht zwingend unter Einbeziehung der späteren Nutzer. Deren Feedback ist explizit nur zum abschließenden Test gefordert, um zu bewerten ob alle vorgesehenen Anforderungen erfüllt wurden (vgl. Mayhew 1999).

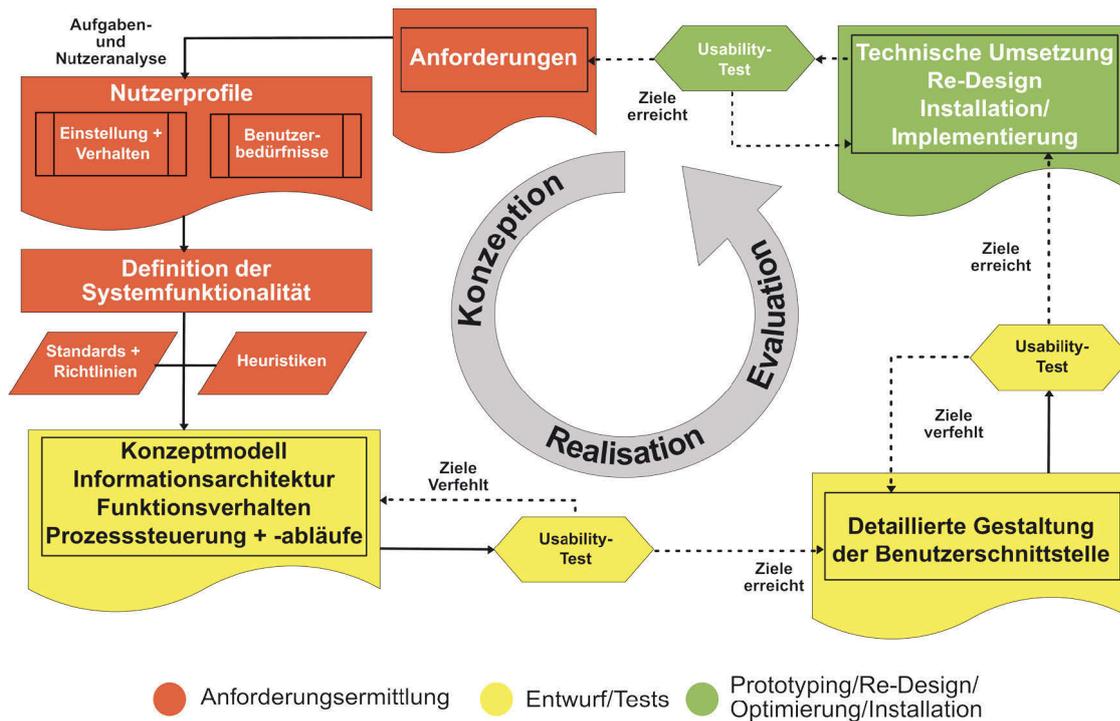


Abbildung 5-10: Usability Engineering Design Lifecycle
(eigene Darstellung in Überarbeitung von Bortz & Döring 2006 und Mayhew 1999)

In der ersten Phase des Prozesses werden alle Anforderungen an das zu entwickelnde System ermittelt und explizit formuliert. Dazu werden sowohl der Aufgaben- als auch Nutzerkontext (task analysis und user profiles) untersucht und die resultierenden Anforderungen („Requirements“) bestimmt und bewertet. Zusätzlich werden die für das System zutreffenden Normen, Standards und Richtlinien auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht und mit bereits bestehenden Realisierungen verglichen (sog. general design principles). Aus diesen Untersuchungen wird der für das System verbindliche Anforderungskatalog formuliert.

Die zweite Prozessphase gliedert sich bei MAYHEW nochmals in drei Stufen (level), die jeweils nur nach einer Bewertung des positiven Abschlusses der vorhergehenden erreicht werden können. In der vereinfachten Darstellung in Abbildung 5-10 sind diese drei Stufen zusammengefasst, die zur Bewertung erforderlichen Tests jedoch dargestellt. Innerhalb dieser einzelnen Stufen wird zunächst ein Designkonzept entworfen, daraus wird nach erfolgreichem Test

ein oder mehrere Prototypen abgeleitet und nach deren erfolgreich absolvierten Tests ein detailliertes Design der benötigten Schnittstellen durchgeführt. Diese werden ebenfalls getestet bevor die dritte Phase beginnen kann.

In der abschließenden dritten Phase wird das neu geschaffene Produkt bzw. System installiert oder implementiert und mit den Nutzern getestet. Deren Feedback wird mit den zu Beginn des Prozesses aufgestellten Anforderungen verglichen und ggf. der gesamte Prozess noch einmal durchlaufen.

BORTZ & DÖRING haben versucht (wie in Abbildung 5-11) die einzelnen Prozessschritte zu den bekannten Kriterien der Gebrauchstauglichkeit zuzuordnen. Damit kommt zum Ausdruck, welche der Prozessschritte auf welche der Kriterien besonderen Einfluss haben. Ausführlich gehen sie dabei auf die erste Phase ein, in der die Nutzerbedürfnisse erhoben und in den Anforderungsdokumenten festgehalten werden. Die folgende Tabelle 5-1 listet Vorgaben und Fragestellungen für diese Bedürfnisfeststellung auf, wobei die Vorgaben für die Analyse durch Marketingspezialisten und Management festgeschrieben wurden. Besser scheint es, wenn diese Fragen ebenfalls im Rahmen der Analyse geklärt werden können.

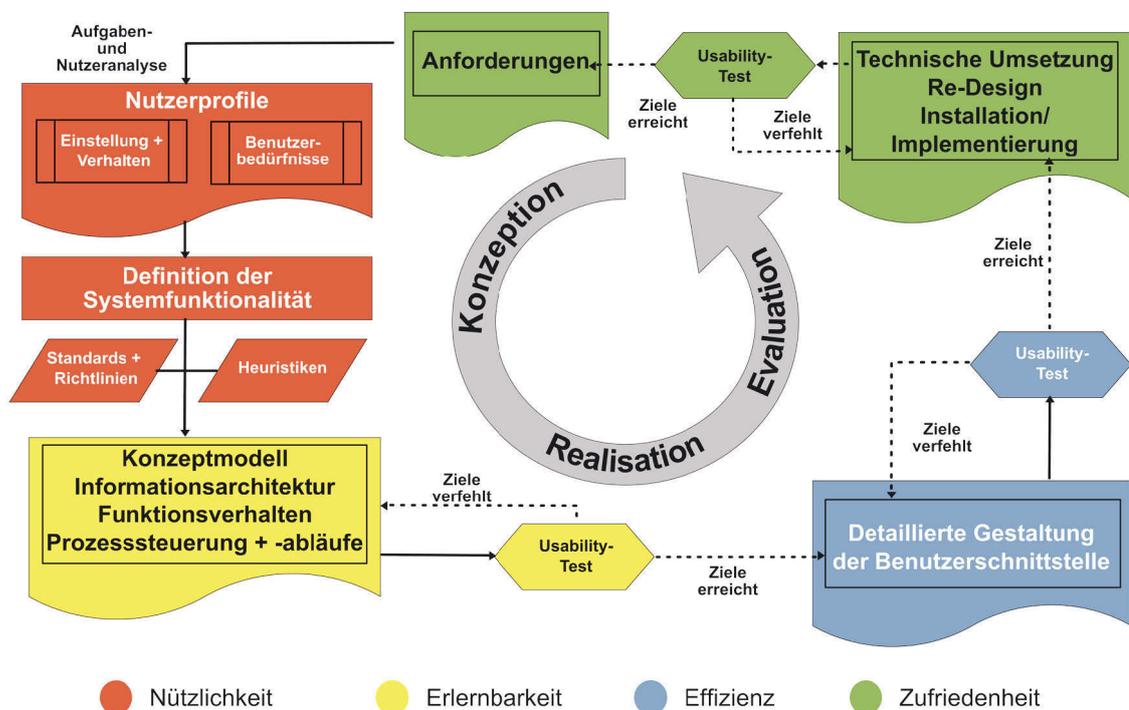


Abbildung 5-11: Zuordnung der einzelnen Prozessschritte des UEDL zu den Kriterien der Gebrauchstauglichkeit (eigene Darstellung nach BORTZ & DÖRING in Überarbeitung von Bortz & Döring 2006, S. 430)

Tabelle 5-1: Fragestellungen und gewünschte Ergebnisse einer Bedürfnisanalyse (überarbeitet nach Bortz & Döring 2006, S. 431)

Vorgaben für die Analyse, Fragestellungen	Empirische Analyse der Bedürfnisse der Zielgruppen
<i>Definition der Zielgruppe: Wer soll/kann das zukünftige Produkt benutzen?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Erfahrungen - Fähigkeiten - Einstellungen
<i>Definition des Einsatzbereichs: Wozu soll das Produkt dienen oder benutzt werden?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgaben - Ziele - Erwartungen
<i>Definition der Nutzungsbedingungen: Wo und wann soll das Produkt eingesetzt werden?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Soziale Umgebung - Technische Umgebung - Zahlungsbereitschaft

5.2.2 Usability Engineering Prozessmodell nach SARODNICK & BRAU

Die Grundstruktur dieses UE Prozessmodells orientiert sich stark am UEDL von MAYHEW, allerdings existieren, wie in der folgenden Abbildung 5-12 zu erkennen, vier große Phasen, die Analyse-, Konzept-, Entwicklungs- und die Einführungsphase. Innerhalb dieser vier nacheinander ablaufenden Phasen werden verschiedene sequentielle Prozessschritte durchlaufen, die z. T. iterativ in der Konzept- und Entwicklungsphase mit Evaluationen verknüpft sind. Der gesamte Entwicklungsprozess ist eingebettet in hierarchisch übergeordnete Planungs- und Managementprozesse. (vgl. Sarodnick & Brau 2006)

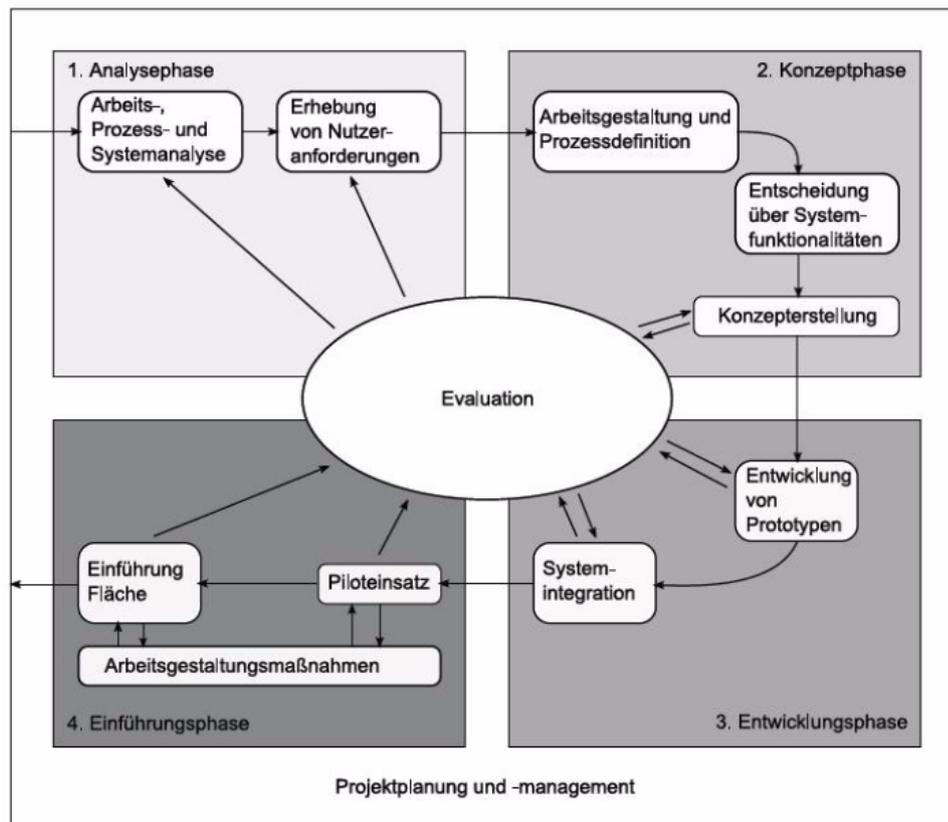


Abbildung 5-12: Schematische Darstellung der Prozessschritte nach dem Usability Engineering Prozessmodell von SARODNICK & BRAU
(eigene Darstellung nach Sarodnick & Brau 2006, S. 91)

However, guidelines, models, and principles alone will never guarantee success.

Ben Shneiderman (2004)

5.3 Benutzerzentrierter Designprozess

5.3.1 Allgemeine Darstellung des Prozesses

Der benutzerzentrierte Designprozess wurde bereits als Kern der Norm DIN EN ISO 13407 beschrieben (s. 5.1.2). Dabei ist im Sinne dieser Norm ein solcher Prozess immer durch folgende Elemente bzw. Vorgehensweisen gekennzeichnet:

- Aktive Nutzerbeteiligung in den Phasen der Entwicklung und Gestaltung
- Klares Verständnis der Nutzer- und Aufgabenanforderungen
- Geeignete Funktionsaufteilung zwischen Nutzer und Technik
- Iterative Verbesserung der Gestaltungslösungen
- Multidisziplinäre Gestaltung

Grundsätzlich ist klar, dass die besten Aussagen über den Nutzungskontext eines geplanten Systems oder Produkts der spätere Nutzer selbst geben kann. Dieser ist natürlich nur sehr selten direkt bekannt. Häufiger kann man nur diejenige(n) Gruppe(n) bestimmen oder näher einschränken, aus der oder denen sich die späteren Nutzer rekrutieren werden. Für die Einbeziehung in den Gestaltungsprozess sind dann daraus ein oder mehrere geeignete Vertreter auszuwählen und an der Entwicklung zu beteiligen. Das Ergebnis muss dann mit anderen Vertretern dieser Gruppe(n) überprüft und ggf. optimiert werden. Bei GRANDT & LEY wird dazu noch besonders darauf hingewiesen, dass es nicht zielführend und damit auch nicht im Sinne der benutzerzentrierten Gestaltung ist, wenn der spätere Nutzer oder die als Repräsentanten ausgewählten nach ihren Wünschen das neue System betreffend befragt werden. Der Hauptgrund hierfür liegt in der häufig schwierigen und damit mangelhaften Möglichkeit zur Einordnung der Nutzer in den tatsächlichen Aufgabenkontext, in der zumindest möglichen bzw. tatsächlich fehlenden Erkenntnis existierender Grenzen der persönlichen als auch gruppenspezifischen Fähigkeiten und Fertigkeiten und damit auch der sich ergebenden intra- und interindividuellen Streuung der nutzungsrelevanten Eigenschaften des Teilsystems „Mensch“. Deswegen muss diese Nutzerintegration unter Verwendung anderer, in der ergonomischen Gestaltung etablierten Methoden moderiert werden (Grandt & Ley 2008).

Durch diese beschriebene aktive und methodische Einbindung der späteren Nutzer wird eine Grundlage für die Forderung nach einem klaren Verständnis der Aufgaben- und Nutzeranforderungen erfüllt. Eine weitere Grundlage liegt selbstverständlich im Studium vergleichbarer Systeme und Anwendungen durch die mit entsprechender Expertise ausgestatteten Systementwickler. Diese Forderung bedeutet immer eine multidisziplinäre Zusammensetzung oder Ausbildung mit der Anwendung des zugehörigen Wissens- und Metho-

denportfolios. In der Praxis ist das häufig bereits realisiert. In den Entwicklungsabteilungen mit ergonomischen und Usability-bezogenen Themen findet man Psychologen und Naturwissenschaftler ganz selbstverständlich neben Ingenieuren und Designern. Aus der Tabelle 5-2 ist eine Zusammenfassung der Abläufe für den nutzerzentrierten Entwurf von der Markanalyse bis zur Produktfertigstellung zu entnehmen (in Anlehnung an Norman 1998, S. 184 f., DIN EN ISO 9241-11, Mayhew 1999 und Gruchmann 2007), zudem sind diese Schritte vereinfacht in der Abbildung 5-13 mit Verdeutlichung der iterativen Abläufe skizziert.

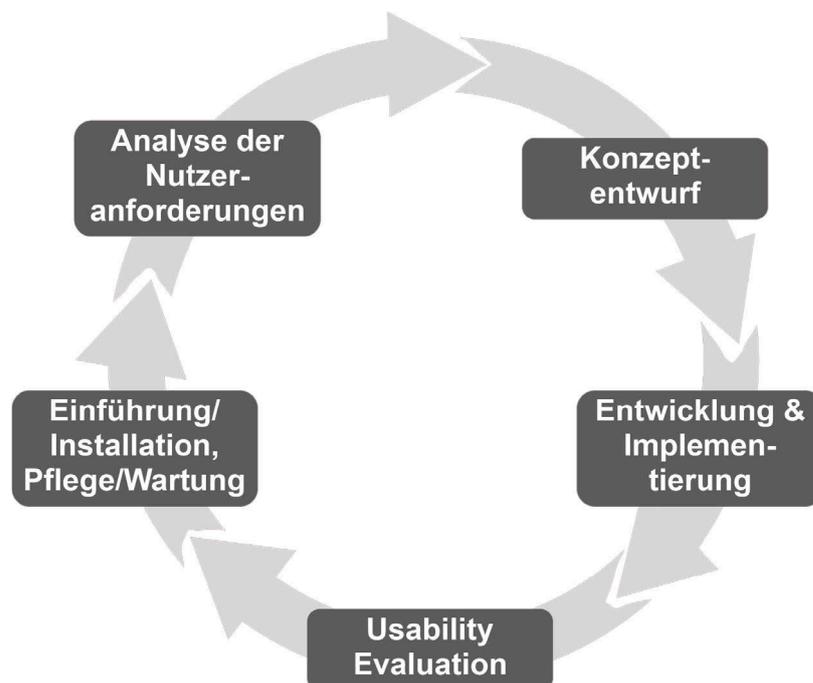


Abbildung 5-13: Zusammenfassung und vereinfachte schematische Darstellung der iterativen Abläufe in einem nutzerzentrierten Designprozess (nach Gruchmann 2007, S. 7)

Die Forderung nach einer iterativen Vorgehensweise ist sowohl in der Norm DIN EN ISO 13407 als auch in verschiedenen anderen Quellen als unverzichtbar beschrieben, die Umsetzungsmöglichkeiten davon werden jedoch nicht einheitlich angegeben. Selbst die Norm lässt auch die Möglichkeit zu, dass prinzipiell der Ablauf des Gestaltungsprozesses auch einzügig (also linear bzw. sequentiell, in Form eines sog. „Wasserfall“-Modells, s. 5.1.1) ablaufen kann und die iterativen Schritte lediglich Teilprozesse betreffen (s. DIN EN ISO 9241-11, Abschn. 5.4).

Tabelle 5-2: Verkürzte Zusammenfassung der Prozessschritte bzw. Phasen und notwendigen Inhalte beim nutzerzentrierten Entwurf

Prozessschritt	Inhalt und Input in den Prozess
Nutzergespräche während ihrer Tätigkeit	Gewinnung verlässlicher Aussagen über Anforderungen, Interessen und Wünsche (= Marktanalyse)
Interpretation der gewonnenen Daten in funktionsübergreifenden Teams	Schaffung einer gemeinsamen Sichtweise auf den Nutzer und seine Anforderungen
Konsolidierung dieser Daten über viele beobachtete Nutzer/Kunden	Vereinheitlichung, Ableitung/Festlegung von Nutzer- bzw. Kundengruppen
Lösungsentwurf erarbeiten anhand der konsolidierten Daten	Konzept und Entwurf des neuen Systems/Geräts mit dem Ziel einer verbesserten Arbeitsweise oder Lösung eines bestehenden Problems
Systemstrukturierung zur Unterstützung der vereinheitlichten Nutzer- oder Kundengruppe	Planungssysteme, Marketingmaßnahmen, UI Design und Spezifikation
Iterative Verbesserung des Lösungsentwurfs mit Nutzern/Kunden (unter Nutzung von mock-ups)	Frühe Evaluation/Verifikation/Test des Entwurfs, noch vor direkter Umsetzung (z. B. Generierung von Programmcode oder erstem Prototyping)
Definition und Durchführung der Implementierung der erhaltenen Ergebnisse in einem Funktionsmuster	Entwurf/Entwicklung von Prototypen, Codestrukturen, Implementierungsmodellen

Den Abschluss eines jeden Gestaltungsprozesses bildet die Beurteilung der gefundenen Lösung anhand der aufgestellten Anforderungen. Dabei ist neben weiteren Zielen des Gesamtprojektes vor allem die Erreichung der Benutzerziele anhand eines Validierungsplanes zu überprüfen. Auch für die Beurteilung der Zielerreichung sind Angehörige der adressierten Nutzergruppe(n) in den Prozess einzubeziehen. Aus der Beurteilung sind zumindest qualitative Aussagen des Erfüllungsgrades abzuleiten und an die Entwickler zurückzugeben. In der Tabelle 5-2 sind die einzelnen Schritte noch einmal zusammengefasst dargestellt.

Im Folgenden sind eine Reihe Designprozesse aufgelistet, die im Kern alle den Ansatz des benutzerzentrierten Designs verfolgen. Dabei wird soweit möglich auf die Erstautoren oder bedeutende Vertreter der jeweiligen Prozesse verwiesen.

- Design for usability (Gould und andere, s. Gould & Lewis 1985)
- Contextual design – Customer-centered design (Beyer, Holtzblatt, s. Beyer & Holtzblatt 1998)
- Scenario-based design (Carroll, Rosson und weitere, s. Carroll & Rosson 1990, Carroll 1995, Rosson & Carroll 2002)
- Cooperative design (Scandinavian School, Greenbaum & Kyng, s. Greenbaum & Kyng 1991)
- Logical User-centered Interaction Design, LUCID (Kreitzberg, s. Kreitzberg 1996)
- Participatory design (Muller, Haslwanter & Dayton, s. Muller et al. 1997)
- Usability engineering (Nielsen, Mayhew, s. Nielsen 1995, Mayhew 1999)
- Goal-directed design (Cooper, s. Cooper 1999)
- Usage-centered design (Constantine, Lockwood, s. Constantine & Lockwood 1999)
- Human-centered design (DIN EN ISO 13407, DIN EN ISO 9241-11)

Die wesentlichen Elemente des benutzerzentrierten Designs lassen sich aus allen diesen verschiedenen Ansätzen herausnehmen und folgendermaßen zusammenfassen (s. auch Gulliksen et al. 2003):

- Fokus auf den späteren Anwender,
- Aktive Einbeziehung von potentiellen Anwendern,
- Einfache Design-Darstellungen zur Verdeutlichung der Funktionalität,
- Evaluierung der Anwendung im jeweiligen Kontext,
- Explizite und bewusste (und damit nachvollziehbare) Design-Entscheidungen,
- Frühe und kontinuierliche Einbeziehung von Usability-Experten,
- Holistisches Design unter Einbeziehung aller Anwendungsaspekte,
- Anpassung des Design-Prozesses an spezifische Anforderungen, z. B. spezielle Nutzergruppen, Einsatzbereiche des späteren Produktes etc.,
- Benutzerzentrierte Attitüde als Grundlage im Team.

5.3.2 Scenariobased Design nach ROSSON & CARROLL

Das scenariobased Design (SBD) bietet die Möglichkeit zur Verknüpfung iterativer Strukturen mit frühzeitiger Nutzereinbindung in UE-Prozesse. Kern des SBD sind narrative Erzählungen über Nutzer bzw. Nutzeraktivitäten mit Bezug auf das zu gestaltende System (Rosson & Carroll 2002, S. 16 f.). Diese Erzählungen werden nach und nach mit der neu zu entwickelnden Technik angereichert (Cieslik et al. 2012, Nardi 1995).

In der folgenden, durch CARROLL auf die Kernelemente des SBD kondensierten Abbildung 5-14, ist zu erkennen, dass der wesentliche Vorteil des SBD neben der quasi „erzwungenen“ Nutzereinbindung und –rückkopplung darin besteht, dass dem Gestalter im Entwurfsprozess trotz klar formulierter Ziele ausreichend Spielraum bleibt, um auf die explizit formulierten Nutzermeinungen reagieren zu können. Damit sind finanzielle Katastrophen vermeidbar.

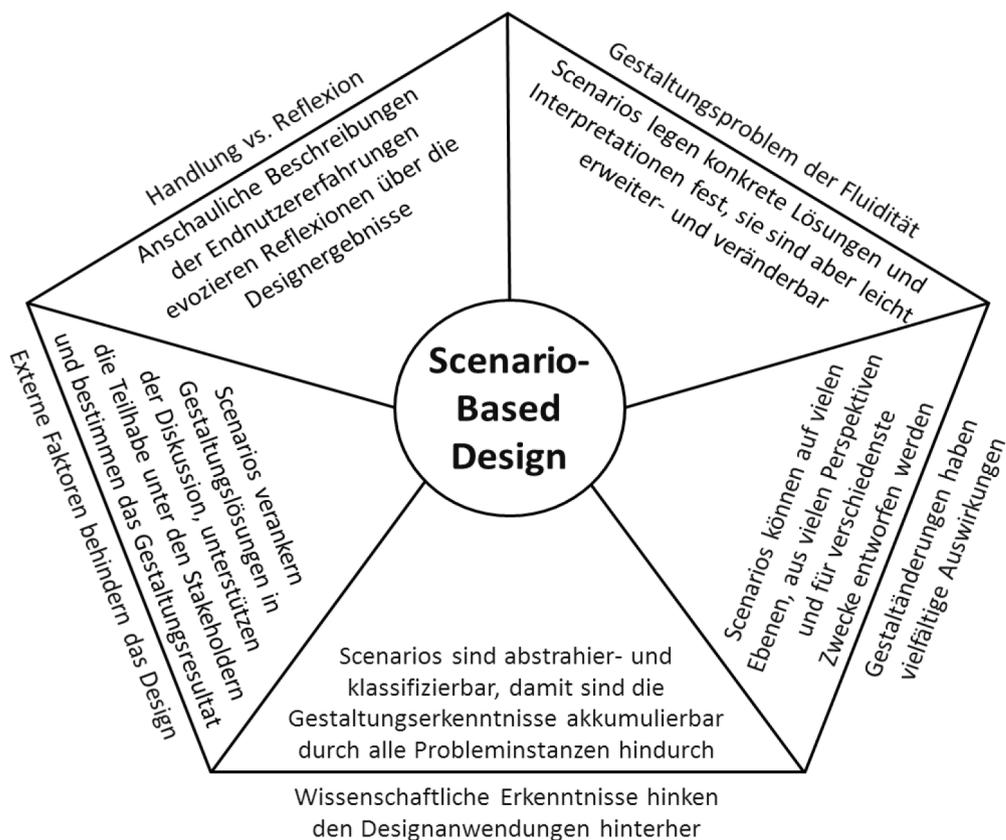


Abbildung 5-14: Herausforderungen und Herangehensweise im SBD (eigene Darstellung nach Carroll 1999, S. 10)

Nach ROSSON & CARROLL läuft das SBD in drei großen sequentiellen Phasen ab:

1. Analyse
2. Design
3. Prototyping und Evaluation
(Rosson & Carroll 2002, S. 24 ff.)

Dabei sind innerhalb dieser Phasen wiederum iterative Abschnitte enthalten, so vor allem in der Designphase zur Integration der Erkenntnisse aus der Nutzerbeteiligung und fortlaufenden Verfeinerung der Szenarien sowie nach Re-design der Testprototypen. Die Szenarien können sowohl bereits bekannte bzw. bestehende Nutzungskontexte beschreiben als auch visionäre Vorstellungen umsetzen. Die Szenarien modellieren den gesamten Zeitraum der Analyse und Konzeption. Sie werden während dieser Zeit fortlaufend in ihrer Abstraktions- und Detailtiefe angepasst. Der gesamte Prozess ist durch verschiedene Szenariotypen gekennzeichnet. Man unterscheidet folgende fünf Grundszenarien:

- Problem-Szenario,
- Aktivitäts-Szenario,
- Informations-Szenario,
- Interaktions-Szenario und
- Dokumentations-Szenario.

Der wichtigste Schritt ist die Analyse der handelnden Personen, der von ihnen benutzten Gegenstände und den damit ausgeführten Tätigkeiten bzw. zu lösenden Aufgaben. Dieser Schritt entspricht sinngemäß der Aufgaben- und Nutzeranalyse aus dem UEDL. Häufig nutzt man zur lebendigeren Beschreibung und besseren Kommunizierbarkeit der Szenarien die Darstellung anhand von Personas. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und besseren Evaluierbarkeit sollte pro handelnde Persona nur ein Szenario beschrieben werden.

5.4 Übertragung der Prozess- und Entwurfsmodelle auf Assistenzsysteme

Unter dem Gedanken der beidseitigen Betrachtung des Systems von Mensch und Maschine in MMS ist für AS stets der Mensch als der Hauptbestimmungsparameter des zu entwickelnden Systems anzunehmen. Unter diesem Gesichtspunkt muss das MMS vor allem an die physiologischen und kognitiv-mentalenen Fähigkeiten und genauso deren Beschränkungen (auch pathologisch indizierte Defizite, wenn das bei den betrachteten Nutzern zutrifft, s. Schmidt 2008). Die Aufgabe des AS ist es dabei, menschliche Entscheidungsprozesse durch passende Informationsaufbereitung, -verdichtung und nutzerangepasste Darstellung zu führen und optimal zu unterstützen. Für eine nutzer-, also menschenzentrierte, Gestaltung hat SCHMIDT verschiedene Entwicklungsschritte bzw. Phasen beschrieben, bei deren Einhaltung als Ergebnis eine Optimierung des gesamten MMS erfolgen kann, dessen Leistungsfähigkeit erhöht wird und das Risiko für Fehlentscheidungen oder Fehlbedienungen bzw.-handlungen durch den Nutzer verringert wird. Ein Beispiel für einen (stark vereinfachten) iterativen nutzerzentrierten Entwicklungsablauf liefert SCHMIDT in Abbildung 5-15. Er definiert dabei das Leitbild der benutzerzentrierten Systemgestaltung wie folgt:

„Wir gestalten ergonomische Mensch-Maschine-Systeme, indem wir Konzepte und Methoden benutzerzentriert entwickeln, diese prototypisch realisieren und sie unter Beteiligung der Nutzer in Feld- und Laborstudien evaluieren.“ (Schmidt 2008, S. 69)

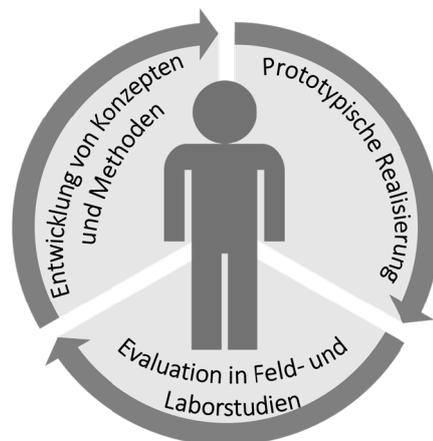


Abbildung 5-15: Leitbild einer benutzerzentrierten Systemgestaltung (schematisch, nach Schmidt 2008)

Der Ablauf der iterativen nutzerzentrierten Systemgestaltung beinhaltet dabei folgende Phasen:

1. Analyse der Prozessabläufe, Aufgaben- und nutzerbezogenen Anforderungen unter Beteiligung der potentiellen Nutzer
2. Funktionszuordnung (in Form von Prototypen, Mock-ups, Demonstratoren)
3. Bewertung der Analyseergebnisse im Rahmen von Feld- oder Laborversuchen zur Identifizierung von Optimierungspotentialen hinsichtlich:
 - Effektivität von Arbeitsabläufen
 - Gestaltungseigenschaften des MMS (also auch der Schnittstelle bzw. des AS)

Als besonders wichtig ist herauszustellen, dass die Gestaltung der Nutzerschnittstelle (also der Interaktionskomponenten) bereits in der ersten Gestaltungsphase von MMS erfolgen muss, um die geforderten Ziele auch erreichen zu können. Mit der oben dargestellten vereinfachten Form des Entwurfsprozesses nach dem Spiral-Modell (s. 5.1.1) ist diese frühzeitige Nutzerintegration tatsächlich auch realisierbar, dasselbe gilt für Ansätze unter Nutzung des V-Modells (ebd.).

Neben einer Reihe von Best-Practice-Studien und Projekten zur Erhebung und Evaluierung von Kriterien für eine möglichst nutzergerechte Gestaltung von MMS gibt es auch rein erfahrungsbasierte Ansätze wie die von NIELSEN aufgestellten Usability-Heuristiken (s. Anhang A, Tabelle A–1 aus Dahm 2006, S. 154 ff.). Diese Heuristiken sind zwar ähnlich den unter 5.1.1 beschriebenen Entwurfsmodellen auch vorrangig für den Softwareentwicklungsprozess aufgestellt worden, können aber prinzipiell auch auf den Entwurf von AS übertragen werden. Ziel der Anwendung dieser Heuristiken ist ein sog. „*discount usability engineering*“, ein Minimum der Gebrauchstauglichkeit zu erreichen, die bei allen Produkten erreicht werden sollte.

Diese Heuristiken sind aus rein pragmatischen Gründen aufgestellt worden und sollten deswegen in der Anwendung immer noch einmal kritisch betrachtet werden. So bringt es diese Reduzierung auf eine „Minimal-Usability“ mit sich, dass methodische wie anwenderspezifische Aspekte unberücksichtigt bleiben. Natürlich stellen diese Vorgaben den Versuch NIELSENS dar, die

Entwickler für benutzerspezifische Herangehensweisen zu sensibilisieren und gleichzeitig erste positive Gestaltungslösungen zu generieren. Damit werden eventuelle spätere Systemverbesserungen schneller und kostengünstiger durchführbar.

Durch DAHM wurden diese Nielsen-Heuristiken noch um sieben Punkte erweitert (s. Anhang A, Tabelle A–2, nach Dahm 2006, S. 157 ff.). Nicht alle der Nielsen-Heuristiken bzw. der Erweiterungen von Dahm treffen immer auf alle Nutzerschnittstellen zu, sie sind somit während der Entwicklung immer auf ihre jeweilige Anwendbarkeit zu überprüfen.

5.5 Individualisierung zur Anpassung der Schnittstellen an den jeweiligen Nutzer

Unter dem Anspruch, dass ein AS Hilfe und Unterstützung wirklich in bestmöglicher Weise liefern soll, stellt sich, wie schon häufiger dargelegt, die Notwendigkeit zu einer weitest gehenden Nutzeranpassung insbesondere der Nutzungsschnittstelle und damit einer optimalen Nutzbarkeit durch jeden Nutzer. Das ist allerdings nur durch eine zumindest teilweise individuelle Anpassung des AS oder seiner Nutzerschnittstelle zu erreichen, umso mehr, wenn die gleichen Ansprüche und Gütekriterien auch für die Nutzung des AS durch verschiedentlich eingeschränkte Nutzer anlegt werden. Dabei kann und muss die Anpassung auf verschiedenen Gebieten erfolgen. Eine Auswahl möglicher Gestaltungsfelder bietet die Tabelle C–4, die dargestellten Varianten zur Nutzeranpassung entsprechen den praktischen Erfahrungen aus Projekten, Tests und anschließender Bewertung und Beurteilung unter Beteiligung entsprechender Nutzer:

Als ein Beispiel für die großen Chancen einer individualisierten Nutzeranpassung soll auf das wenig bekannte Daltonizing³³ näher eingegangen werden. Dieses Verfahren zur Anpassung optischer Anzeigen und damit der Verfügbarkeit von Farbinformationen für Farbfehlsichtige verdeutlicht, wie durch wenige Maßnahmen eine scheinbar unüberwindliche Barriere für einzelne

³³ Benannt nach John Dalton, einem englischen Naturforscher. Er entdeckte und untersuchte die „Farbenblindheit“ (Daltonismus, Rot-Grün-Blindheit), da er selbst auch darunter litt. Auch das Dalton als Atommasseeinheit wurde nach ihm benannt.

Nutzer(gruppen) aufgehoben oder durchlässig gemacht werden kann, und das mit vertretbarem und überschaubarem Aufwand.

Daltonizing

Bei diesem Verfahren, welches grundlegend an der University of Stanford entwickelt wurde, werden die einzelnen Komponenten, die zur Farbwahrnehmung beitragen (Farbton, Sättigung, Helligkeit) analysiert und für die jeweilige Farbfehlsichtigkeit unterschiedlich interpretiert und simuliert. Heute kann man damit u. a. als Online-Tool oder Browser-Plug-In die Gestaltung von Webseiten (z. B. bei Vischeck³⁴) oder auch einzelner Abbildungen kontrollieren und gezielt verändern. Dabei werden verschiedene Algorithmen verwendet, welche die in Bildern vorhandenen Farbinformationen extrahieren und anhand der Verarbeitungsprinzipien von Farbreizen im Verlauf der Sehbahn und des visuellen Kortexes so umcodieren, dass sie von Farbfehlsichtigen z. B. über Grauwertabstufungen wahrgenommen werden können. Die wichtigsten Beiträge zu diesen Algorithmen lieferten POIRSON und WANDELL mit dem S-CIELAB-Modell zur Farbseparation und -transformation (Poirson & Wandell 1996) sowie Zhang et al. (Zhang et al. 1997). Der Code-Anteil zur Simulation der dichromatischen Farbschwäche geht auf einen Algorithmus von Brettel et al. zurück (Brettel et al. 1997).

Im Vergleich der Teilbilder 2) und 4) in der Abbildung 5-16 wird deutlich, wie die Details und damit die wahrgenommenen Inhalte für die Farbfehlsichtigen zugenommen haben bzw. der Inhalt wie am Beispiel der Ishihara-Tafel³⁵ überhaupt erst sichtbar wird. In der folgenden Abbildung 5-17 ist ein Beispiel aufgeführt, wie dieses Verfahren genutzt wurde, um die Informationen zur Routenführung über ein Navigationsgerät (Smartphone) für einen deuteranopen Farbfehlsichtigen erkennbar und damit nutzbar zu machen. Es sind deutlich die Veränderungen zu erkennen, mit deren Hilfe für den gehandicapten

³⁴ <http://www.vischeck.com/daltonize/> oder <http://www.colorblinds.org/>

³⁵ Benannt nach Shinobu Ishihara, einem japanischen Augenarzt. Der Test wurde von ihm 1917 erstmals eingesetzt, um die Farbwahrnehmung von Rekruten der japanischen Armee zu testen.

Nutzer zuvor nicht verfügbare Informationen über z. B. unterschiedliche Bebauungsarten oder Häuserabgrenzungen sichtbar und damit als Information verfügbar werden.

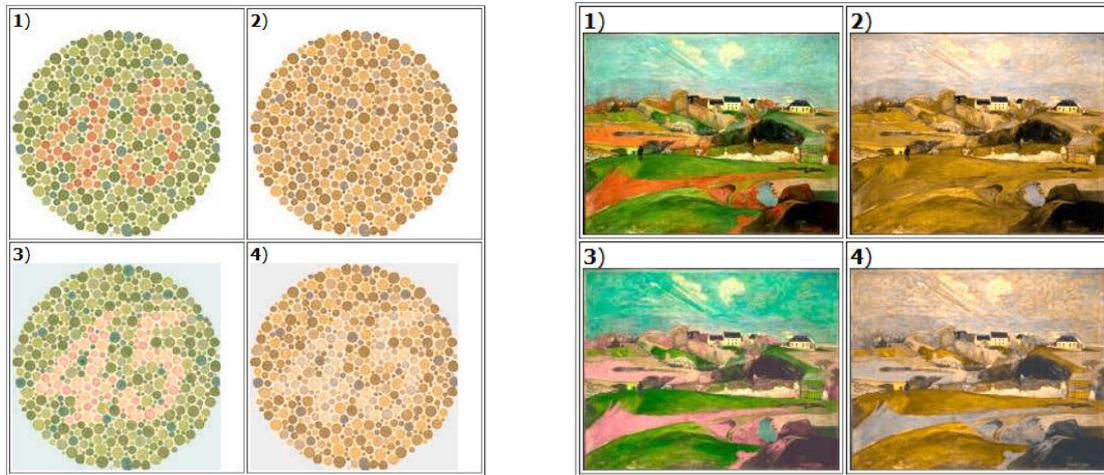


Abbildung 5-16: Zwei Beispiele für die Anwendung des Daltonizing-Algorithmus auf farbige Bilder (links Ishihara-Tafel Nr. 9 zur Überprüfung der Farbtüchtigkeit, rechts ein Gemälde von Gauguin; Stanford University 1997)

- 1) Original
- 2) Simulation der Wahrnehmung dieses Bildes durch einen Farbfehlsichtigen
- 3) Bild nach Anwendung des Algorithmus
- 4) Simulation der Wahrnehmung des veränderten Bildes

Das Daltonizing-Verfahren ist im Internet frei verfügbar über eine Webseite, auf der zum einen Bilder (als image-Dateien verschiedener Formate) online auf ihre Erkennbarkeit durch Farbfehlsichtige getestet werden können, zum anderen können auch Plug-ins für Bildbearbeitungsprogramme (z. B. Adobe Photoshop) heruntergeladen werden, die dann entsprechende Anpassungen von Abbildungen, Grafiken in Softwareanwendungen etc. vornehmen können³⁶.

³⁶ http://www.vischeck.com/downloads/vischeckPS/vischeckPS_1.zip:
Downloadlink für das Photoshop Plug-in für Windows Betriebssysteme.

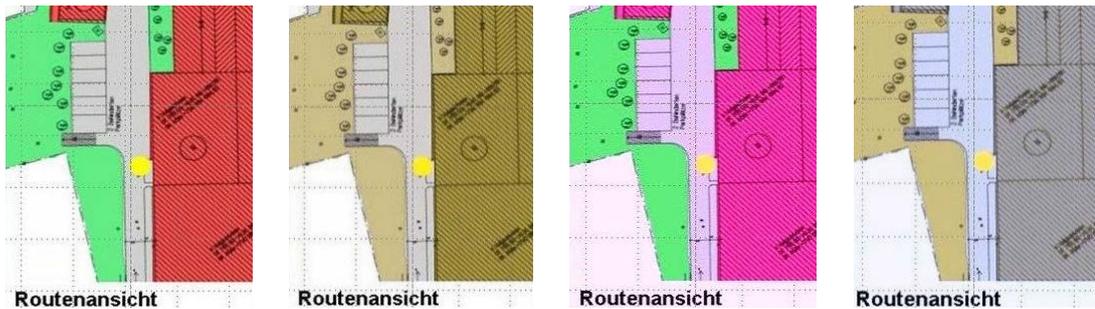


Abbildung 5-17: Anpassung der grafischen Ausgabe eines Smartphones zur Routenführung³⁷ für einen deuteranoplen Fabfehlsichtigen

links: Originalbild für Normalsichtige

2.v.l.: Seheindruck dieser Grafik für den Deuteranoplen (Simulation)

2.v.r.: daltonisiertes Bild zur Korrektur des Seheindrucks

rechts: Seheindruck dieses korrigierten Bildes

5.6 Notwendige Modifikationen vorhandener Entwicklungsprozesse bzw. -modelle

Die meisten bekannten und so auch die in dieser Arbeit im Abschnitt 5.1 vorgestellten Entwicklungsmodelle sind primär oder ausschließlich für den Entwurf bzw. die Realisierung von Softwareprojekten erdacht worden. Damit geben sie Ansatzpunkte für die grundlegende Struktur innerhalb von Entwurfsprozessen, können aber zumindest nicht unmittelbar und unverändert auf die Hardwareentwicklung oder vermischter Systeme übertragen werden.

Ein zweiter wichtiger Aspekt für die Notwendigkeit von Modifikationen liegt in der jeweiligen Entwicklungsaufgabe. Häufig ist es so, dass weniger umfangreiche Projekte (Prototypen, Nullserien und Forschungsaufgaben) nicht über die zeitlichen und finanziellen Ressourcen verfügen, um vollständige Entwicklungsprozesse durchlaufen zu können, wie sie in 5.1 für die verschiedenen Modelle beschrieben sind.

In der Beurteilung von marktverfügbaren Produkten, wie sie auch für diese Arbeit und in den damit verknüpften Entwicklungsprojekten durchgeführt wurden, lässt sich nachträglich natürlich kein unmittelbarer Fehler durch den

³⁷ Die Abbildung ist Teil einer Testversion der Routenführung für die Anbindung des Rollstuhltestparcours der Fa. Otto Bock in Königsee (Thür.) an das TAS-System.

Einsatz irgendeines der vorgestellten Modelle gegenüber einem anderen belegen oder nachweisen. Dazu fehlt die Basis, da kein Unternehmen seine Entwicklungsprozesse offenlegt. Es lässt sich somit nur das Ergebnis beurteilen und auf mögliche Fehler rückschließen. So kann man unterstellen, dass bei der Entwicklung bzw. sogar schon vorher bei der Bedarfsermittlung für Armbanduhr mit Taschenrechnerfunktion (s. 4.1) keine ausreichende und frühzeitige Nutzerbeteiligung stattgefunden hat, oder dass das eingesetzte Entwicklungsmodell nicht für diese Aufgabe tauglich war.

In der Literatur finden sich aber auch Beispiele, dass neben tatsächlichen Versäumnissen im Entwurf (vor allem durch fehlende oder zu späte Nutzerbeteiligung) selbst die Einhaltung anerkannter Regeln nicht zwangsläufig für gute Produkte sorgt (s. Baggen & Hemmerling 2000). Für die Zukunft gilt es daher, vermehrt den späteren Nutzer des Systems und nicht die Technik (Systeme, Systemarchitekturen oder Endgeräte) in den Mittelpunkt der Untersuchungen zu stellen. Außerdem dürfen die Entwickler ihre Entwicklungsprojekte und die entstehenden Produkte nicht ausschließlich oder vorrangig aus ihrer eigenen stark fokussierten und fachspezifischen Sicht beurteilen. Auch an dieser Stelle ist die Nutzerbeteiligung eine Möglichkeit, um bessere und vor allem Produkte mit höherer Akzeptanz zu entwickeln

Auch ein Ziel der Entwicklung des neuen Konzepts lag darin, schlankere Prozessabläufe zu erhalten, die an die wechselnden Rahmenbedingungen angepasst werden können (u. a. durch die Möglichkeit unnötige Prozessschritte überspringen zu können). Das neue Konzept soll somit nicht nur für höhere Akzeptanz der entstehenden Produkte sorgen, sondern als Prozessablauf selbst höhere Akzeptanz bei den Entwicklern besitzen. Das gilt insbesondere unter Kostenaspekten und dem Umstand, dass häufig die Schnittstellengestaltung bzw. der Entwurf der AS nur ein kleineres Teilprojekt innerhalb sehr viel größerer ist (z. B. Fahrzeugtechnik/Automobilbau). Dadurch bekommen diese Teilprojekte auch nur begrenzte Personal- und Finanzbudgets. Zudem sind die zeitlichen Rahmenbedingungen durch das Gesamtprojekt vorgegeben. Für diese Anwendungsfälle sind die Softwareentwicklungsmodelle nur bedingt geeignet, aber auch die dem UE-Prozess entlehnten Modelle decken diese gesteckten Ziele nur teilweise ab.

Aus diesen Vorbemerkungen lässt sich ableiten, dass die in diesem Kapitel vorgestellten Modelle (bzw. ausgewählte Vertreter) auf ihre nutzbringenden,

zielführenden Anteile und Strukturen hin zu untersuchen und daraus das Konzept für ein neues Modell (NuGASt) herzuleiten. Dieses kann und soll natürlich nicht den Anspruch haben, alle künftigen Entwurfsprozesse beschreiben und abbilden zu können.

Das Konzept NuGASt entstand während praktischer Anwendung (innerhalb der Entwicklungsphase des Forschungsprojekts Harys). Da es während des Entwurfs in weiteren Folgeprojekten bereits angewendet wurde und mit den Ergebnissen evaluiert und optimiert wurde, beinhaltet es in sich bereits iterative Anteile. Diese systemimmanenten Iterationsstufen sind im endgültigen Konzept nicht mehr enthalten, da sie nicht notwendigerweise durchgeführt wurden, sondern aus strukturellen und Kapazitätsgründen während der Entwurfszeit entstanden.

5.7 Analyse ausgewählter Entwurfsprozesse

5.7.1 Beurteilungskriterien

Während der innerhalb des Forschungsprojektes Harys durchgeführten Sichtung bekannter Entwurfsmodelle wurden Defizite für die Anwendbarkeit (wie in 5.6 beschrieben) festgestellt, vor allem bezüglich des Umfangs dieser Modelle und ihrer Phasen sowie der Möglichkeit, schnelle und auf die Gestaltungsgüte (also Gebrauchstauglichkeit, s. 4.2 ff.) bezogene Ergebnisse zu erhalten. Deshalb wurde eine umfassendere Analyse und Beurteilung von Entwicklungsmodellen geplant und durchgeführt. Für diese Untersuchungen wurde im Sinne der Entwurfsmethodik nach VDI 2206 ein Anforderungskatalog erstellt, der einfache und überprüfbare Kriterien für das später anzuwendende Entwicklungsmodell enthielt. Mit diesen Kriterien war es möglich, Entscheidungen über Eignung oder Nichteignung der untersuchten Modelle bzw. einzelner Phasen zu treffen. Die Anforderungen sollten sicherstellen, dass die in 5.6 beschriebenen Mängel ganz oder teilweise behoben werden, jedoch die grundsätzlich erprobten und bewährten Strukturen wie der daraus resultierenden positiven Eigenschaften erhalten bleiben. Da es auch für NuGASt ein möglichst breites Anwendungsspektrum geben soll, wurden die Anforderungen möglichst allgemein formuliert und folgendermaßen festgelegt.

Anforderungen an die Entwurfsmodelle im Nutzungskontext von AS, Schnittstellen und zur Entwicklung davon im Rahmen von Forschungsprojekten:

1. Sequentielle Grundstruktur mit abgrenzbaren Phasen
2. Möglichkeit zur Nutzereinbindung in allen Phasen des Prozessablaufs
3. Möglichkeit zum Überspringen von Phasen (wenn diese für den aktuellen Entwicklungsprozess nicht relevant sind)
4. Rückkopplungsmöglichkeit in den einzelnen Phasen wählbar
5. Geringe Anzahl von Einzelschritten bzw. Phasen.

Die sequentielle Grundstruktur (1.) ist unabdingbar, da Entwicklungen durch ihren Prozesscharakter lt. {Def5} immer sequentiell ablaufen. Gut abgrenzbare Phasen erleichtern die Entscheidung, ob sie für die jeweilige Entwicklungsaufgabe notwendig sind oder nicht und sind damit die Voraussetzung für Anforderung (3). Die möglicherweise fehlende oder unzureichende Nutzereinbindung in frühen Entwicklungsphasen wurde sowohl in der Literatur wie auch bei den eigenen Beurteilungen als entscheidender Aspekt identifiziert. Insbesondere die notwendige Implementierung von Modulen oder Komponenten zur Individualisierung in das Endprodukt kann nur durch rechtzeitige Einflussnahme späterer Nutzer und die Integration ihrer Expertise realisiert werden. Damit ergibt sich die Forderung (2) nach der Möglichkeit zur Einbindung künftiger Nutzer in allen Prozessschritten. Die Anforderungen (3) und (5) sind vor allem auf eine gute Handhabbarkeit des Modells ausgerichtet, und um Anwendbarkeit gegenüber den komplexeren Softwareentwicklungsmodellen zu verbessern. Die Integration von Rückkopplungsmöglichkeiten in einzelne, frei wählbare Phasen des Entwicklungsprozesses gibt die Möglichkeit, sofort Ergebnisse der Nutzerintegration in den Entwicklungsfortschritt einzubringen. Das ist zudem eine Möglichkeit, direkt und unmittelbar die Gestaltungsgüte des späteren Produkts zu erhöhen.

Die in Abschnitt 5.1.1 aufgeführten Softwarelebenszyklusmodelle und weitergehenden Entwurfsprozessmodelle wurden im Weiteren nicht mehr betrachtet, da sie aufgrund ihrer Komplexität bereits mindestens eine der gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Zudem enthalten sie häufig eines oder mehrere der anderen aufgeführten Entwurfsmodelle oder kombinieren sie, weswegen die Bewertungen der genutzten Grundmodelle auch auf deren Kombinationen übertragbar sind. Dazu sei das Beispiel Kanban in der IT aufgeführt. Von der Struktur ähnelt es dem WFM, und vom Ablauf verhält es sich auch ähnlich,

aber mit weitergehenden Funktionalitäten. So kann es tatsächlich auf ein WFM aufgesetzt werden, um dieses dauerhaft zu beschleunigen und zu verschlanken. In diesem Sinne reicht es für die geplanten Analysen aber aus, das zu Grunde liegende WFM zu untersuchen.

5.7.2 Analyseergebnisse

Im Folgenden werden die Analyseergebnisse getrennt nach Softwareentwurfsmodellen, Modellen des UE und weiteren Modellen jeweils in Form einer Übersichtstabelle dargestellt. Die Erfüllung ist dabei nur durch „✓“ für erfüllt bzw. „X“ für nicht erfüllt gekennzeichnet. Das Symbol für Erfüllung oder Nicht-Erfüllung in Klammern bedeutet eine Einschränkung dieser Einstufung, der Grund dafür oder weitergehende Erläuterungen stehen unter Bemerkungen in der nächsten Spalte. Als erfüllt gelten die einzelnen Kriterien auch, wenn sie zutreffend oder realisierbar sind, aber innerhalb des bisherigen Einsatzgebietes nicht sinnvoll oder nicht vorgesehen waren. Während der Analyse und Beurteilung durch den Autor wurden jeweils die Anforderungen mit den bekannten und bereits vorgestellten Modellen verglichen und daraus die Bewertung erstellt.

Softwareentwurfsmodelle

Aus der Vielzahl der vorhandenen Softwareentwurfsmodelle (s. Abschnitt 5.1.1) wurden exemplarisch die einfachsten und wichtigsten herausgenommen und analysiert, da in einer ersten Einschätzung festgestellt wurde, dass die komplexeren und (und auf bestimmte Bereiche spezialisierten) Modelle den formulierten Anforderungen für das neue Konzept schon aufgrund ihrer eigenen Komplexität nicht entsprechen.

1. Wasserfallmodell (WFM):

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	✓	Grundprinzip des WFM
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	(X)	Nicht vorgesehen, aber möglich
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/ Einzelabschnitten	(✓)	Nicht vorgesehen, aber möglich bei obsoleten Phasen
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	(✓)	Nur im erweiterten WFM
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	(✓)	5 Phasen notwendig, für die betrachteten Anwendungsfälle entfallen Inbetriebnahme und Wartung. Damit ist der Umfang gerade noch akzeptabel

Kurzfasit:

Das WFM bietet die geforderte sequentielle Grundstruktur, in der ursprünglichen Form erfüllt es jedoch die Anforderungen nur ungenügend. Es bietet jedoch in allen Phasen die Möglichkeit zur Modifikation, um die Anforderungen realisieren zu können.

2. Spiralmodell

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	✓	
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	X	
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/ Einzelabschnitten	(X)	Nicht vorgesehen, aber prinzipiell möglich
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	X	
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	X	

Kurzfasit:

Obwohl die Struktur (1.) grundsätzlich geeignet wäre, erfüllen alle anderen Punkte nicht die Anforderungen und bieten auch keine Möglichkeit zur Anpassung. Das gilt insbesondere für die fehlende Rückkopplungsmöglichkeit und Nutzereinbindung.

3. V-Modelle

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	✓	
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	X	
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/Einzelabschnitten	(✓)	Nicht vorgesehen, aber teilweise möglich
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	✓	
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	X	

Kurzfasit:

Die Nutzereinbindung kann nur in den Phasen zur Anforderungsanalyse und den Tests erfolgen, damit ist das Modell insgesamt ungeeignet. Die systematische Herangehensweise einer stufenweisen Herabsetzung der Komplexität und schrittweisen Erhöhung des Detaillierungsgrades mit fortwährender Absicherung der Ergebnisse bei der Implementierung ist insbesondere für größere Projekte jedoch sinnvoll. Die Grundstruktur ist für das neue Konzept geeignet.

Modelle des UE und der benutzerzentrierten Designprozesse

Aus den UE-Entwurfsmodellen wurden lediglich der UEDL nach MAYHEW und das SBD nach CAROLL als Auswahl aus den benutzerzentrierten Designprozessen näher betrachtet. Beide Modelle haben eine starke Nutzerbeteiligung bereits integriert und damit einen Teilaspekt der Strukturanforderung von NuGASt erfüllt. Andere Modelle, vor allem das UE-Modell von SARODNICK, ist stärker auf größere Projekte und deren Einbindung in laufende Arbeitsprozesse ausgerichtet.

4. Usability Engineering Design Lifecycle (UEDL nach MAYHEW)

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	(✓)	Einige Phasen laufen strukturell parallel ab, müssen aber insgesamt abgeschlossen werden
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	X	Nur während der Tests möglich
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/Einzelabschnitten	(X)	Einige Phasen sind unverzichtbar
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	(✓)	Nicht in allen Phasen vorgesehen, Modell ist insgesamt rückgekoppelt
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	X	

Kurzfasit:

Die immer wiederkehrende Überprüfung der Teilergebnisse durch Usability Tests mit Nutzern bietet eine große Chance für ein akzeptiertes Endprodukt. Die hohe Anzahl der unverzichtbaren Phasen macht es insgesamt für das neue Konzept ungeeignet.

5. Scenariobased Design (SBD nach CAROLL)

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	✓	
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	(✓)	Nicht jederzeit und in allen Phasen möglich
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/Einzelabschnitten	(✓)	Nicht vorgesehen, schwierig zu realisieren
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	(✓)	Während der Designphase möglich, Rücksprünge aus verschiedenen Grundscenarien kaum möglich
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	X	

Kurzfasit:

Die Grundstruktur (sequentiell aus drei Phasen) sowie die aktive Nutzereinbindung sind prinzipiell gut für NuGASt geeignet. Allerdings sind nicht alle Phasen notwendig, können aber nicht weggelassen werden. Dazu kommt eine hohe Komplexität, da fünf Grundscenarien in drei Phasen abgearbeitet werden müssen.

Weitere untersuchte Modelle

Zusätzlich zu den oben genannten Modellen wurden noch zwei allgemeinere Entwurfs- bzw. Vorgehensmodelle betrachtet. Dafür wurde zum einen das Modell für den Entwurf interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 13407 (jetzt gültige Norm EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) und zum anderen das in den Richtlinien zum mechatronischen Systementwurf (VDI 2206) sowie zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte und Systeme (VDI 2221, 2222 und 2223) enthaltene Modell des Problemlösungsansatzes (PLA) untersucht. Zudem wurde das Leitbild des nutzerzentrierten Systementwurfs nach SCHMIDT in die Analysen einbezogen, obwohl es im eigentlichen Sinne kein phasenbezogenes Entwurfsmodell, sondern eher ein Leitfaden für den iterativen Ablauf darstellt. Die Schwerpunkte der strukturellen Iteration und die Nutzerorientierung wie –einbeziehung ließen es aber ebenfalls als wichtig für die weitere Arbeit erscheinen.

6. Modell nach DIN EN ISO 13407

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	(✓)	Innerhalb des Zyklus gegeben
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	(✓)	Nicht vorgesehen, aber möglich
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/ Einzelabschnitten	X	Nicht möglich, da aufeinander aufbauend
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	X	
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	✓	

Kurzfasit:

Der gesamte Prozess läuft iterativ ab und bietet in sich keine weiteren Rückkopplungsmöglichkeiten. Mit Ausnahme der Erarbeitung der eigentlichen Lösungsidee bzw. der/des Prototypen kann jederzeit eine Nutzerintegration erfolgen. Zudem ist positiv hervorzuheben, dass der Prozess selbst per Definition auf den späteren Nutzer fokussiert ist und außerdem aus sehr wenigen Phasen besteht.

7. Problemlösungsansatz (PLA)

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	✓	
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	(✓)	Nicht vorgesehen, aber möglich
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/ Einzelabschnitten	(✓)	Nicht vorgesehen, aber möglich
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	✓	
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	(✓)	Durch Zusammenfassen von Phasen oder Weglassen

Kurzfasit:

Mit geringen Abstrichen bietet der PLA eine Erfüllung der gestellten Anforderungen. Alle fünf Forderungen sind erfüllt bzw. erfüllbar, damit bietet der PLA die Voraussetzung zur Anwendung als Grundstruktur für das neue Konzept. Weiterhin ist es vorteilhaft, dass der PLA je nach Entwicklungsaufgabe entweder nach einer Ist-Stands-Analyse den vorhandenen Zustand zu verbessern versucht, oder ausgehend von vorher definierten Anforderungen diese erreicht werden sollen (flexibler Wechsel zwischen top-down oder bottom-up möglich).

8. Leitbild des benutzerzentrierten Entwurfs (nach Schmidt 2008):

Forderung (Kurzformulierung)	Erfüllung	Bemerkung
1. Sequentielle Phasen	(X)	Kreisprozess mit sequentiellen Phasen
2. Jederzeit Möglichkeit zur Nutzereinbindung gegeben	(✓)	Nur in Teilabschnitten vorgesehen
3. Überspringen/Weglassen von Phasen/Einzelabschnitten	X	
4. Wählbare Rückkopplungsmöglichkeit	X	
5. Geringe Anzahl Gesamt-Phasen	✓	

Kurzfasit:

Die Struktur des Leitbilds nach SCHMIDT ist sehr einfach gehalten, deckt sich jedoch nicht mit den gestellten Anforderungen. Allerdings sind die von SCHMIDT vorgeschlagenen Fragestellungen zur Abarbeitung in den einzelnen Phasen gut geeignet, um als Handlungsanweisung auch in anderen Modellen verwendet werden zu können und damit die Nutzerzentrierung bei der Entwicklungsarbeit fest zu integrieren.

Abschließendes Fazit:

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass wie schon beschrieben einige der Modelle aufeinander aufbauen bzw. ähnliche Strukturen oder einzelne Entwurfsphasen voneinander übernommen haben. Es zeigte sich auch, dass keines der untersuchten Modelle in der ursprünglichen Formulierung die gestellten Anforderungen vollständig erfüllt. Berücksichtigt man aber, dass einzelne Phasen nicht zwingend durchgeführt werden müssen und die Nutzerbeteiligung in den allgemeinen Modellen zumeist nicht vorgesehen ist, sich aber integrieren lässt (Beispiel PLA: in den Rückkopplungszweigen ist mittels Nutzereinbindung eine Optimierung des Feedbacks und damit Verringerung der Anzahl von Iterationsschritten erzielbar), dann bietet der PLA eine Grundstruktur, die für NuGASt genutzt werden kann. Aus den Erkenntnissen der Analyse und Beispielen aus der Literatur ergibt sich, dass der PLA durch eine dem UEDL entlehnte Anforderungsanalyse ergänzt werden sollte. Alle Phasen des PLA können bei Bedarf wiederholt durchlaufen werden und dadurch in Nutzertests und Evaluationen die potentiellen Nutzer in den Entwurfsprozess eingebunden

werden. Um in diesen Test- und Evaluationsschritten die notwendigen Aussagen und Ergebnisse zu erhalten, ist eine Orientierung am Ablaufmodell nach SCHMIDT (s. 5.4) sinnvoll.

Um Erfolg zu haben, musst du den Standpunkt des anderen annehmen und die Dinge mit seinen Augen betrachten.

Henry Ford I.

6 Entwurf des Konzepts für die nutzergerechte Gestaltung von AS und ihren Schnittstellen (NuGASt)

6.1 Konzepterstellung

Das Konzept NuGASt baut auf den unter 5.7.2. vorgestellten Analysen und Erkenntnissen aus der Projektarbeit auf. Diese Projekte waren inhaltlich entweder direkt auf den Entwurf von AS oder Nutzerschnittstellenausgerichtet oder hatten zumindest Teile, die das beinhalteten.

Für die NuGASt-Konzepterstellung wurde ebenfalls der PLA (s. 5.7.2) in einer modifizierten Struktur genutzt. Die sichere Beherrschung und gute Erfahrungen zur Anwendbarkeit auf die Fragestellung waren die dafür entscheidenden Argumente. In der Abbildung 6-1 ist der auf dem PLA nach VDI 2221 (vgl. Abbildung 5-4) aufbauende und modifizierte Ablauf zur NuGASt-Konzepterstellung schematisch dargestellt.

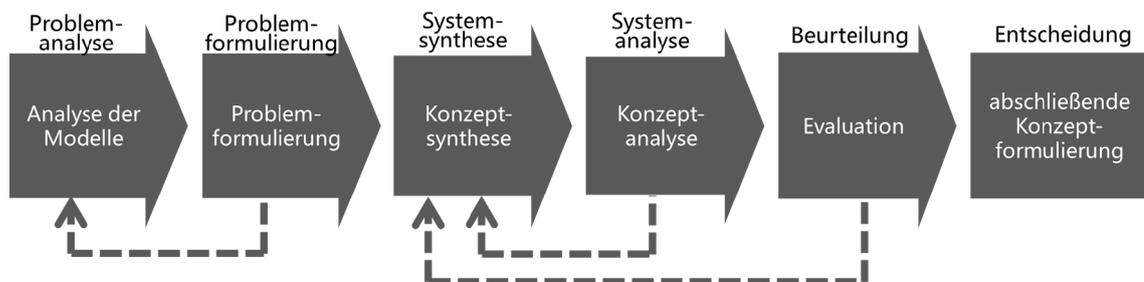


Abbildung 6-1: Struktur-Ablaufplan zum Entwurf von NuGASt, abgewandelt und modifiziert nach VDI 2221 (darüberstehend die Namen der Phasen des PLA lt. VDI 2221)

Die einzelnen sequentiell ablaufenden Phasen des PLA wurden nach Abbildung 6-1, wie auch in der VDI 2221 vorgesehen, teilweise iterativ durchlaufen. Dabei wurden Fragen, die durch die Problemformulierung gestellt wurden, noch einmal einer vertieften Modellanalyse unterworfen (erste Rückkopplung). Zum anderen wurden Ergebnisse der Konzeptanalyse und Evalua-

tion zur Konkretisierung des Konzeptes in die Konzeptsynthese zurückgekoppelt. Der Ablauf dieser einzelnen Phasen ist in den folgenden Abschnitten näher beschrieben. Da die Arbeit zum Entwurf von NuGASSt parallel zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten erfolgte, wurden die dabei gesammelten Erfahrungen zum einen direkt in den Entwurf eingebracht, andererseits die dazu notwendigen Phasen des PLA wie die dabei entstandenen Konzeptprototypen innerhalb der Entwicklungsprojekte unmittelbar angewendet und getestet.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die einzelnen Phasen des PLA zur Konzeptentwicklung von NuGASSt jeweils wie in der Abbildung 6-1 in Pfeilform dargestellt, die aktuell durchgeführte Phase wird farbig (blau) hervorgehoben. In die Darstellung werden Erkenntnisse aus den Forschungsprojekten eingebunden, die zur Gestaltung während der einzelnen Konzeptphasen beigetragen haben.

6.1.1 Analyse von Entwicklungsmodellen (Problemanalyse des PLA)

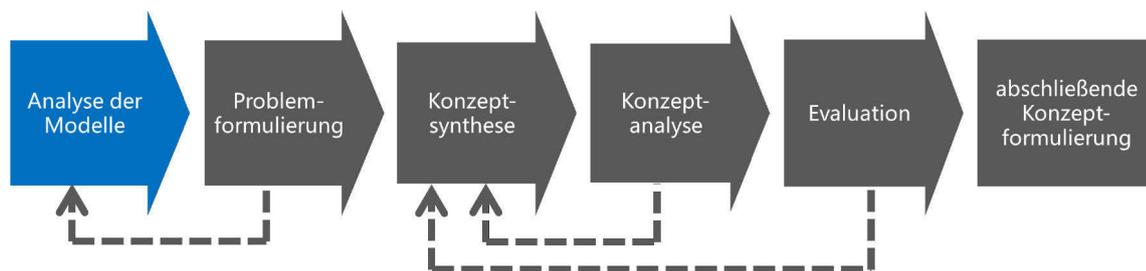


Abbildung 6-2: Strukturschema des Prozesses zum Entwurf von NuGASSt (blau: aktuelle Phase)

Die in 5.7 beschriebene Analyse ausgewählter Entwicklungsmodelle und -prozesse stellt bereits die erste Phase des PLA (s. Abbildung 6-2) innerhalb des Entwurfs von NuGASSt dar. Entsprechend der in 5.7 formulierten Anforderungen an das neue Konzept erfolgte die Modellanalyse mit den Phasen nach (Schmidt 2008, s. 5.4) als eine Analyse der Prozessabläufe mit Vergleich und Beurteilung der Entwicklungsmodelle anhand der gewählten Kriterien. Die Beurteilung erfolgte dabei in Form der tabellarischen Erfassung des jeweiligen Erfüllungsgrades, sowie verbal in Form der Kurzfazits.

Als Werkzeug für die Problemanalyse, wie auch vor allem zur Dokumentation ihrer Ergebnisse, wurde zusammenfassend ein Anforderungskatalog an das zu entwickelnde System aufgestellt. Dieser wird im nächsten Prozessschritt (Problemformulierung) noch einmal mit den formulierten Problemen überprüft und eventuell um weitere Anforderungen bzw. Ausschlusskriterien ergänzt. Dieser Anforderungskatalog ist prinzipiell ähnlich einem Lastenheft zu sehen, wie es in der DIN 69901-5 beschrieben wird, ohne jedoch diesem gleichgestellt zu sein (da es u. a. keine Auftraggeber-Auftragnehmer-Relation gibt).

Folgende Anforderungen an das Konzept NuGASt wurden im Rahmen der Problemanalyse festgelegt (und bereits als Erfüllungskriterien zur Analyse genutzt, s. 5.7.1):

1. Sequentielle Grundstruktur, klar abgrenzbare Phasen
2. Wahlfreiheit über eine Nutzerpartizipation in allen Phasen des Prozessablaufs
3. Möglichkeit zum Überspringen von Phasen (wenn diese für den aktuellen Entwicklungsprozess nicht relevant sind)
4. Möglichkeit zur Kombination von Phasen
5. Rückkopplungsmöglichkeit in den einzelnen Phasen, auch mehrfach, wählbar
6. Geringe Anzahl von Einzelschritten bzw. Phasen
7. Geringe Komplexität und insgesamt kurze Durchlaufzeit

Eine Begründung für die Wahl dieser Anforderungen wurde bereits in 5.7.1 gegeben. Alle aufgestellten Anforderungen sind Festforderungen, d. h. sie müssen durch NuGASt erfüllt sein. Eine Einschränkung bildet die Kombinationsmöglichkeit (4.) und die Wahl der Rückkopplung (5.). Diese Forderungen müssen nicht für alle Phasen von NuGASt erfüllt werden. So ist u. a. eine Rückkopplung von der ersten (Problemanalyse) oder letzten Phase (Entscheidung) weder sinnvoll noch strukturell realisierbar. Ein Überspringen der Problemanalyse (1.) soll außerdem auch ausgeschlossen sein, da eine Anforderungsanalyse im Sinne des Erreichens einer hohen Nutzerakzeptanz und Gestaltungsgüte unabdingbar ist.

6.1.2 Problemformulierung

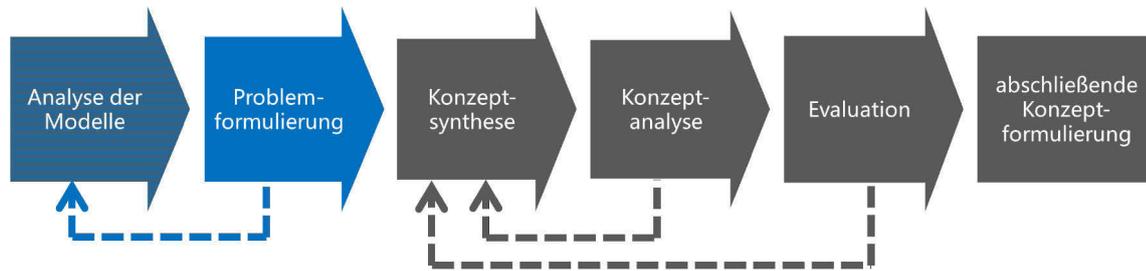


Abbildung 6-3: Strukturschema des Prozesses zum Entwurf von NuGASt
(blau: aktuelle Phase des Konzeptentwurfs mit Rückkopplung zu Schritt eins)

Durch die Analyse der ausgewählten Softwareentwicklungsmodelle, wie auch der weiteren betrachteten Entwicklungsmodelle und die Spiegelung der Resultate an laufenden Entwicklungsprojekten, wurden folgende Probleme identifiziert, die bei der Erstellung des neuen Konzepts NuGASt vermieden oder gelöst werden sollten (Problemformulierung in Abbildung 6-3):

- Hohe Komplexität bzw. Anzahl von Phasen der Modelle verringert die möglichen Anwendungsfälle
- Streng vorgeschriebener Ablauf ohne eine Möglichkeit, Phasen auszulassen oder zu überspringen
- Nutzerpartizipation nicht/kaum vorgesehen, in den meisten Modellen schwierig zu implementieren
- Fest vorgegebene oder nicht vorhandene Rückkopplungsmöglichkeiten
- Ausrichtung/Zuschnitt des Entwicklungsmodells auf ein bestimmtes Gebiet wie die Softwareentwicklung verringert ebenfalls die flexible Anwendbarkeit

Da NuGASt im Kern auf eine Erhöhung der Gestaltungsgüte durch Erreichen einer hohen Gebrauchstauglichkeit abzielt, ist insbesondere die Nutzerpartizipation ein unverzichtbarer Bestandteil des zu entwickelnden Konzepts.

6.1.3 Konzeptsynthese zur Erstellung eines NuGASst-Prototypen

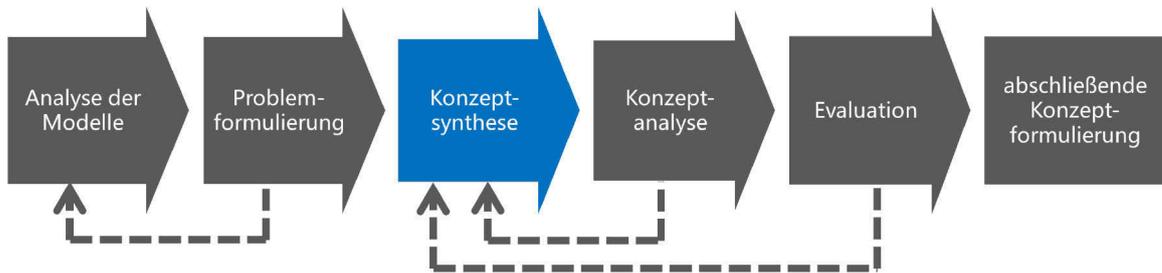


Abbildung 6-4: Konzeptsynthese als dritte Phase der PLA zum Entwurf von NuGASst

Unter Ausnutzung der Ablaufrichtlinien von (Schmidt 2008, s. 5.4) erfolgt die Konzeptsynthese (s. Abbildung 6-4) als Funktionszuordnung und prototypische Realisierung. Auf den Entwurf von NuGASst angewendet bedeutet das, dass aus den vorhergehenden beiden Phasen heraus die Grundstruktur des Konzepts NuGASst sowie wichtige, essentielle Phasen formuliert wurden. Das beinhaltet auch die flexible Einbindung von Nutzern in den Entwicklungsprozess in den Phasen Problemanalyse und -formulierung, Systemanalyse und Beurteilung, wobei die Partizipation in den Phasen Problemanalyse und Beurteilung essentiell ist und in den anderen beiden nach Bedarf frei gewählt werden kann. In den Phasen Systemsynthese und Entscheidung ist eine Nutzerpartizipation nicht notwendig und auch nicht sinnvoll realisierbar.

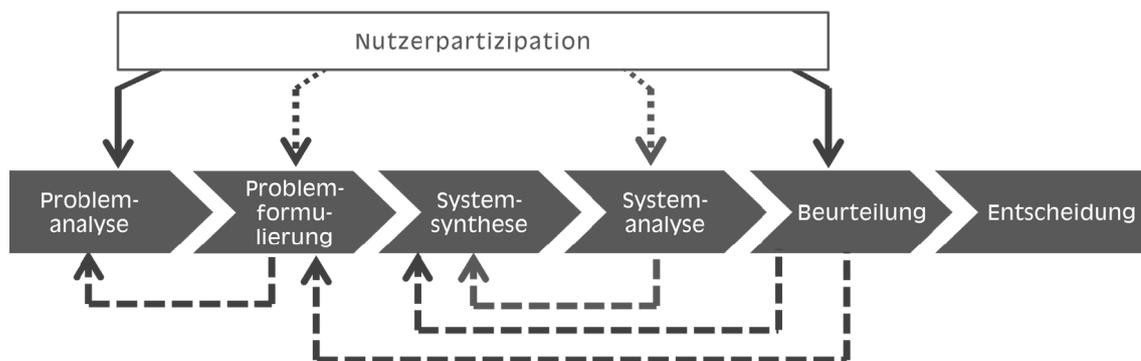


Abbildung 6-5: Innerhalb der PLA-Konzeptsynthese festgelegte Grundstruktur von NuGASst (sowohl die Nutzerbeteiligung als auch die Rückkopplungen zwischen einzelnen Phasen sind optional wählbar)

In der Grundstruktur von NuGASst, wie in Abbildung 6-5 zu sehen, sind wesentliche Elemente der Forderungen an das Konzept bereits enthalten. So besteht die Grundstruktur aus einem sequentiellen, WFM-ähnlichen Ablauf als

modifizierte PLA mit fest geplanter sowie weiterer zusätzlich möglicher Nutzerpartizipation. Eine Einbeziehung der Nutzer in die Entwicklung muss in jedem Fall während der Problemanalyse und abschließenden Beurteilung (Evaluation) erfolgen (durchgezogene Linien in der Abbildung 6-5), kann bei erkennbarem Bedarf aber auch in weiteren Phasen erfolgen (gepunktete Linien in der Abbildung 6-5). Die frei wählbaren Rückkopplungsmöglichkeiten (gestrichelte Linien in der Abbildung 6-5) gestatten eine flexible Reaktion auf den Erkenntnisfortschritt während des Entwicklungsprozesses. Diese Flexibilität ist notwendig, da aufgrund des Neuheitsgrades und damit nicht vollständig planbarer Ergebnisse Änderungen und Anpassungen (z. B. der eingesetzten Hardwarekomponenten und Algorithmen usw.) auch während der laufenden Entwicklung zu ermöglichen sind. Außerdem sind über diese Rückkopplungen Ergebnistransfers aus der Nutzerpartizipation möglich.

Die weitgehend allgemein gehaltene Definition der Phasen ermöglicht den Einsatz von NuGASt in verschiedenen Entwicklungsbereichen. Damit können sowohl hardware- als auch softwarespezifischen Besonderheiten in die Phasen eingebracht werden. So können beim wiederholten Durchlaufen der Systemsynthese und -analyse beispielsweise Designstudien an Formmodellen erfolgen oder über die Erstellung von Programmablaufplänen Programmmodule und Funktionen erstellt und getestet werden.

6.1.4 Konzeptanalyse als Test der Grundstruktur von NuGASt innerhalb des Forschungsprojekts Harys

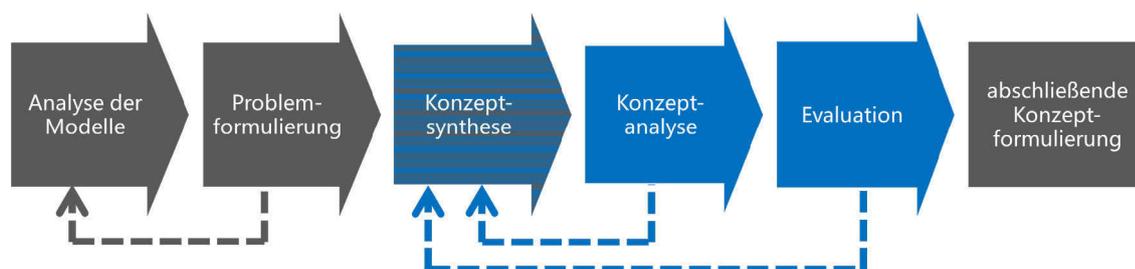


Abbildung 6-6: Kombinierte Konzeptanalyse und Evaluation (blau) von NuGASt durch die Anwendung im Projekt Harys mit der Möglichkeit, die Ergebnisse in die Konzeptsynthese zur Verfeinerung des Konzepts einfließen zu lassen (blau/grau)

Da sowohl NuGASt als auch der zur Konzeptentwicklung herangezogene PLA dieselbe Grundstruktur aufweisen, wird im Weiteren zur Verdeutlichung eine grafische Unterscheidung zwischen den Phasen des PLA zur Erstellung

von NuGASt (wie in Abbildung 6-6) und der Anwendung von NuGASt selbst vorgenommen (s. Abbildung 6-7). Diese Unterscheidung erfolgt so, dass abweichend vom PLA die Phasen von NuGASt als Teilprozesse eines Flussdiagramms in Boxform dargestellt werden und die aktuell ausgeführten Phasen in einer anderen Farbe (grün) hervorgehoben werden. Übersprungene und damit nicht ausgeführte Phasen sowie zugehörige Rückführungen sind hellgrau eingefärbt.

Nach der Festlegung der Grundstruktur von NuGASt konnte diese in einem Entwicklungsprojekt bereits einem ersten Test unterworfen werden. Dabei lag der Fokus zunächst auf der Anwendbarkeit der Grundstruktur insgesamt und einer Verfeinerung dieser Grundstruktur für die ersten beiden Phasen (Problemanalyse und -formulierung). Dieser Test bildete damit innerhalb des PLA zum Konzeptentwurf die Phasen Systemanalyse und Beurteilung ab.

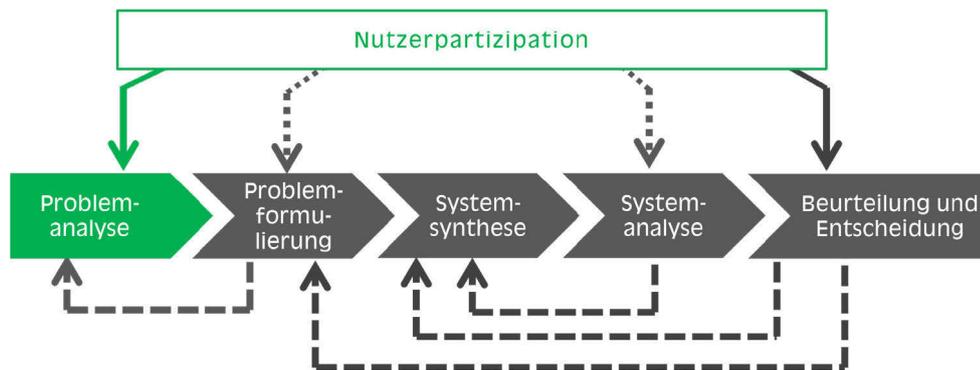


Abbildung 6-7: Test der ersten Phase von NuGASt im BMBF-Verbundprojekt Harys

Die erstmalige Anwendung von NuGASt erfolgte im BMBF-Verbundprojekt „Haptic Remote Control System (Harys)“. Ziel dieses Projektes war die Entwicklung einer neuartigen, intuitiv auf der Grundlage haptisch wahrnehmbarer Eingabeelemente bedienbaren, intelligenten Fernbedienung (FB).

Die Problemanalyse des PLA nach VDI 2221 wurde so modifiziert, dass sie als Anforderungsanalyse (requirement analysis) nach MAYHEW (s. Kapitel 5.2.1) durchgeführt wurde. Dabei wurden die aufgabenbezogenen Anforderungen (task analysis) und die verallgemeinerbaren Designregeln (design principles) weitestgehend zusammen untersucht. Zur Vereinfachung der Analysen wurde u. a. eine Access[®]-Datenbank zur Datenhaltung über marktverfügbare Fernbedienungen angelegt (Auszug s. Abbildung 6-8). Mit deren Hilfe konnte

nicht nur der Datenbestand gepflegt werden, sondern über speziell implementierte Abfragen innerhalb der Tabellenblätter wurden beim Einpflegen neuer Fernbedienungen (FB) automatisch nach einem festgelegten, selbstgewählten Schema Punkte vergeben. Diese konnten dann nach definierten Eigenschaften oder als Gesamtpunktzahl abgerufen werden. Damit waren z. B. sehr einfach Aussagen über die Art der Verbindung zum gesteuerten Gerät, über die Größe und Form oder Art und Anzahl der Energieversorgung möglich. Die Ergebnisse wurden verallgemeinert, beurteilt und zusammen mit den Schlussfolgerungen an die Projektpartner als Gestaltungsvorgaben übermittelt. In einem zweiten Schritt erfolgte eine ähnliche Analyse, jedoch ohne zusätzliche Datenbank mit Punktbewertungssystem, für On-Screen-Menüs (OSM) von TV-, DVD- und Heimkino-Geräten.

Ermittlung aufgabenbezogener Anforderungen:

1. Untersuchung und Beurteilung von FB und OSM, Schaffung einer FB-Datenbank mit entsprechenden Abfragefunktionen und Ausgabemöglichkeit einer Bewertung nach Punkten

Nutzerbezogene Anforderungen ermitteln durch:

2. Beobachtung
3. Befragung
4. Tests (FB-Modelle, Handvermessung und Vermessung der Exkursionsfähigkeit des Daumens auf der FB)
5. Punktbewertung aus FB-Datenbank hinsichtlich Nutzereigenschaften.

Generalisierbare Design-Kriterien für Fernbedienungen (Problemanalyse)

Zur Ermittlung verallgemeinerbarer Designkriterien und beim potentiellen Nutzer verankerter Gewohnheiten und Erwartungen über die Gestaltung von FB wurde die o. g. Microsoft® Access® Datenbank genutzt und fortlaufend während der Projektlaufzeit mit weiteren Daten gefüllt.

Die folgende Abbildung 6-8 zeigt einen Ausschnitt eines Tabellenblatts der Datenbank (in MS Access® kann die Darstellung auch in Form einer Eingabemaske erfolgen, wie in Anhang D1 und D2 abgebildet). Dabei ergibt eine bestimmte Eingabe nach einem hinterlegten Schlüssel eine entsprechende Bewertungspunktzahl. Die hier gezeigten Gestaltungsmerkmale zielten u. a. auf eine ausgewogene Schwerpunktlage, Komplexität (realisiert durch Anzahl

von Tasten und damit verfügbaren Funktionen) sowie weitere die Gebrauchstauglichkeit bestimmende Kriterien (Erreichbarkeit der Tasten, Stellkräfte, Lernförderlichkeit) ab. Insgesamt konnten auf sechs nacheinander folgenden Tabellen detaillierte technische Daten und Abbildungen der jeweiligen FB für weitere spätere Untersuchungen eingegeben werden.

Markenname:	Kenwood
Gerätename:	KR-V888D
vergleichbarer Typ:	Kenwood KR-V9090D, Kenwood KR-V999D

Name und Inhalt		Bewertung
Tastenfeld		
Anzahl Funktionen:	60 Stk	1
Anzahl Tasten:	20 Stk	2
Gruppierung:	ja (sehr gut)	2
Abdeckung:	nein (nicht notwendig)	1
mehrseitige Aufbringung:	ja	-1
Abstand:	sehr gut	2
Grösse:	11-16mm bzw. 11x11-16x16mm ²	1
unterschiedliche Form:	ja (Gruppe)	1
Erreichbarkeit:	sehr gut	2
Stellkräfte:	1,8 N	0
Beleuchtung:	ja (temporär)	2

Abbildung 6-8: Ausschnitt eines Tabellenblatts der MS Access[®]-Datenbank zur Beurteilung von FB (neu nach Lutherdt & Kurtz 2005b)

Mit Hilfe dieser Datenbank sowie weiteren Untersuchungen an Formmodellen mit Funktionsattrappen (s. Lutherdt & Kurtz 2005b, Lutherdt et al. 2003) konnten Erkenntnisse bezüglich verallgemeinerbarer Designkriterien von FB abgeleitet werden. Dazu wurden 170 verschiedene FB-Typen in die Datenbank eingegeben und insgesamt ca. 450 verschiedene Versionen von FB beurteilt. Die FB waren überwiegend zur Steuerung von TV- und anderen Heimelektronikgeräten vorgesehen, es wurden aber auch Industrie-FB (Kräne, Portale), Computer-Presenter, Garagentor-FB u. w. in die Beurteilungen einbezogen. Dabei wurden über viele verschiedene aufgabenangepasste Unterschiede hinweg auch eine Reihe von Gemeinsamkeiten und einige „Quasi-Standards“ für die Gestaltung gefunden. Folgende Eigenschaften sollten sich demnach im Design von FB wiederfinden:

- Längliche bzw. Stabform, leicht umfassbar mit etwas balligem Querschnitt
- Ausbalancierte Schwerpunktlage
- Hauptbedienfunktionen innerhalb des Bewegungsbereichs des Daumens einer 50.-Perzentil-Frau
- Sog. „Cursor“-Kreuz³⁸ als Repräsentation der Hauptfunktionen „laut/leise“ und „Programmplatz höher/tiefer“ (bzw. adäquater Stellfunktionen im Sinne weniger/mehr)
- Einzelner, abgesetzt platzierter Ein-/Ausschalter
- Größe der einzelnen Bedienelemente soll der Größe der Fingerkuppen entsprechen (für Tastenbedienung)

Zusätzlich zu diesen speziell für FB geltenden Designkriterien sind weitere Gestaltungskriterien und –merkmale unbedingt zu berücksichtigen, da sie sich als Gewohnheiten und damit positiv als Hilfen zur Ausbildung eines mentalen Modells manifestiert haben. Sollten sich die Entwickler nicht an diesen Gewohnheiten orientieren und diese mit ihrem Design unterstützen, wird das Produkt nicht akzeptiert und fällt beim Nutzer (= Kunden) durch. Zu diesen ausgeprägten Gewohnheiten und das kognitive System durch erfahrungsbasiertes Handlungswissen entlastende Gestaltungslösungen gehören:

- a) die zur jeweiligen vorgenommenen Eingaberichtung gehörende adäquate Größenänderung des Ausgangssignals von Stell- und Drehreglern (nach rechts bzw. im Uhrzeigersinn Zunahme, entgegengesetzt Abnahme)
- b) das Ampelprinzip (vgl. DIN EN 894-4:2004-07, Anhang B: Kodierungsverfahren) für visuelle Zustandsanzeigen
- c) Konsistentes Verhalten aller Systemkomponenten auf Eingaben (in jedem Menüpunkt und auf jeder Menüebene zieht eine gleiche Eingabeaktion eine gleichartige Reaktion nach sich)
- d) WYSIWYG³⁹

³⁸ Dieses Cursor-Kreuz ist in den meisten Fällen eine doppelte Schaltwippe mit Stellmöglichkeit in vertikaler und horizontaler Richtung, mitunter ist es auch als vier Einzeltasten in die entsprechenden Richtungen ausgeführt.

³⁹ WYSIWYG: Dieses Akronym aus „what you see is what get“ stammt aus der Softwareentwicklung bzw. –anwendung und bedeutet, dass ein Ergebnis einer Aktion so stattfindet bzw. tatsächlich ausgegeben wird, wie sie auf dem Display dargestellt ist.

- e) Konsistenz aus Anzeige und Bedienaktion (Bsp.: eine Stellbewegung nach rechts muss auch eine Größenänderung in dieser Richtung nach sich ziehen, also eine Vergrößerung des Stellwertes, und so angezeigt werden)

Diese Anforderungen stellen alle im Wesentlichen eine Umsetzung der ersten Regel von SHNEIDERMAN dar (s. 4.3.1, S. 78: Konsistenz). Gleichzeitig wird durch das WYSIWYG- und das Ampelprinzip die dritte Regel (Anbieten einer angemessenen Rückmeldung) realisiert.

Aufgabenanalyse (Problemanalyse)

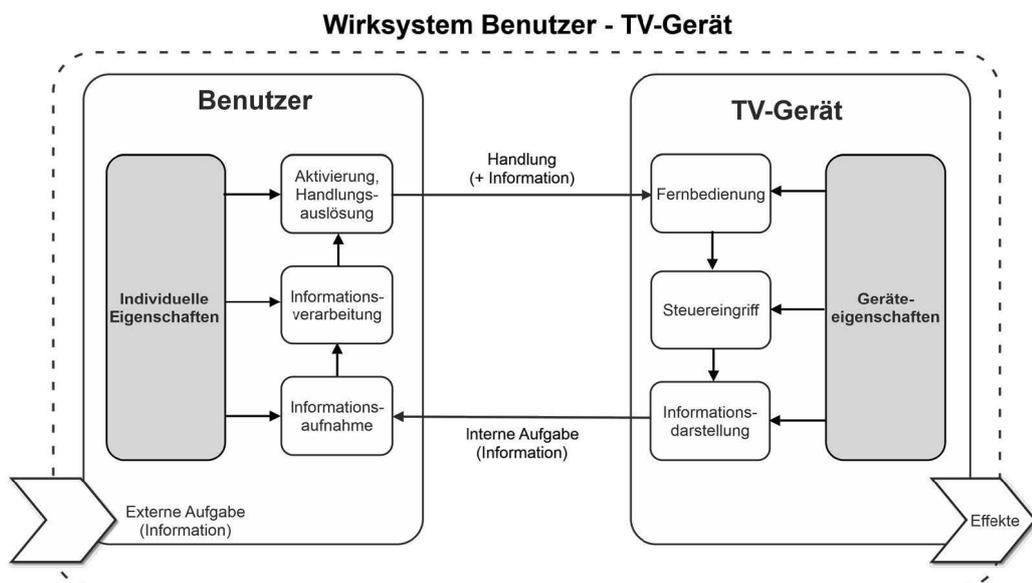


Abbildung 6-9: Wirksystem Nutzer- TV-Gerät bei Verwendung einer FB (eigene Darstellung in Anlehnung an Benjes 2001, S. 86)

Im Rahmen der Aufgabenanalyse wurde zuerst allgemein das Wirksystem Nutzer – TV-Gerät betrachtet und untersucht (s. Abbildung 6-9, wie auch bei Benjes 2001, Kap. 4.3). Dabei wurde festgestellt, dass sich als Eingabeschnittstelle (Teil der Benutzerschnittstelle nach VDI / VDE 3850-1, s. Kap. 2.1.1) Fernbedienungen vollständig durchgesetzt haben und somit unverzichtbar sind. Somit muss ein neugestaltetes Bedienkonzept auch eine FB enthalten. Die Informationsflussrichtungen, die im Wirksystem Nutzer – TV-Gerät auftreten, sind in der Abbildung 6-10 zu erkennen.

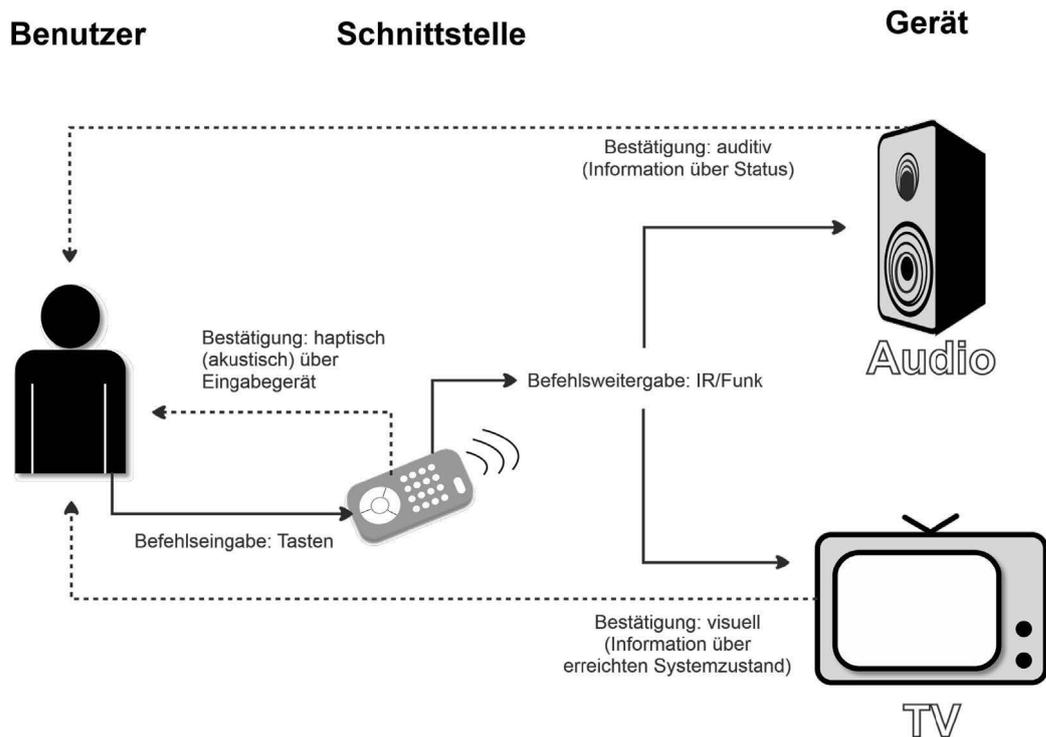


Abbildung 6-10: Informationsflussrichtungen zwischen Nutzer, -schnittstelle und Gerät (neu erstellt und modifiziert nach Kraiss 1998, S. 26)

Bereits im Vorfeld dieses Forschungsprojektes HARYS erfolgte durch die beteiligte Firma in Anlehnung an eine Studie von GINNOW-MERKERT eine vorbereitende Marktanalyse. In deren Ergebnis wurde festgestellt, dass die Branche der Consumer Electronics in der Krise steckt, was zum Teil auch auf die mangelhaft gestaltete und wenig an den Nutzerbedürfnissen orientierte Benutzungsschnittstelle liegt (s. (Ginnow-Merkert 1997, STIFTUNG WAREN-TEST test Hefte 11/96 und 05/97⁴⁰). Gleichzeitig wurden Basisfunktionen gefunden und festgelegt, die jede FB benötigt und so auch weiterhin in jedem neuen FB-Konzept implementiert werden sollte. Diese Basisanforderungen wurden im weiteren als „Ruelberg⁴¹-Kriterien“ bezeichnet (s. Lutherdt 2002). Diese Ruelberg-Kriterien zur Gestaltung von FB beinhalten die absolut notwendigen Funktionen zur Steuerung eines TV-Gerätes (exemplarisch, anwendbar auch auf andere Geräteklassen im Bereich der Heimelektronik) sowie

⁴⁰ s. test 1996, test 1997

⁴¹ Prof. Dr. Klaus-Dieter Ruelberg, Projektleiter des Teilprojekts bei der Partnerfirma im Projekt Harys, heute Institut für Medien- und Phototechnik (IMP) TH Köln, Campus Deutz

elementare Funktionen zum Navigieren innerhalb von Menüstrukturen. Gleichzeitig wurden zwei sog. Komfortfunktionen in diesen Kriterienkatalog aufgenommen, um das gesamte Spektrum der Funktionalitäten aktueller TV-Geräte nutzen zu können.

Neben der Abdeckung vorhandener Funktionalitäten stellen die Ruelberg-Kriterien vor allem aber auch eine Umsetzung der Forderung aus 6.1.3, S. 102, nach Unterstützung von eingepprägten Gewohnheiten und Integration des Handlungswissens der Nutzer dar. Zudem sind sie auch Ausdruck der Umsetzung der Forderungen nach einem konsistenten Design und Systemreaktionen, wie sie von SHNEIDERMAN mit den Golden Rules für Softwareanwendungen aufgestellt wurden (s. 4.3.1). In der folgenden Tabelle sind diese Ruelberg-Kriterien aufgeföhrt (vgl. Lutherdt 2002) und (Lutherdt & Kurtz 2005).

Tabelle 6-1: Ruelberg-Kriterien

Anforderungen an die Gestaltung von FB (direkt ausführbare Funktionen)	
Muss-Anforderungen:	Nice-to-have Forderungen:
<ul style="list-style-type: none"> - Gerät an-/ausschalten - Programmplatz/Titel weiter oder zurück - Lautstärke +/- (lauter/leiser) - Mutfunktion (Ton aus) - Direkteingabemöglichkeit von Sendern oder Titeln (entspricht üblicherweise Zahlentasten) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alphanumerische Eingabemöglichkeit - Frei fliegender Cursor (Freihandzeiger)

Diese Funktionszuordnung deckt sich auch weitestgehend mit der bei BENJES aufgeföhrt (vgl. Benjes 2001, S. 87), es wird bei RUELBURG jedoch auf die dort noch zusätzlich aufgeföhrt Audiokomponenten (Lautsprecher und Mikrofon) verzichtet. Das ergab sich bereits im Vorfeld bei den in der Partnerfirma durchgeföhrt Anforderungsermittlungen. Mit Ausnahme der heute üblichen und zur Steuerung mittels Apps⁴² verwendbaren Smartphones haben sich keine FB mit entsprechender Ausstattung durchgesetzt.

Nutzeranalyse (Problemanalyse)

Die Nutzeranalyse wurde in mehreren Stufen und mit unterschiedlichen Methoden durchgeföhrt. So wurden Interviews und Befragungen durchgeföhrt,

⁴² Eigentlich Mobile app: englische Kurzform für mobile Anwendungssoftware

Nutzertests exemplarischer FB-Systeme beobachtet und analysiert sowie ebenfalls Ergebnisse der Bewertung aus der FB-Datenbank interpretiert. Zusätzlich wurden anthropometrische Daten einer ausgewählten Nutzergruppe (103 junge Erwachsene, männlich/weiblich zwischen 20 und 30 Jahren) erhoben und insbesondere Wert auf die Messung gestaltungstechnisch relevanter Parameter der Hand gelegt.

Die Hypothese des Projektpartners, dass herkömmliche FB keine besonders hohen Akzeptanzlevels beim Nutzer erreichen (das galt auch für die eigenen FB des Herstellers), begleitete den Beginn der Nutzeranalyse. Die Analysen begannen mit der Beobachtung von Nutzertests mit TV-Geräten und ihren FB, die den Testpersonen in der Funktion und Gestaltung unbekannt waren (25 Probanden verschiedener technischer Vorbildung und unterschiedlicher Alters- und Sozialstruktur, s. Lutherdt und Kurtz 2005b). Dabei wurde festgestellt, dass durch fehlende gestalterische Hinweise auf der FB (Form und Gruppierung der Bedienelemente als Unterstützung des haptischen Kanals und der Bildung mentaler Modelle) die Testpersonen gezwungen waren, permanente Blickwechsel zwischen FB und TV-Gerät vorzunehmen (s. Abbildung 6-11). Das führte zu häufigen Verzögerungen im Bedienablauf, zu Fehlern und in der Folge gaben die Testpersonen eine steigende Unzufriedenheit mit dieser FB an.

Ein weiterer von den Testpersonen beschriebener und über die Videodokumentation nachweisbarer Mangel war die notwendige Orientierung auf der FB, um die zu einer Funktion jeweils zugehörigen Bedienelemente identifizieren, auswählen und damit benutzen zu können. Diese notwendige Orientierung führt ebenfalls zu Blickwechseln zwischen FB und bedientem Gerät in umgekehrter Reihenfolge (s. Abbildung 6-12).

(1) Welche Aktion wird erwartet, was möchte ich erreichen am Gerät?

(2) Welche Eingabetätigkeit ist dafür notwendig, und wo muss sie ausgeführt werden?



Abbildung 6-11: Notwendiger Blickwechsel von Eingabegerät (hier FB) zum gesteuerten Gerät (TV) bei der Nutzung eines unbekanntes FB-Systems (aus Lutherdt 2002, Lutherdt & Kurtz 2005b, die Pfeile zeigen die jeweilige Blickrichtung der Probanden)

(1) Welche Aktion soll ausgeführt und welches Bedienelement muss dafür benutzt werden?

(2) War es die richtige Aktion und ist das gewünschte Resultat erzielt worden?

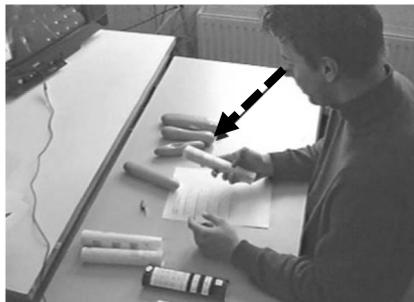


Abbildung 6-12: Blickwechsel zum Auffinden von Bedienelementen und visuelle Kontrolle der gewünschten Ergebnisse am gesteuerten Gerät (aus Lutherdt 2002)

Weitere im Rahmen von Interviews und Probandentests an FB-Formmodellen (s. Abbildung 6-13) ermittelten Nutzerwünsche waren die deutliche Reduktion der Eingabeelemente auf FB (am besten nur für die Grundfunktionen zur Bedienung s. Ruelberg-Kriterien), eine längliche, leicht ballige Stabform mit geringem Gewicht und Tasten mit spürbarem Betätigungswiderstand zur Bedienung.



Abbildung 6-13: Für die Probandentests genutzte Gips-Formmodelle (links, diese wurden mit Papier-mock-ups für die Repräsentation der Eingabelemente versehen); Durchführung der Nutzertests mit den Formmodellen an einem realen TV-Gerät mit Videoprotokollierung (rechts)

Um die Anforderungen an die Geometrie der FB zu erheben, wurden bei zwanzig Testpersonen die Größe der Hände und Finger vermessen und zudem der Aktionsbereich des rechten Daumens bestimmt (s. Abbildung 6-14). Innerhalb dieses Bereich sollten die Hauptbedienelemente angeordnet sein, damit eine Nutzung der FB ohne Griffwechsel erfolgen kann. Zusätzliche haptische Unterstützung durch eine Formkodierung der Eingabelemente oder Oberflächenstrukturwechsel wären sinnvoll und für den Nutzer hilfreich. (Lutherdt 2002)

In den Tests und Befragungen unter Nutzung der Formmodelle und Mock-ups wurde eine deutliche Präferenz für die Eingabe über Drücken einer Taste (Button, 167-mal) gegenüber einer Streich- oder Rollbewegung (Trackball, 33-mal, Touchpad 0-mal) geäußert. Weitere im Rahmen dieser Probandentests ermittelte bevorzugte Steuerungsvarianten waren:

- Daumen „Drücken rechts/links“ für Lautstärke +/-
- Daumen „Drücken oben/unten“ für Programmwechsel +/-
- Daumen „Drücken oben rechts“ für Ein-/Ausschalten des Gerätes
- Ausführung der überwiegenden Anzahl von Betätigungen im Radius des Daumenaktions-bereichs ohne Umgreifen oder Zuhilfenahme der zweiten Hand.

Diese Wunschvorstellungen der Probanden beinhalten somit auch den expliziten Wunsch nach einer deutlich spürbaren, eigenständigen und von den anderen Bedienelementen räumlich getrennten Ein-/ Ausschalttaste. Außerdem

entsprechen sie den gestellten Anforderungen nach Stellelementen, deren Größenänderungen den bekannten Paradigmen entsprechen. Natürlich sind diese Befragungs- bzw. Testergebnisse überformt von den Erfahrungen der Probanden mit entsprechenden Geräten. Das ist aber nicht kritisch zu bewerten, da dadurch bereits gefestigte mentale Modelle über bestimmte Funktionen und Verhaltensweisen existieren, die gestalterisch genutzt werden können, um den Lernaufwand und die Fehlerrate zu reduzieren. Beides resultiert letztendlich aufgrund der in 2.2.3 und 4.2.4 gemachten Aussagen in einer höheren Nutzerakzeptanz. Eine Wiederholung des Tests würde heute mit großer Wahrscheinlichkeit ein entgegengesetztes Ergebnis bringen, da Touchgesten auf Smartphones mittlerweile genauso zum Erfahrungsschatz der Nutzer zählen wie die Tastenbedienung.

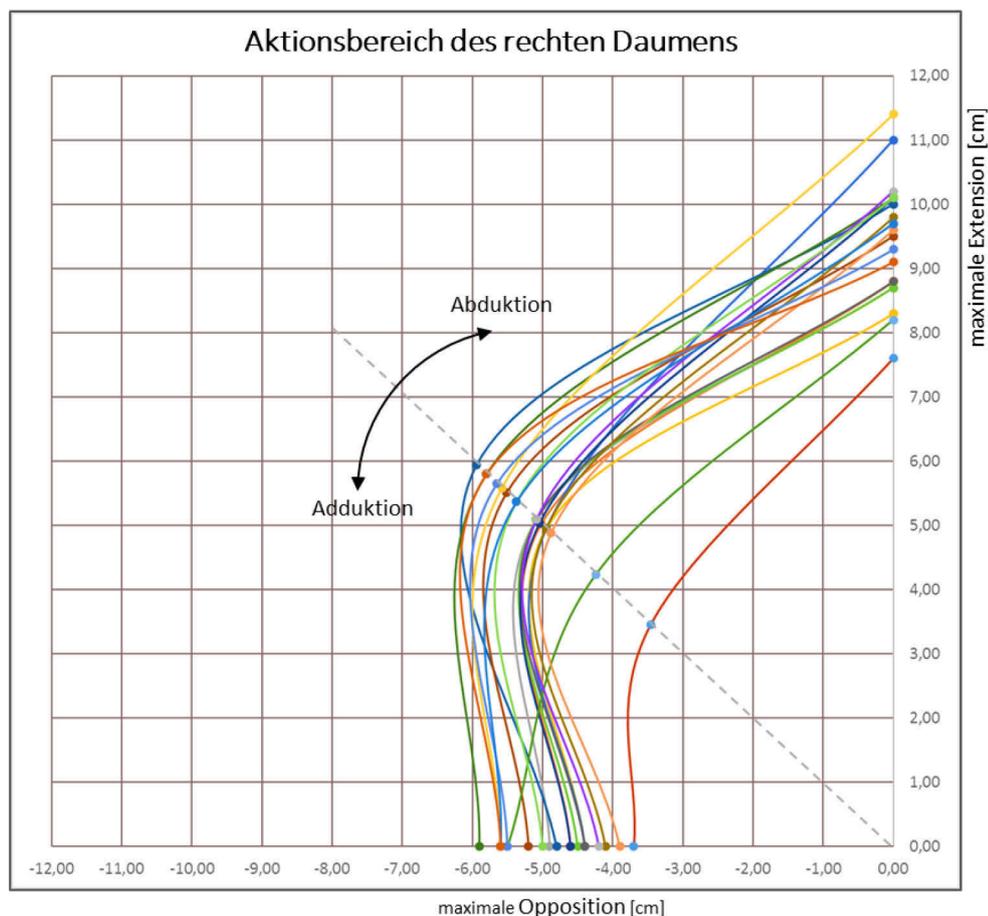


Abbildung 6-14: Bestimmung des Aktionsbereichs des rechten Daumens von 20 Probanden (zugehörige Werte s. Tabelle C-1)

Um noch weitere verallgemeinerbare Kriterien für die Gestaltung zu erhalten, wurden zusätzlich bei anthropometrischen Messungen im Rahmen anderer Studien (vgl. Witte 2007, Andrada 2008) die Hände der Probanden vermessen und mit den gültigen Normen für Körpergrößen (DIN 33402-2 Berichtigung 1:2007-05) bzw. dem Anthropologischen Atlas (Flügel et al. 1986) verglichen. Dabei konnte eine generelle Größenzunahme sowohl bei Männern als auch Frauen festgestellt werden, die sich noch nicht in den Normen abgebildet hat. Die Gegenüberstellung der Werte findet sich in der Tabelle im Anhang (Tabelle C-2), für die Gestaltung von handgehaltenen und handbetätigten Eingabegeräten sollten entsprechende Aufschläge zu den Angaben aus Normen und Tafelwerken hinzugerechnet werden, um der fortschreitenden Größenentwicklung Rechnung zu tragen.

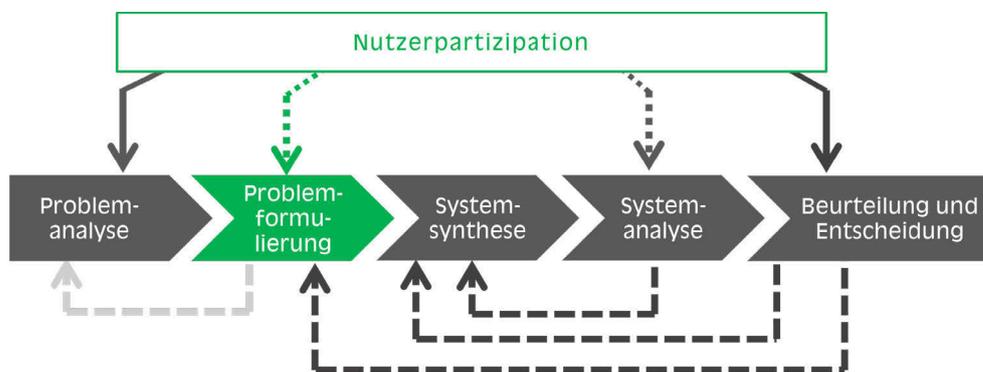


Abbildung 6-15: Test der zweiten Phase von NuGASt im Verlauf des BMBF-Verbundprojekts Harys

Die nächste Phase des Konzepts stellte die Problemformulierung dar. Dabei wurde im Sinne der aufgestellten Systematik diese Problemformulierung gleichzeitig als Anforderungskatalog und damit Vorgabe für die weitere Entwicklung betrachtet. Die Umsetzung in einem Design und kombinierten Hard- und Software-Prototypen entspricht dann der Systemsynthese.

Erstellung des Anforderungskatalogs (NuGASt-Problemformulierung)

Im Rahmen der vorgestellten Problemanalyse wurden zwei grundlegende Probleme gefunden, die es zu lösen galt:

- a) Der technologische Fortschritt in der Fernsehtechnologie wie der gesamten IT ermöglicht die Integration vielfältiger neuer oder erweiterter Funktionen in ein TV- bzw. Heimelektronikgerät. Gleichzeitig begann eine Konvergenz mit IT-Geräten, in erster Linie mit dem PC, wodurch weitere Funktionalität in den Geräten untergebracht werden sollte/musste. Diese Entwicklung, die sich in u. a. in Bedienteilen hoher Komplexität und Funktionsvielfalt zeigte, kollidierte jedoch mit dem Nutzerwunsch nach Einfachheit, Klarheit, Reduktion der Funktionen bzw. Zahl der Eingabeelemente (und auch mit der SHNEIDERMAN-Regel acht).

Das zweite analysierte Problem ergab sich unmittelbar aus dem Aufgabenkontext der FB und den technologischen Möglichkeiten:

- b) Die Vielzahl der (auch wünschenswerten) zu nutzenden Funktionen lastet die zur Verfügung stehenden technischen Ressourcen (Energieversorgung, Informationsverarbeitung, Datenübertragung und-weiterverarbeitung) bis an die Grenzen einer mobilen Umsetzung aus.

Aus diesen zwei Hauptproblemen und zur Umsetzung der Entwicklungsaufgaben wurde folgender Anforderungskatalog für das neue FB-System aufgestellt:

- Umsetzung der physischen Design-Vorstellungen der befragten Probanden,
- Konsequente Reduktion der Eingabeelemente auf die notwendige Anzahl zur Ausführung der Grundfunktionen nach Ruelberg (s. Tabelle 6-1)
- Verlagerung der verbliebenen Funktionen incl. der dafür notwendigen Informationsverarbeitung auf das stationäre Gerät (dort sind mehr Ressourcen verfügbar oder neu implementierbar),
- Nutzung haptischer Orientierungsmöglichkeiten (Form, Gestalt, Oberflächentexturen etc.),
- Verzicht auf Displays oder andere visuelle Rückkopplungselemente auf der FB mit Ausnahme einer Bereitschafts-LED für den Betriebszustand (On/Off der FB und des TV-Geräts),

- Anordnung aller Haupteingabelemente im Bereich des direkt manipulierbaren Aktionsbereichs des Daumens ohne Einschränkung auf Rechts- oder Linkshänder (das impliziert eine symmetrische Gestaltung bzgl. der Längsachse),
- Alle Veränderungen von Eingabewerten müssen explizit bestätigt werden, für jede Aktion muss es eine Rücksprung- bzw. Abbruchfunktion geben.

Die Orientierung auf eine vollständige Darstellung aller Vorgänge auf dem zu steuernden Gerät führt zu einem Wegfall der beobachteten Blickwechsel bei der Steuerung und somit einer kontinuierlichen Integration der Nutzer in den Bedienvorgang. Alle Bedienaktionen (gewünschte wie fehlerhafte) werden sofort und unmittelbar wahrgenommen und können mit der ursprünglichen Intention verglichen werden. Gleichzeitig sinkt auch die für diesen Kontrollvorgang notwendige Belastung, da das eingesetzte Display durch seine Größe, Auflösung und Gestaltung wesentlich besser geeignet ist für die Darstellung. Diese Erkenntnisse stehen damit im Widerspruch zur ursprünglichen Entwicklungsaufgabe einer intelligenten FB, die die Ziele innerhalb des Projekts wurden daraufhin entsprechend angepasst.

Die Nutzung haptischer Orientierungshilfen hat ihre Auswirkung ebenfalls in einer Reduktion des mentalen Workloads (kognitive Belastung) und damit der entstehenden Beanspruchung des Benutzers. Das wurde in verschiedenen Studien untersucht und lässt sich auch aus der menschlichen Ontogenese begründen. Es sind zuerst taktile Reize, auf die ein Embryo reagiert und die es einem Fötus gestatten, mit der Umwelt zu interagieren (s. Ettrich 2001). Auch unsere weitere postnatale Entwicklung beginnt zuerst taktil/haptisch, was sich bis in den Alltagssprachgebrauch verfolgen lässt (Bsp.: [wir wollen] "... *die Welt begreifen lernen*" Grunwald 2001). Über die haptische Exploration werden genauso wie visuell räumliche oder objektbezogene Kenntnisse gewonnen (Zimmer 2001), wodurch dieser Kanal zusätzlich oder ergänzend insbesondere in Situationen geeignet ist, wo der visuelle Kanal nicht zur Verfügung steht (z. B. Dunkelheit wie beim Filmanschauen) oder überlastet ist. Zudem ist es immer dann von Vorteil, wenn eine gleichzeitige visuelle Kontrolle der Handlung und parallel bzw. nachfolgend eine motorische Aktion erfolgen soll.

Resultierender Design-Vorschlag (Systemsynthese) und Evaluation (Systemanalyse)

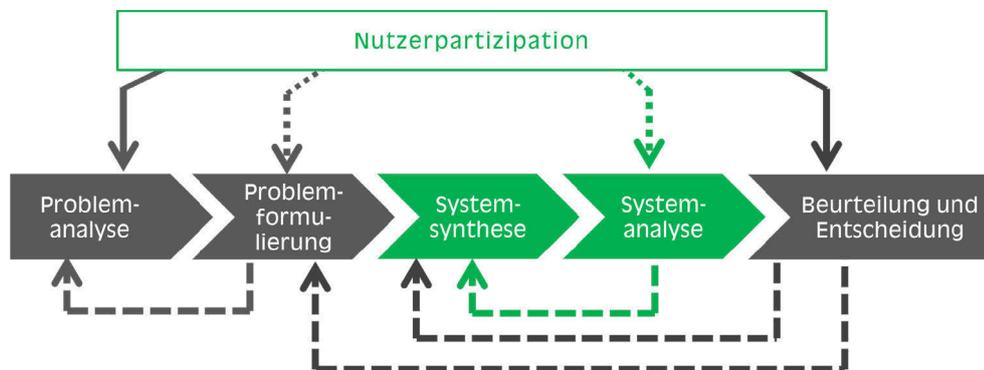


Abbildung 6-16: Test der Phasen drei und vier von NuGAS

Aus den Erkenntnissen, die wie beschrieben in den ersten beiden Phasen gewonnen wurden, wurden unter Umsetzung der Vorgaben des Anforderungskatalogs iterativ (Ablauf s. Abbildung 6-16) erste Designstudien und Funktionsprototypen erstellt (Systemsynthese) und anschließend untersucht (Systemanalyse). Das erfolgte zum Teil parallel durch die Projektpartner an der Forschungseinrichtung wie in den beteiligten Unternehmen. Zum Entwurf der physischen Gestalt nach den Vorgaben wurden einerseits Formmodelle durch Designer entworfen und exemplarisch umgesetzt (s. Abbildung 6-17). Diese wurden in mehreren Evaluationsrunden bewertet und weiterentwickelt.



Abbildung 6-17: Formmodelle aus Modell-Hartschaum zur Erarbeitung der Grundform der neuartigen FB nach den Vorgaben des Anforderungskatalogs (aus Lutherdt u.a. 2003, S. 82)

Zum anderen wurden parallel dazu CAD-Designmodelle erzeugt, die als Vorlage für die weiteren Iterationsstufen dienten und bereits angedeutete Funktionselemente enthielten (s. Abbildung 6-18). Deutlich erkennbar ist der drastische Rückgang der auf der FB vorhandenen Bedien- und Eingabelemente gegenüber herkömmlichen FB. Außerdem ist die Nutzung erhabener und damit haptisch erkennbarer Bereiche bereits in den Entwurf eingeflossen.



Abbildung 6-18: CAD-Modelle der neuen FB mit integrierten Funktionselementen links Entwurf der TU Ilmenau / FG Arbeitswissenschaft (02/2002), rechts darauf aufbauend Entwurf der Partnerfirma (2002, aus Lutherdt u.a. 2003, S. 57)

Abschließend wurde ein funktionsloses Modell (in Originalgröße) zur Repräsentation der physischen Gestaltungsmerkmale (Größe, Gewicht, Anordnung und haptischer Eindruck der Bedienelemente, Farbgestaltung) im Modellbau gefertigt und für weitere Tests zur Verfügung gestellt.



Abbildung 6-19: Abschließender, resultierender Designentwurf (oben) und Elektronikkomponenten in Innern des Funktionsmusters zum Einsatz in Nutzertests (unten)

Parallel zu den Nutzertests mit dem Formmodell wurde die Hardwareentwicklung weitergetrieben, sodass vor Ende der Projektlaufzeit auch mehrere funktionsfähige FB-Muster für Tests zur Verfügung standen (s. Abbildung 6-19).

Aus dem Fehlen „klassischer“ Eingabeelemente von FB ergibt sich, dass mit der neuen Gestaltungslösung auch eine Veränderung hinsichtlich der Bedienphilosophie durchgeführt werden musste. Von den bekannten Eingabemöglichkeiten einer FB direkt über und auf der FB war nur noch das Ein- bzw. Ausschalten des zu steuernden TV-Gerätes über einen einzelnen Bedienknopf und eine Vorauswahl von Funktionsgruppen über das zentrale Bedienfeld möglich. Innerhalb der als Menüs verfügbaren Funktionsgruppen wurde die Auswahl wiederum auf dem Bedienelement getätigt, Stellgrößen verändert und Funktionen ausgeführt. Das Bedienfeld selbst ist ein Druck- bzw. kapazitätssensitives Element, das die Daumen- (oder Fingerbewegung) registriert und in Wegdaten umwandelt ähnlich einem Touchpad auf Computertastaturen. Die eigentliche Bedienlogik realisiert das dazu passend entworfene und gestaltete Bildschirmmenü.

Um die Vorteile des neuen Bedienkonzepts wie auch die Vorgaben aus der Problemformulierung umzusetzen, war es notwendig, die Eingaben und damit verfügbaren und nutzbaren Funktionen zu Funktionsgruppen zusammenzufassen. Das hatte zugleich den Vorteil, das damit wiederum bekannte Gestaltungslösungen wie die Untermenüs (bekannt aus Softwareanwendungen auf dem PC) genutzt werden konnten. Um diese verschiedenen Gruppen erreichen und auswählen zu können, wurde das Bedienfeld in Quadranten mit haptisch fühlbaren Kennzeichnungen (kleine erhabene Punkte, s. Abbildung 6-20) unterteilt. Jeder dieser Quadranten repräsentierte eine größere Funktionsgruppe, die über eine konsistente Streichbewegung auf dem Bedienelement aufgerufen und mittels Druck auf die erhabene Stelle ausgewählt wird.



Abbildung 6-20: Berührungsempfindliches Bedienelement der FB2002 (Lutherdt u.a. 2003, S. 79), gekennzeichnet ist die haptisch fühlbare vordere Quadrantenmarke

Die vier auswählbaren Funktionsgruppen (s. Abbildung 6-21) wurden wie folgt zusammengefasst:

1. (links, in der Abbildung gelb):
Programmdirektauswahl (über Senderpiktogramme)
2. (oben, rot):
Internetbrowser
3. (rechts, grün):
Geräteeinstellungen (TV-Menü)
4. (unten, blau):
Video- bzw. Teletext



Abbildung 6-21: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Bewegungsrichtung beim Streichen auf dem Bedienelement und der damit ausgewählten Funktionsgruppe des Onscreen-Menüs

Ein Streichen auf der Bedienfläche des Eingabelements ohne vorherige Auswahl ruft sofort das Lautstärkemenü hervor, eine Veränderung kann ebenfalls mittels Streichen nach rechts oder links entsprechend den Konventionen des Anforderungskatalogs ausgeführt werden (vgl. Abbildung 6-22, Änderung der Farbsättigung). Zum Manifestieren der Änderungen muss ein einmaliges Berühren (ähnlich einem Klopfen) auf die Bedienfläche erfolgen, ansonsten geht das System nach einer voreingestellten Zeit zurück in den Zustand vor der Bedienaktion.

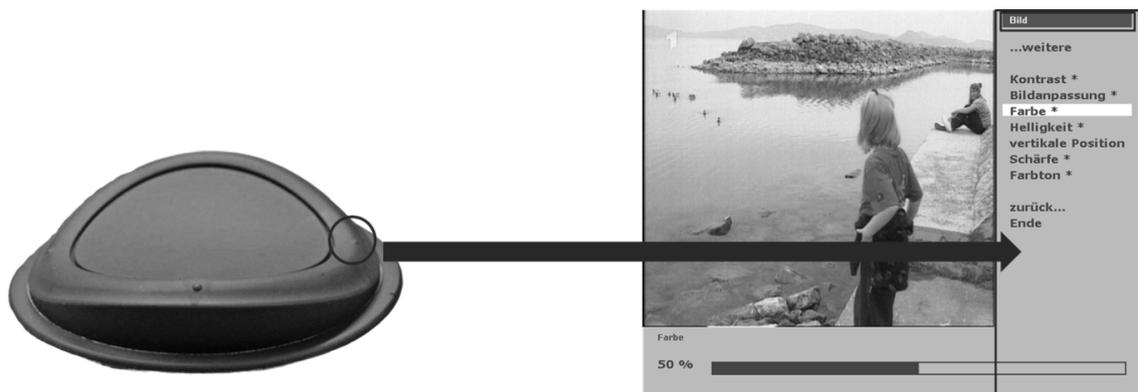


Abbildung 6-22: Umsetzung des Prinzips aus Abbildung 6-21 auf einem realen TV-Gerät (Loewe Xelos, 2002)

Abschließend wurden im Sinne des Entwurfsmodells von NuGASt Nutzer-tests zur Evaluation des Ergebnisses durchgeführt. Dabei wurden mit 14 Erwachsenen verschiedene Bedienaufgaben zur Nutzung eines TV-Gerätes durchgeführt. Die Probanden wurden jeweils vor den Tests und unmittelbar daran anschließend mittels Fragebogen über ihre Meinung zur neuentwickelten FB befragt. Die überwiegende Zahl der 14 Probanden war vor der Benutzung eher skeptisch gegenüber der neuen FB aufgrund ihrer neuartigen Gestaltung. Im Anschluss an die Tests kehrte sich dieses Ergebnis jedoch um. Danach waren neun der 14 Probanden positiv gegenüber dem neuen Eingabegerät eingestellt.



Abbildung 6-23: Präsentation des Fernbedienungssystems auf der IFA 2003 durch den Projektpartner (aus Lutherdt & Kurtz 2005a, S. 784)

Betrachtet man zum einen die Reaktionen der Probanden und der Besucher auf der IFA 2003, und bezieht andererseits noch eine Beurteilung aktueller, marktverfügbarer FB ein, so lässt sich konstatieren, dass der Entwicklungsprozess nach dem Konzept von NuGASt erfolgreich verlaufen ist und der Zielsetzung entsprechende Ergebnisse brachte. Insbesondere der Vergleich mit FB der Fa. Samsung (s. Abbildung 6-24) zeigt, dass viele der ermittelten Anforderungen wie auch der dafür gefundenen Gestaltungslösungen in den heutigen FB realisiert sind. So fällt besonders die Verwendung eines zentralen, druck- oder berührungsempfindlichen Stellelements und die Reduktion der Anzahl von Tasten bzw. Eingabeelementen auf, was sich mit den Anforderungen und durch NuGASt entworfenen Gestaltungslösungen im Projekt deckt. Auch die anderen in Abbildung 6-24 gezeigten FB folgen dieser Designlösung, zudem haben fast alle noch eine zusätzliche haptisch fühlbare Gestaltung der Tasten, wie es ebenfalls vorgeschlagen wurde.



Abbildung 6-24: Aktuelle marktverfügbare FB verschiedener Hersteller und Anwendungsfelder (Bildquelle [amazon.de, 09/2016])

Innerhalb des Forschungsprojektes Harys wurden somit alle in der Grundstruktur von NuGASSt vorgegebenen Phasen außer der Evaluation (teilweise) und der abschließenden Beurteilung durchgeführt. Zur Evaluation wurden erste Nutzertests mit positiven Ergebnissen wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben durchgeführt. Auch die konvergente Gestaltung der oben abgebildeten aktuell verfügbaren FB kann als Evaluationsergebnis dienen, da verschiedene Hersteller in ihren eigenen Untersuchungen zu einer ähnlichen Gestaltungslösung gekommen sind, wie sie unter Nutzung von NuGASSt gefunden wurde.

6.2 Anwendungstests für das Konzept NuGASSt

Die Analyse des Konzeptes (Grundstruktur und Phasen Problemanalyse und -formulierung mit Nutzerpartizipation) und dessen evaluierende Beurteilung (blaue Teilschritte s. Abbildung 6-25) erfolgte durch die Anwendung des aufgestellten Konzeptes innerhalb eines Entwicklungsprojektes zum Entwurf einer neuartigen Nutzerschnittstelle (Verbundprojekt Harys). Dabei zeigte sich mit den Ergebnissen des Projektes (der neuartigen FB incl. eines neuen Bedienkonzeptes, heutige der gefundenen Gestaltungslösung ähnliche FB), dass das Konzept NuGASSt geeignet ist für die Entwicklung solcher Schnittstellen. Außerdem war es von Vorteil, diese Evaluation in einem realen Entwicklungsprojekt durchzuführen, weshalb auch die weitere Evaluation mit

dem Ziel der abschließenden Formulierung des Konzepts NuGASt in einem (oder mehreren) solchen Entwicklungsprojekt(en) erfolgen sollte.

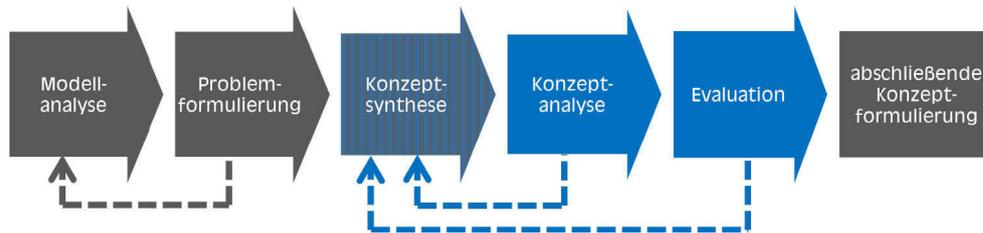


Abbildung 6-25: Phasen Konzeptanalyse und Evaluation (Beurteilung) des PLA zum Entwurf von NuGASt

6.2.1 Nutzung des neuen Konzepts NuGASt im Projekt TAS⁴³

Mit dem Verbundprojekt „Touristisches Assistenzsystem für den barrierefreien Zugang zu Urlaubs-, Freizeit- und Bildungsaktivitäten (TAS)“ bot sich die Möglichkeit, das neuentworfene Konzept NuGASt in einem passenden Aufgabenkontext (zum Entwurf eines AS bzw. Teilen davon, Ablauf wie in Abbildung 6-26) zu testen. Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines Assistenzsystems für verschiedene Nutzergruppen mit körperlichen Einschränkungen zur Unterstützung touristischer Aktivitäten in Urlaub und Freizeit. Da es neben einer großen Spanne von möglichen Handicaps natürlich auch genauso viele unterschiedliche Interessen gibt und das System auch für möglichst alle anderen potentiellen Nutzer (Familien mit kleinen Kindern, Senioren etc.) einsetzbar sein sollte, waren ein modulares Gerätekonzept und eine möglichst freie Konfigurierbarkeit erforderlich.

⁴³ TAS: Touristisches Assistenzsystem für den barrierefreien Zugang zu Urlaubs-, Freizeit- und Bildungsaktivitäten, gefördert vom BMBF im Rahmen der Initiative InnoRegio Unternehmen Region, Förderkennzeichen 03I2808

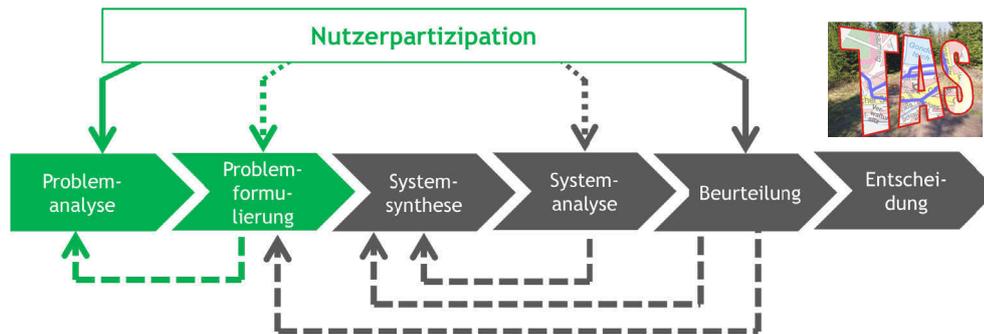


Abbildung 6-26: Auswahl der im Projekt TAS zu testenden Phasen von NuGASt

Im Projekt TAS sollten vor allem die ersten beiden Konzeptphasen (Problem-analyse, Problemformulierung, s. Abbildung 6-26) zur Anwendung kommen, und damit auch evaluiert werden. Die erste Phase des Konzepts (Problemanalyse) wurde in Form einer erweiterten Anforderungsanalyse des UEDL in Anlehnung an MAYHEW durchgeführt. Diese gliedert sich in drei Teilabschnitte, die parallel oder seriell ausgeführt werden können. Für die Anwendung im Projekt wurde die parallele Variante gewählt, da hierbei durch mehrere Mitarbeiter gleichzeitig die notwendigen Schritte bearbeitet werden konnten und so nahezu zeitgleich die Ergebnisse der Anforderungsanalyse vorlagen. Das entspricht noch stärker dem Ziel des neuen Konzepts, eine Verschlankung oder Beschleunigung der Abläufe innerhalb des Entwicklungsprozesses zu erreichen.

Durchführung der Nutzeranalyse, Erstellung von Nutzerprofilen (Problemanalyse)

Während der Nutzeranalyse wurde die starke Heterogenität möglicher sich auch wechselseitig durchdringender Nutzergruppen deutlich. Deshalb wurde der Ansatz gewählt, das System für die Gruppe mit den höchsten identifizierbaren Anforderungen exemplarisch aufzubauen und gleichzeitig über austauschbare Module und Konfigurationen die Passfähigkeit auch für andere Nutzergruppen sicherzustellen. Damit sollte zugleich das Konzept der Teilhabe nach dem Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) umgesetzt werden, nach dem jeder Mensch das Recht hat, gleichberechtigt am Leben der Gesellschaft teilzunehmen. Das Teilhabeprinzip und die damit geforderte barrierefreie Gestaltung erreicht so zusätzlich eine Nutzbarkeit für alle. Für den geplanten Einsatz als Unterstützung bei der Wahrnehmung touristischer Angebote wurde die Gruppe der Blinden und Sehgeschädigten als diejenige mit den

höchsten Anforderungen identifiziert. Das zu entwickelnde AS sollte ihnen demzufolge die Möglichkeit geben, touristische Angebote des Naturparks Thüringer Wald⁴⁴ selbstbestimmt und autonom wahrnehmen zu können. Für die Durchführung der Nutzeranalyse und Erhebung der notwendigen nutzerspezifischen Daten zur Klassifikation und Erstellung von Nutzerprofilen für das AS wurden zusätzliche Kompetenzen gewonnen, indem der Landesverband der Sehgeschädigten Thüringens (BSVT e.V.) als Projektpartner gewonnen werden konnte und in die Arbeit mit einbezogen wurde. Damit wurde auch die für Schritt eins von NuGASt essentiell geforderte Nutzerpartizipation realisiert. Die durchgeführte Nutzeranalyse in TAS repräsentiert im Wesentlichen den Schritt eins des Konzepts NuGASt (Problemanalyse).

Zur Untersuchung der Nutzergruppe wurden folgende Schwerpunkte formuliert und näher betrachtet:

- Wie (gut) lassen sich die Anforderungen der potentiellen Nutzer anhand ihrer Erkrankung bzw. Schädigung verschiedenen Profilen zuordnen?
- Welche Vorerfahrungen gibt es innerhalb dieser Gruppe bei der Nutzung technischer Geräte, besonders von Informationstechnik?
- Welche Erwartungen haben die potentiellen Nutzer an das zu entwickelnde System?
- Wie hoch ist die Bereitschaft zur Nutzung eines solchen Systems?
- Lässt sich bereits das wirtschaftliche Potential eines solchen Systems abschätzen?
- Wie stark muss die Gruppe diversifiziert werden, um sie noch in den später zu entwickelnden Anwendungen beschreiben zu können?
- Welche Auswirkungen hat ein individuelles Mobilitätstraining, wie lässt sich das in den Profilen abbilden?

Neben der Literaturanalyse und Untersuchung von Forschungsprojekten mit dieser Nutzergruppe, wurden die Betroffenen selbst bereits in dieser frühen

⁴⁴ Der Naturpark Thüringer Wald war gleichzeitig Projektkoordinator des übergeordneten InnoRegio-Projekts „Barrierefreie Modellregion Naturpark Thüringer Wald“, das im Rahmen der Förderinitiative „Unternehmen Region“ ebenfalls vom BMBF gefördert wurde.

Phase mit einbezogen. So wurden u. a. Fokusgruppen, Interviews, Ortsbegehungen zur Identifikation von Barrieren und möglichen Routen und Nutzertests mit diversen elektronischen Geräten durchgeführt.

In mehreren Stufen wurde mit den Betroffenen die Strategien, Möglichkeiten und auftretenden Probleme bei der Bedienung der in Frage kommenden technischen Geräte zur Informationsvermittlung getestet und durch Videoaufnahmen dokumentiert. Diese wurden anschließend ausgewertet und die Ergebnisse als Basis für anschließende Fokusgruppengespräche und Interviews genutzt. Die Abbildung 6-27 gibt einen Einblick in die gemeinsam mit dem BSVT durchgeführten Nutzertests. Um ein besseres Verständnis für die Anforderungen der späteren Nutzer zu gewinnen wurden auch Selbstversuche durch das Entwicklerteam mit verschiedenen technischen Hilfsmitteln für Sehgeschädigte durchgeführt (u. a. mit Blindenlangstock, PC-Bedienung über Braillezeile und Spracheingabe, spezielle Telefone und Navigationssystem etc.)



Abbildung 6-27: Nutzertests zur Identifikation von Gebrauchsroutinen und Anforderungen an Informationsschnittstellen (obere Reihe); Selbstversuche mit technischen Hilfsmitteln für Sehgeschädigte (untere Reihe) (alles eigene Aufnahmen)

Die weitere Nutzeranalyse erfolgte in drei Stufen durch eine Befragung mittels Fragebogen unter den Mitgliedern des Verbandes der Sehgeschädigten (ca. 1.000 verteilte Fragebögen mit ca. 10 % Rücklauf), zwei Fokusgruppen á 10 Personen und sich anschließende Telefoninterviews mit 100 ausgewählten Teilnehmern (alle waren bereits Teilnehmer der ersten Befragung). Dabei wurden jeweils die Ergebnisse der vorhergehenden Stufe als Ausgangspunkt für den nächsten Schritt der Nutzeranalyse verwendet.

Ein weiterer Schritt der Nutzeranalyse stellte die Erhebung der Anforderungen im eigentlichen Einsatzbereich der zu entwickelnden Technik dar. Das betrifft zum einen die von den Blinden und Sehgeschädigten genutzten antrainierten Routinen zur Erhaltung der persönlichen Mobilität (wie Benutzung von Blindenlangstöcken, Navigationssystemen für Blinde, Kooperation mit einem Blindenführhund und weitere mehr). Zum anderen wurden Barrieren und Hindernisse identifiziert und klassifiziert, mit denen die Betroffenen bei ihren Aktivitäten konfrontiert werden. Mit diesem wurde ein Hinderniskatalog für das geplante Einsatzgebiet des Systems aufgestellt und mit den Betroffenen das jeweils bestehende Gefährdungspotential für die verschiedenen Nutzergruppen festgelegt. Dazu wurden die Koordinaten der Hindernisse festgehalten, eine Fotodokumentation angefertigt und die Hindernisse vermessen. Daraus wurden später sieben verschiedene Routen mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad und Anspruchsniveau abgeleitet, für die eine Routenführung erarbeitet wurde.

Die Abbildung 6-28 zeigt die Gruppe der potentiellen Nutzer bei der Erhebung und Klassifizierung der Hindernisse im Bereich der Ortslage Georgenthal (Gemeinde im Naturpark Thüringer Wald mit einer Ferienanlage des BSVT) sowie im angrenzenden Waldbereich, der von den dort ihren Urlaub verbringenden Sehgeschädigten gern und oft zu Wanderungen genutzt wird.



Abbildung 6-28: Durchführung einer Begehung zur Hindernisbewertung mit Betroffenen in der Ortslage Georgenthal (Naturparkgemeinde Thüringer Wald)

Die Abbildung 6-29 zeigt Beispiele der gefundenen und katalogisierten Hindernisse. Diese wurden speziell unter dem Aspekt der Gefährdung für Sehgeschädigte und Blinde erhoben und können sich daher von Hindernissen anderer potenzieller Nutzergruppen unterscheiden. So besitzt der Wassergraben in der Abbildung ganz rechts deshalb ein sehr hohes Gefährdungspotential, weil er zu der glatt asphaltierten Überfahrt in das Grundstück nicht ausreichend durch eine Barriere abgetrennt ist und kein fühlbarer Übergang existiert. Blinde können somit in den Graben hineinstürzen, da auch der Beginn der eigentlichen Abgrenzung für einen Blindenlangstock außerhalb der Reichweite liegt. Für andere Nutzer wie Rollstuhlfahrer, Hörgeschädigte oder Ältere stellt diese Stelle jedoch kein Hindernis dar. Dieses unterschiedliche Gefährdungspotential wird später im Routenplanungsalgorithmus mit entsprechenden Gewichten versehen und eingerechnet. (Roß & Lutherdt 2006)



Abbildung 6-29: Beispiele verschiedener Hindernisse für Sehgeschädigte auf einer der gewählten Routen (von links: im Gehbereich befindlicher Grenzstein, hoher Bordstein, Wassergraben ohne ausreichende Barriere zur Absicherung)

Ein wichtiges Ergebnis der Nutzeranalyse war außerdem noch die Erkenntnis, dass die Blinden und Sehgeschädigten keinesfalls auf gewohnte Mobilitätshilfsmittel verzichten würden (so z. B. Blindenlangstock, Führhund) und auch keine Installationen oder Anbauten an diesen akzeptieren würden.

Aufgabenanalyse (Problemanalyse)

Die Hauptaufgabe des Planens einer nutzerangepassten, individuell zugeschnittenen Route anhand von Interessen und Befähigungen war nur auf einem zentralen Server realisierbar. Die ermittelte Route musste dann zu einem individuellen Begleitgerät übertragen werden, das den Anforderungen des jeweiligen Nutzers entsprechend adaptiert wurde, und von diesem über geeignete Formen der Informationsübermittlung an diesen weitergegeben werden. Gleichzeitig musste für den blinden bzw. sehgeschädigten Nutzer eine Interaktionsmöglichkeit mit diesem Endgerät gefunden werden. Aus diesen Ergebnissen der Aufgabenanalyse wird bereits deutlich, dass die Aufgabenanalyse wie auch die parallel stattfindende Beurteilung von generalisierbaren Designregeln bereits eine Verknüpfung aus Problemanalyse und Problemformulierung von NuGASt darstellte.

Sowohl der Server als auch die Nutzerendgeräte mussten in eine übergreifende Systemarchitektur eingebunden werden, wie sie in Abbildung 6-30 dargestellt ist, um die o. g. Aufgaben realisieren zu können. Dabei sind jeweils nicht alle Endgeräte zwingend nötig und können bei Bedarf hinzugefügt oder wieder entfernt werden. Die redundante Auslegung der Server und Datenanbindung erfolgte im Hinblick auf eine höhere Ausfallsicherheit für die späteren behinderten Nutzer. Die weiteren kommunikationsspezifischen Details sind bei Interesse im Bericht nachzulesen (s. Roß & Lutherdt 2006).

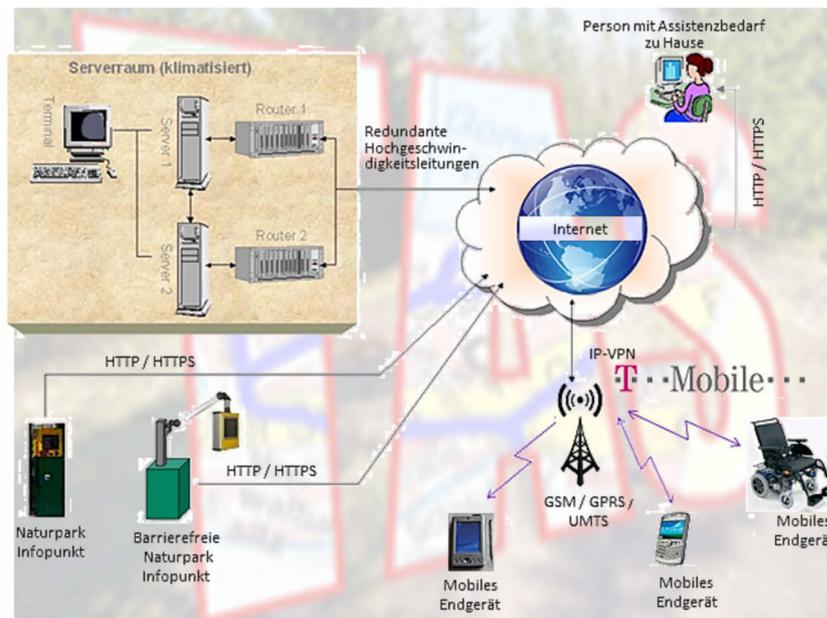


Abbildung 6-30: Übergreifende Systemarchitektur des Projekts TAS
(aus Roß & Lutherdt 2006, modifiziert)

Ein weiterer Punkt der Aufgabenanalyse war die Identifikation verfügbarer technischer Komponenten, insbesondere (im Sinne dieser Arbeit) für die Nutzerschnittstelle und das tragbare Endgerät. Aus Kosten- und Nutzbarkeitsaspekten war ein Einsatz von Laptops bzw. Netbooks für die Endnutzer nicht vorgesehen. Somit verblieben nur die Vorläufer heutiger Smartphones, die sog. PDA (bzw. Blackberrys⁴⁵) und Tablet-PC, wobei auch die Tablet-PC hohe Anschaffungskosten verursachen und gegenüber den PDA im mobilen Handling deutlich im Nachteil sind. Damit war die Auswahl der Hardwareplattform im Prinzip schon abgeschlossen, da als einziges System unter den Kostenaspekten die PDA in Frage kamen.

⁴⁵ Obwohl Blackberry eigentlich der Name der kanadischen Herstellerfirma war, hatte sich dieser auch auf die von ihnen maßgeblich mitgeprägten Geräte („Handhelds“) übertragen.



Abbildung 6-31: Beispiele möglicher Nutzerendgeräte; obere Reihe PDA, untere Reihe Tablet-PC (eigene Aufnahmen, aus Roß & Lutherdt 2006)

Die Nutzeranalyse erbrachte noch folgende weitere Erkenntnisse, die in den Nutzerprofilen abzulegen waren (vgl. Roß & Lutherdt 2006, S. 53):

- Moderne IT-Geräte haben trotz der Altersstruktur der avisierten Nutzer (überwiegend Senioren) eine große Verbreitung erfahren (41 % besitzen ein Mobiltelefon, 25 % einen PC oder Laptop, insgesamt haben 48 % der Befragten mindestens eines dieser Geräte).
- Etwa die Hälfte verfügt über Erfahrungen in der Bedienung von IT-Geräten.
- Für 14 % ist das Mobiltelefon zu klein, viele beklagen die mangelnde Zuverlässigkeit ihres PC bzw. Laptops (Abstürze oder Instabilitäten, die nicht selbst behebbar waren).
- Eine Sprachausgabe ist sinnvoll und hilfreich und unbedingt vorzusehen.
- Die Internetnutzung ist relativ weit verbreitet, allerdings nutzen nur 13 % das Internet für ihre Urlaubsplanung.

Außerdem konnten aus den Aussagen der Befragten noch weitere Empfehlungen und gestalterische Vorgaben abgeleitet werden bzw. allgemeine Aussagen über die Nutzergruppen der Blinden und Sehgeschädigten erhoben werden (vgl. Roß & Lutherdt 2006, S. 56):

- Zwischen dem Grad der Sehbehinderung und Wunsch nach Nutzung des Assistenzsystems konnte kein Zusammenhang gefunden werden.
- Aussagen über Grad der Orientierungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Erkrankung bzw. dem Grad der Sehbehinderung konnten nicht gefunden werden.
- Zusammenhänge zwischen bestimmten Krankheitsbildern und dem Grad der Orientierungsfähigkeit konnten ebenfalls nicht getroffen werden.
- Es gibt keine Zusammenhänge zwischen einer bestimmten Erkrankung / Schädigung und unbedingt notwendigen oder gewünschten Informationen.
- Über den Grad der Orientierungsfähigkeit wie auch den Wunsch zur Nutzung von AS entscheidet eher der Zeitpunkt des Eintritts der Sehschädigung und die persönliche Historie (Schule, Berufsausbildung, Interessen und Erlebnisse).

Generalisierbare Design-Kriterien und Integration des Standes von Wissenschaft und Technik (Problemanalyse)

Es wurde eine umfangreiche Patentrecherche durchgeführt, um weitere wesentliche Designkriterien identifizieren zu können. Dadurch konnte eine Reihe von Vergleichsprojekten und technischen Hilfsmitteln zur Unterstützung der Umfeldorientierung gefunden und beurteilt werden (ausführlich dargelegt in Roß & Lutherdt 2006). Letztlich erfüllte jedoch keines der untersuchten Systeme die gestellten Projektanforderungen.

Aus den Ergebnissen anderer Projekte, der Untersuchung und Beurteilung bereits erhältlicher mobiler Unterstützungssysteme und den Aussagen der Betroffenen ließ sich ableiten, dass dargebotene Informationen hauptsächlich nach der Gefährdungsrelevanz einzustufen sind und damit eine Priorisierung erfolgen muss. Das bedeutet im Ergebnis, dass sich Informationen mitunter überlagern dürfen bzw. niedriger priorisierte durch höher priorisierte unterbrochen werden können. Ein weiterer wichtiger Grundsatz ist die Unterscheidung, ob Hindernisinformationen bereits in der Planung berücksichtigt werden müssen (z. B. Barrieren), oder erst bei Erreichen des Zielpunktes dem Nutzer mitgeteilt werden müssen (wie bei Veranstaltungs- oder touristischen Umgebungsinformationen).

Mit den Erkenntnissen aus der Aufgabenanalyse und der Formulierung der Ergebnisse wie auch der Nutzergruppen- und Hindernisklassifikation in Form von Profiltabellen war die Problemformulierung von NuGASt abgeschlossen.

Resultierender Design-Vorschlag und Überprüfung unter Mitwirkung der potentiellen Nutzer (Problemformulierung und Systemsynthese)

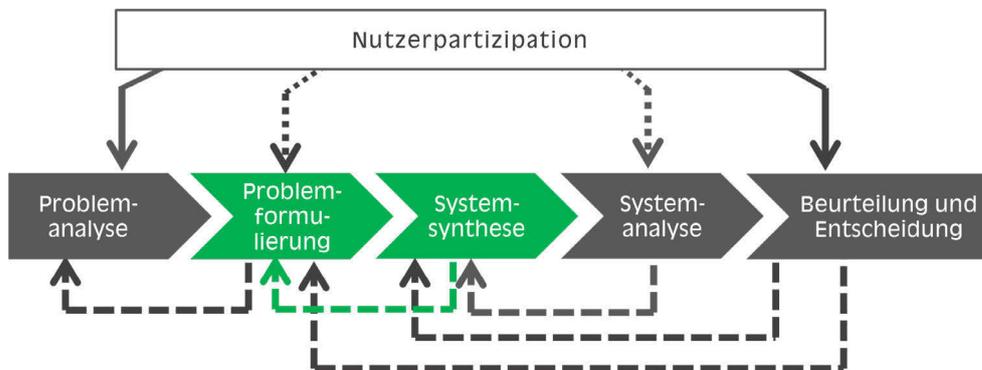


Abbildung 6-32: Schematische Übersicht der aktuell durchgeführten Entwurfsphase innerhalb von NuGASt

Mit dem Übergang zur Umsetzung der Nutzer- und Hindernisprofile in Berechnungsalgorithmen begann die Phase der Systemsynthese (s. Abbildung 6-32). Dazu wurde ein erster Prototyp für die Nutzerschnittstelle und die implementierte Bedienphilosophie entworfen. Während dieser Phase wurde nochmals iterativ zur Problemformulierung zurückgekehrt und folgende zusätzlichen Designziele aus den Nutzerbefragungen abgeleitet:

- konsequente Einhaltung des „Zwei-Sinne-Prinzips“, dabei primär auf eine akustische Ausgabe setzen und zusätzlich einen weiteren Sinneskanal ansprechen (z. B. durch Vibration).
- Nutzung eines vorhandenen Restsehvermögens, dafür sind individuelle Einstellmöglichkeiten vorzusehen (Größe, Farbe, Kontraste, Verzicht auf Bilder etc.).
- Einstellbare Sprachausgabe (unbedingt die Lautstärke, aber auch Geschwindigkeit und Frequenz). Außerdem sollte die Möglichkeit zur manuellen Wiederholung der Ausgabe vorgesehen werden.
- Das System muss nach einem Ausfall selbsttätig seine Arbeitsfähigkeit wiederherstellen, am besten sollte es am Punkt des Ausfalls fortsetzen (automatischer Systemneustart).

- Es muss eine fortwährende Kontrolle über den aktuellen Systemstatus möglich sein. Sind Informationen nur mit einer Zeitverzögerung verfügbar oder reagiert das System selbst verzögert, so ist das dem Nutzer ebenfalls anzuzeigen (vgl. Schmidtke & Bernotat 1993).
- Das mobile Gerät sollte über eine automatische und manuelle Notruf-funktion verfügen sowie über eine Möglichkeit zum Wiederauffinden nach einem Verlust.
- Um ungewollte Eingaben zu vermeiden sollte das mobile Gerät während der Nutzung für Eingaben inaktiv sein und nur über eine definierte Variante aus diesem Zustand herausgelöst werden können.
- Eine Ankopplung von Zusatzkomponenten über verschiedene Standardschnittstellen sollte möglich sein, dabei sind feste Installationen und sich automatisch konfigurierende Verbindungen zu bevorzugen.

Viele dieser Anforderungen sind mit heutigen Smartphones problemlos realisierbar bzw. bereits in die Hardware integriert. Mit den im Projekt zur Verfügung stehenden PDA mussten jedoch für den damaligen Technologiestand neue Bedienstrategien erdacht werden. In der Verallgemeinerung der Nutzeranforderungen und Übertragung auf bekannte technische Kategorien wurde dazu als übergeordnete Anforderung die Sicherung einer informationstechnischen Biokompatibilität formuliert (IT-Biokompatibilität, vgl. Müller et al. 2004, Müller et al. 2006).

Der Begriff der Biokompatibilität wird im Allgemeinen für Implantate bzw. für den Einsatz von Materialien und den aus ihnen gefertigten Bauteilen und Systemen im biologischen Organismus bzw. Gewebe benutzt (vgl. (Wintermantel & Ha 2002). In Übereinstimmung mit (Wintermantel 1993) wird die Biokompatibilität definiert als die Verträglichkeit zwischen einem technischen und einem biologischen System, speziell auf IT-Biokompatibilität bezogen eine durch nutzergerechte und -angepasste Gestaltung erreichte Verträglichkeit zwischen den Nutzern und dem IT-System.

Für den Prototyp wurden die bereits beschriebenen PDA als Hardwarebasis genutzt. Sie besitzen neben einer berührungssensitiven, weitgehend frei konfigurierbaren Oberfläche ähnlichen heutigen Smartphones oder Tablets auch die Möglichkeit zur Ankopplung verschiedener Erweiterungskomponenten und die Nutzung von Audioein- und -ausgabe. Als Erweiterungen kommen u. a. GPS-Empfänger, Lautsprecher, Headsets, Tastaturen und weiteres in

Frage. Die Verbindung erfolgt entweder direkt physisch (durch An- bzw. Aufstecken) oder per Bluetooth®. Außerdem kann der interne Speicher durch das Einstecken einer SD-Karte erweitert werden. Darauf werden in der Regel die Karten für die Navigationssoftware abgelegt.

Aus den Anforderungen, die gemeinsam mit den Nutzern erarbeitet worden waren, wurden für den Prototyp folgende Gestaltungsprinzipien direkt umgesetzt (Systemsynthese):

- Nutzung des „Zwei-Sinne“-Prinzips, d. h. alle Ausgaben erfolgen auf zwei unterschiedliche sensorische Kanäle,
- Unmittelbare akustische Rückkopplung über alle Aktionen,
- Abbruchmöglichkeit von Aktionen immer zum vorhergehenden Punkt,
- Selbststartfähigkeit des Geräts,
- Einfache Bedienung des Geräts ohne die Notwendigkeit einer visuellen Kontrolle,
- Möglichkeit der Nutzung mit Restsehvermögen durch individuelle Größenanpassung und Einstellung verschiedener Farbkontraste,
- Verriegelung des Gerätes gegen unbeabsichtigte Eingaben.

Aus diesen Vorgaben wurde unter Nutzung der technischen Möglichkeiten ein vollkommen neues Bedienkonzept entworfen. Es ermöglicht die Nutzung des Geräts und seiner Funktionen, deren Steuerung und die freie Bewegung innerhalb der einfachen Menüstrukturen ausschließlich durch Streichgesten in horizontaler und vertikaler Richtung. Dabei ist die Position dieser Streichbewegung auf dem Display egal, was eine visuelle Kontrolle überflüssig macht. Eine Eingabe wird dabei nur als beabsichtigt (und korrekt ausgeführt) interpretiert, wenn sie in eine der beiden Hauptrichtungen mindestens 100 px überstreicht. Der senkrechten Streichbewegung ist dabei das Auswählen der einzelnen Menüpunkte zugeordnet, diese sind als umlaufende, immer wiederkehrende Reihe angeordnet. Die horizontale Bewegung führt zur Auswahl und damit dem Betreten eines Menüpunkts, weiteres waagerechtes Streichen wählt die Untermenüs aus. Diese neuartige Bedienstrategie ist ein wesentlicher Bestandteil der Systemsynthese in der Anwendung von NuGASt. Die Abbildung 6-33 zeigt diese Grundbewegungen zur Bedienung des Geräts.

MENÜGRUPPE +1

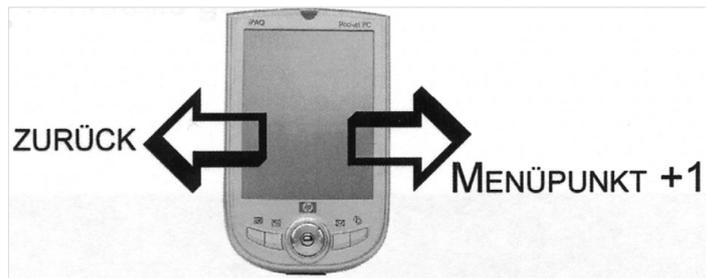
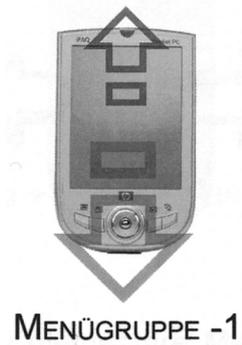


Abbildung 6-33: Verdeutlichung der grundlegenden Eingabebewegungen auf dem Touchscreen des PDA

Neben der Umsetzung der speziellen Nutzeranforderungen werden mit dieser Gestaltungslösung alle acht vorgestellten Regeln von SHNEIDERMAN umgesetzt (s. 4.3.1, S. 87) sowie explizit auch die vierte, fünfte und neunte NIELSEN-Heuristik (s. Tabelle A-1 im Anhang A).

Das Betreten der Untermenüs erfolgt da wo das möglich ist (z. B. zum Ändern von Einstellungen wie lauter/leiser, heller/dunkler, größer/kleiner) durch Drücken eines zentralen Hardwarebuttons am unteren Ende des Gerätes. Dieser ist sowohl durch seine Größe als auch prominente Gestaltung haptisch erkennbar und damit ebenfalls für Blinde und Sehgeschädigte nutzbar. Die Einstellung selbst erfolgt dann wieder nach den beschriebenen Prinzipien unter Ausnutzung des Erfahrungswissens der Nutzer, indem Rechtsstreichen größer oder mehr bedeutet und Linkstreichen kleiner oder weniger. Dieses Prinzip der Bedienung ist in Abbildung 6-34 veranschaulicht. Um eine vorgenommene Änderung abzuspeichern, muss ebenfalls wieder der Hardwarebutton gedrückt werden. Gleichzeitig wird das Einstellmenü verlassen und man gelangt wieder zum Anfangspunkt der Menüs.



Abbildung 6-34: Veranschaulichung der Bedienung des TAS-Endgeräts zur Änderung einer Einstellung (z. B. lauter/leiser)

In Umsetzung einer weiteren Anforderung durch die Nutzer wurde die Menüstruktur sehr flach und einfach gehalten, es gibt jeweils nur drei Menüs mit wiederum maximal drei Untermenüs. Damit ist die Struktur auch an das menschliche KZG angepasst, da sich höchstens fünf chunks gemerkt werden müssen (3 Menüs bis Einstellungen + 2 Untermenüpunkte bis Kontrast, s. Abbildung 6-35).



Abbildung 6-35: Erläuterung der Menüstruktur des TAS-Endgeräts (3 + 2 bzw. 1 + 3 Struktur der Menüpunkte und Auswahlmöglichkeit / Untermenüs)

Jeder Menüpunkt ist zusätzlich mit einem eindeutigen und sinnhaften Symbol in kontrastreicher Gestaltung gekennzeichnet, um es schnell einer Funktion zuordnen zu können, wie in Abbildung 6-36 zu sehen.



Abbildung 6-36: Verdeutlichung des jeweils aktuellen Menüpunkts durch Schrift und ein sinnhaftes Symbol in hohem Kontrastverhältnis (immer begleitet durch akustische Ausgabe)

Mit diesem Prototyp der Nutzerschnittstelle wurden erneute Tests und Beurteilungen mit den potentiellen Nutzern (Sehgeschädigte, hochgradig Sehgeschädigte und Blinde) durchgeführt. Weitere Informationen sowie Bilder der Tests finden sich in (Roß & Lutherdt 2006).

Systemanalyse mit Nutzerpartizipation

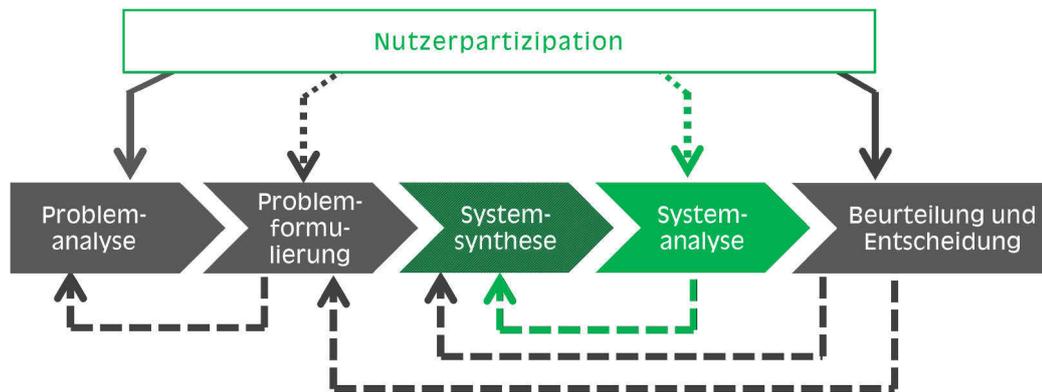


Abbildung 6-37: Vierte NuGASt-Phase (Systemanalyse) mit Nutzerbeteiligung und einer variablen Rückkopplung zur Systemsynthese

Um die mit NuGASt entworfene Schnittstelle (das TAS-Endgerät) analysieren und beurteilen zu können (s. Abbildung 6-37), wurden wiederum die potentiellen Nutzer in den Prozess eingebunden. Dabei konnten erneut die im BSVT⁴⁶ organisierten Sehgeschädigten gewonnen werden, aber auch Sehende wurden zu ihrer Meinung befragt und konnten ebenfalls das Endgerät testen. Dafür wurde die Bedienoberfläche leicht modifiziert (s. Abbildung 6-38), ohne jedoch die einmal gefundene Grundstruktur aufzugeben. Das Hauptmenü bestand weiterhin aus vier Menüpunkten, die endlos fortlaufend durch senkrechtes Streichen (auf oder ab) durchgeblättert werden konnten. Ein waagerechtes Streichen wählte eines der Menüs aus, innerhalb derer dann wiederum mittels Streichen auf- oder abwärts weitere Auswahlen getroffen werden konnten. Diese wurden genauso wie beim Prototyp durch einstellbare akustische Ausgaben an den Nutzer übermittelt.

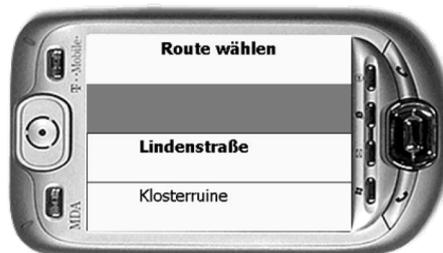


Abbildung 6-38: Angepasste Benutzeroberfläche des TAS-Endgerätes für die Nutzertests auf Basis des Prototyps

⁴⁶ BSVT: Blinden- und Sehbehindertenverband Thüringen e. V.

Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass mit dem TAS-Endgerät sowohl Sehende als auch Nicht-Sehende sehr gut umgehen konnten und eine selbständige Bedienung für Blinde möglich ist. Auch für Sehende erwies sich die Bedienstruktur als zielführend und bequem nutzbar, sodass auf die Entwicklung einer anderen Benutzerschnittstelle für die sehenden Nutzergruppen verzichtet werden konnte. Die Testergebnisse zeigten außerdem, dass durch die Gestaltung der neuartigen Bedienoberfläche die potentiell gegebenen Probleme bei der Nutzung von PDA als mobilem Gerät (Unsicherheit bzw. Ungenauigkeit bei der Bedienung, insb. für Präzisionseingaben wie beim Schreiben, analog dazu Auswahl kleiner Softbuttons⁴⁷) vermieden werden konnten, wie sie von anderen Autoren berichtet wurden (vgl. u. a. Larni 2004).

Auf einen vollständigen Anwendungstest für das Konzept NuGASt wurde (vorerst) verzichtet und der Entwicklungsprozess während der Systemanalyse abgebrochen. Der Grund lag in der Möglichkeit, das Konzept noch einmal in einem zweiten Teilprojekt von TAS, dem TAS2 für Hörgeschädigte und Gehbehinderte, einzusetzen und zu testen. Die abschließenden Phasen werden dann einmalig für beide Teilprojekte durchgeführt.

6.2.2 Weitergehende Tests des Konzepts NuGASt in TAS2

Im zeitversetzt, aber größtenteils parallel verlaufenden Teilprojekt TAS2 sollten die Projektergebnisse auf zwei weitere Nutzergruppen erweitert und angepasst werden. Für die Gestaltung der dafür notwendigen speziellen Nutzerschnittstellen wurde wiederum das Konzept NuGASt gewählt. Hierbei sollte ein weiterer Vorteil des Konzepts ausgenutzt werden: die Möglichkeit flexibel bei Bedarf Phasen überspringen oder zusammenfassen zu können (wie aus Abbildung 6-39 ersichtlich wird).

⁴⁷ Softbuttons: durch Software auf Geräten mit Touchscreens zur Verfügung gestellte Bedienelemente, die klassischen Eingabetasten ähnlich sehen und auch so benutzt werden

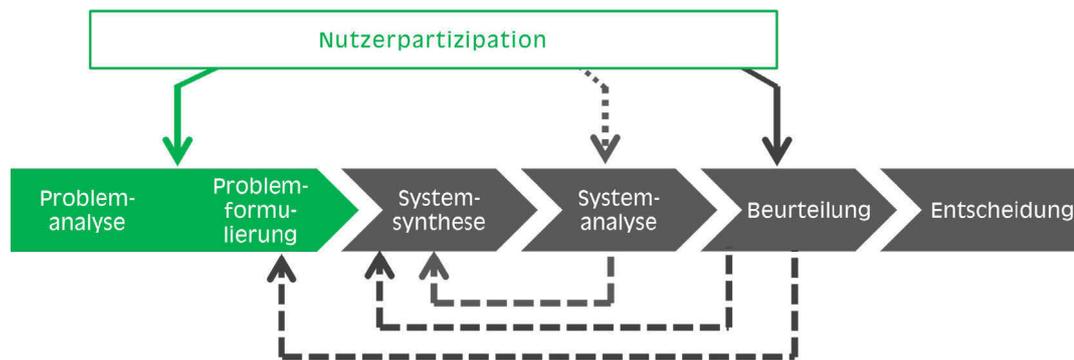


Abbildung 6-39: Zusammenfassung der ersten beiden NuGASSt-Schritte und Beteiligung der Nutzer in beiden Phasen

In einer ersten Problemanalyse wurde klar, dass die aufgestellten Anforderungen an Hard- und Software ausreichend weit gefasst sind, um auch für neue Nutzergruppen ihre Gültigkeit zu behalten. Deshalb wurde dieser Schritt gleich mit der Problemformulierung kombiniert und eine dafür geeignete Methode gesucht, um potentielle Nutzer wie auch Experten in den Prozess involvieren zu können. Diese Methode wurde in der Delphi-Befragung gefunden, die Wahl der Methode wurde von Mitarbeitern und den Betroffenen (Schwerhörige und Gehörlose) gemeinsam getroffen. Dazu wurde wiederum ein Behindertenverband der jeweils adressierten Gruppe (DSB⁴⁸ und Verband der Behinderten Thüringen) mit involviert. Diese Studie wurde im Auftrag und mit ständiger wechselseitiger Abstimmung durch eine Firma aus der Markt- und Sozialforschung (Fa. aproxima Weimar) durchgeführt.

Die Delphi-Studie wurde als zweistufige Expertenbefragung mit dazwischenliegender Fokusgruppe durchgeführt, dazu konnten 30 Teilnehmer (17 m, 13 w; Alter von 20 bis 60 Jahre) gewonnen werden. Es wurde das erste Ergebnis bestätigt, dass die beiden neu zu betrachtenden Nutzergruppen (Hörgeschädigte und Rollstuhlfahrer) andere Anforderungen hinsichtlich des Einsatzes des Gesamtsystems TAS haben, jedoch in Hinblick auf die Nutzerschnittstelle keine neuen Anforderungen hinzukommen. Durch die bereits aufgestellte Anforderung nach einer Erweiterbarkeit mit zusätzlichen Komponenten ist das

⁴⁸ DSB: Deutscher Schwerhörigenbund e. V.

Endgerät ausreichend anpassbar. Solche Komponenten sind Induktionsschleifen für Hörgeräteträger oder Hörverstärker. Zudem ist auch für die Hörgeschädigten eine vibrotaktile Ausgabe hilfreich. Für die Körperbehinderten ergibt sich andererseits die Notwendigkeit des Fixierens am Rollstuhl bzw. an anderen genutzten Mobilitätshilfsmitteln. Die Integration und Anpassung dieser genannten Komponenten in das bestehende System (und Kopplung mit den jeweiligen Endgeräten) bildete die Systemsynthese für das NuGASt in TAS2, womit diese de facto übersprungen wurde (auch adäquat zu den Konzeptzielen). Somit konnte direkt zur Systemanalyse übergegangen werden (s. Abbildung 6 40).

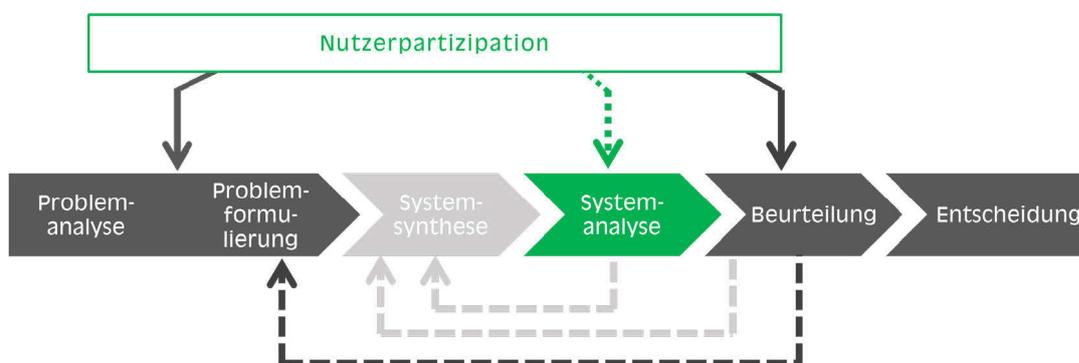


Abbildung 6-40: Ablaufschema von NuGASt mit Verdeutlichung der aktuellen Phase und des Wegfalls der Systemsynthese

Für die Systemanalyse in TAS2 als vierten Entwicklungsschritt von NuGASt (wie oben in Abbildung 6-40 dargestellt) wurden drei verschiedene Varianten des Nutzerendgeräts entworfen. Dabei wurden spezifische Anforderungen der einzelnen Nutzergruppen und Erkenntnisse aus der Systemanalyse in TAS1 berücksichtigt. Die grundlegenden Einstellungen für den jeweiligen Nutzer werden initial beim Start des Gerätes aus den abgespeicherten Nutzerprofilen vorgenommen. Diese sind dann im Rahmen der Einstellmöglichkeiten des Endgeräts während des Betriebs veränderbar. Die drei Varianten unterscheiden sich im Wesentlichen in der Gestaltung der grafischen Oberfläche. Für visuell eingeschränkte Nutzer wurde die Gestaltungsvariante aus Abbildung 6-38 beibehalten, da sie sich bereits in Tests bewährt hat. Zusätzlich wurde für normal Sehende eine Variante unter Nutzung hochauflöster Luftbilder (ähnlich Google Maps) und Darstellung der geplanten Route wie in einem Auto-

Navigationssystem entworfen. Die dritte Variante richtet sich speziell nach den Bedürfnissen farbfahlsichtiger Nutzer. Sie nutzt eine schematische Karte wie z. B. Open StreetMap und wird mit dem in Kapitel 5.5 beschriebenen Daltonizing-Verfahren an die jeweilige Farbfahlsichtigkeit des Nutzers adaptiert (s. Beispiele in Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17). Natürlich kann diese Variante des Gerätes auch von Normalsichtigen ohne Farbanpassung genutzt werden.



Abbildung 6-41: Beispiele für die drei in Umsetzung des Anforderungskatalogs entstandenen Varianten des TAS-Endgeräts (aus Roß & Lutherdt 2006, s. auch Lutherdt & Witte 2007)

Um die weiteren, spezifisch unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Nutzergruppen erfüllen zu können, müssen diese Grundvarianten des Endgerätes durch zusätzliche Komponenten ergänzt werden. Dafür steht ein ganzes Portfolio an Einzelkomponenten zur Verfügung, das spezielle Anforderungen einzelner Nutzer erfüllt, aber auch wie in der folgenden Tabelle 6-2 ersichtlich ist, für andere Nutzergruppen sinnvoll und hilfreich sein kann. Mit der Auswahl und Anpassung dieser Komponenten an die Endgeräte war die iterative Systemsynthese und -analyse unter Beteiligung der späteren Nutzer abgeschlossen.

Tabelle 6-2: Übersicht über die Erweiterungsmöglichkeiten des TAS-Endgeräts und deren Eignung für verschiedene Nutzergruppen (modifiziert nach Lutherdt & Witte 2007)

Nutzergruppe	Verfügbare Hardwarekomponenten					Anzahl mind. angesprochener Sinnesmodalitäten
	PDA	Head-Set	Vibrogürtel / Vibroakku	ELI (BT-Hörverstärker)	Schrittzähler	
Sehgeschädigte	x	x	x		x ¹	3 (2)
Blinde	x	x	x		x ¹	2
Schwerhörige	x	x ²	x	x ²		3 (2)
Gehörlose / Ertaubte	x		x			2
Rollstuhlfahrer	x ³	x ¹				2
Gehbehinderte, Ältere	x	x ^{1,2}	x	x ^{1,2}		2 (3)
Andere Nutzer (z.B. Familien, Sportler)	x	x ¹	x		x ¹	3

¹ auf Wunsch, ² bei Vorhandensein eines Hörgerätes möglich (dann kein Headset),
³ auch als Laptop, Tablet-PC oder Subnotebook mit Halterung möglich

Zur Beurteilung der mittels NuGASt entworfenen Nutzerschnittstelle(n) wurden Tests mit den späteren Nutzern dieser Geräte durchgeführt. Diese erfolgten als Anwendungstests anhand vorgegebener Szenarien im Realumfeld, nachdem vorher Funktions- und Bedientests im Labor erfolgreich absolviert wurden. Innerhalb der Tests wurden getrennt für die Nutzergruppen der Hör- und Sehgeschädigten wie der Körperbehinderten (im Speziellen Rollstuhlfahrer) in verschiedenen Umgebungen mehrere Navigationsaufgaben getestet. Die Nutzer hatten dabei ein Ziel auszuwählen, dieses Ziel mit Hilfe der über das Endgerät und seine Zusatzkomponenten gegebenen Informationen zu erreichen und eine Routenänderung während des Tests durchzuführen (entweder durch Einfügen eines Zwischenziels oder Wechsel auf ein anderes Ziel). In der folgenden Abbildung 6-42 ist eine dieser Routen abgebildet, da es sich um einen Rundkurs zu einer Waldgaststätte und wieder zurück handelt, sind dabei Hin- und Rückweg bereits unterschiedlich geplant.

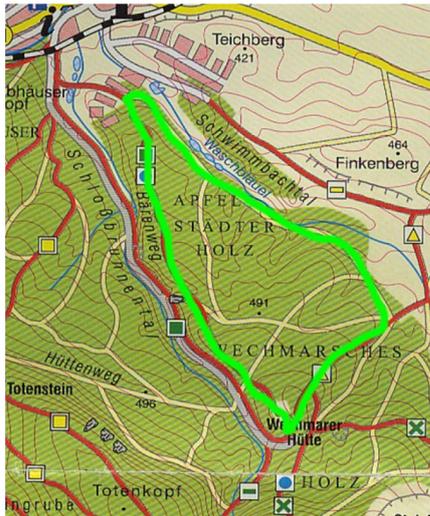


Abbildung 6-42: Eine der möglichen Routen außerhalb von Georgenthal (Ortsrand/Pension Aura über Bärenweg zur Wechmarer Hütte, zurück über Schwimmbachtal)

Für die Hör- und Sehgeschädigten erfolgte der Test innerhalb und um die Ortslage Georgenthal herum. Der Test für die Rollstuhlfahrer (s. Abbildung 6-43) wurde in Königsee am Standort der Otto Bock Mobility Solution GmbH durchgeführt. Dazu wurde ein ebenfalls während der Projektlaufzeit durch Beratung der Projektmitarbeiter der Technischen Universität Ilmenau geschaffener Rollstuhl-Parcours genutzt. Dieser grenzt direkt an das Firmengelände an und simuliert verschiedenste Situationen und Fahrweguntergründe, die während der Nutzung eines Rollstuhls auftreten können.



Abbildung 6-43: Nutzertests für das TAS2 in Königsee
 links: Elektrorollstuhl mit den notwendigen Zusatzkomponenten;
 mitte: alternative Eingabemöglichkeit auf einem Tablet am Rollstuhl;
 rechts: Testfahrt auf dem Rollstuhl mit PDA

Das Beurteilungskriterium für die Nutzertests war die grundsätzliche Eignung der Endgeräte für die jeweilige Nutzergruppe, die möglichst selbständige Anwendung dieser Geräte und die Meinung der Nutzer nach den Tests. Methodisch wurde dafür teilnehmende Beobachtung und das Interview gewählt, beides wurde während der Durchführung protokolliert. An den Tests der Sehgeschädigten nahmen insgesamt acht Personen (3 m / 5 w) teil. Darunter waren u. a. eine Person mit Blindenführhund und eine mit Blindenlangstock. In der folgenden Abbildung 6-44 ist ein Teil der Probanden während des Tests abgebildet. Jeder Teilnehmer hat ein eigenes Endgerät und konnte damit die Route selbständig planen und unterwegs verfolgen. Die Begleitung durch den Testleiter erfolgte lediglich aus Sicherheitsgründen und zur Beobachtung und Protokollierung der Tests.



Abbildung 6-44: Test des TAS-Systems durch Sehgeschädigte im Wald außerhalb von Georgenthal

Der Test durch die Hörgeschädigten verlief analog zu den Sehgeschädigten. Sie sollten ebenfalls selbständig eine Route planen und danach anhand der Hinweise vom Endgerät ohne Einwirkung durch den Versuchsleiter abgehen. Als Informationsvermittlungsschnittstelle kamen dabei die bereits beschriebenen unterschiedlichen Zusatzkomponenten zum Einsatz (Induktionsschleife PL-100, ELI BT-Ankopplung direkt ans Hörgerät und alternativ Test der ausschließlichen Nutzung des PDA mit Vibrationsalarm ohne Zusatzkomponenten).



Abbildung 6-45: Hörgeschädigte bei Routenauswahl auf dem TAS-Gerät mit Induktionsschleife PL-100; Mitte alternatives Endgerät mit geplanter Route; rechts während des Tests (rote Marker sind Hindernisse oder andere wichtige Punkte auf der Route)

Im Gegensatz zu den Sehgeschädigten lag der Fokus der Tests bei den Hörgeschädigten auf der Funktionalität der Zusatzkomponenten und der notwendigen Sprachverständlichkeit der vom Gerät angebotenen Informationen. Außerdem sollte dem Wunsch der Nutzer entsprechend die Unterstützung unauffällig und damit wenig stigmatisierend erfolgen. Zusätzlich kam während der Tests ein alternatives Endgerät (PDA mit integriertem GPS-Empfänger der Fa. Bluemedia) mit einer alternativen Routenführung auf Basis der frei zugänglichen Karten-App von Fugawi zum Einsatz. Das sollte die Möglichkeiten für eine kostengünstige und von proprietären Lösungen unabhängige Variante für den Einsatz des TAS verdeutlichen. Weitergehende Informationen dazu finden sich bei (Lutherdt et al. 2007). Weitere Anwendungsmöglichkeiten für alle Nutzer wurden vorbereitet und getestet, indem verschiedene Hörführungen sowohl in Georgenthal als auch Ilmenau erarbeitet wurden. Dabei werden neben der eigentlichen Routeninformation auch wie bei Stadtführungen üblich Kontextinformationen zu den umliegenden Sehenswürdigkeiten vermittelt. Diese werden ebenfalls über die angeschlossenen Endgeräte (spezifisch zugeschnitten) übertragen und damit für die jeweiligen Nutzer verfügbar gemacht (s. Abbildung 6-47 rechts).

In der dargestellten Testsituation (s. Abbildung 6-46) plant das System nach der Anmeldung des Nutzers anhand vorgegebener Profile unterschiedliche Routen für den Rundkurs je nach Art der Anforderungen durch die Nutzer. Das wird am Beispiel der Rollstuhlfahrer deutlich, da die Treppe zu Beginn des Rundkurses für sie ein unüberwindliches Hindernis darstellt und damit eine Umfahrung notwendig wird. Gleichartige Routenführungen (mit der

Möglichkeit, für verschiedene Nutzergruppen entsprechend ihren Anforderungen unterschiedliche Routen zu planen) wurden exemplarisch neben Königsee auch für die Innenstadt und den Campus der Technischen Universität Ilmenau sowie Georgenthal erarbeitet und getestet.

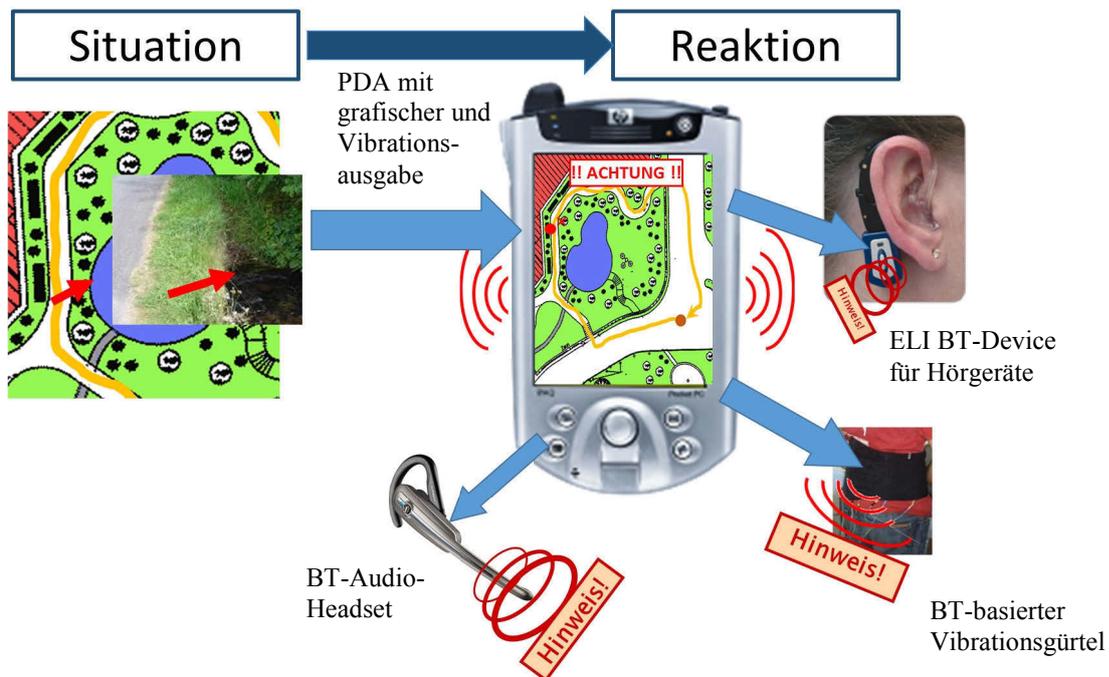


Abbildung 6-46: Verdeutlichung der Umsetzung des „Zwei-Sinne“-Prinzips bei einem Gefahrenhinweis durch Anbindung verschiedener Erweiterungskomponenten an das TAS-Endgerät (Reaktion auf eine Gefahrenstelle während einer aktiven Routenführung, Beispiel Rollstuhlparcour Königsee; es müssen nicht immer alle Komponenten vorhanden sein)

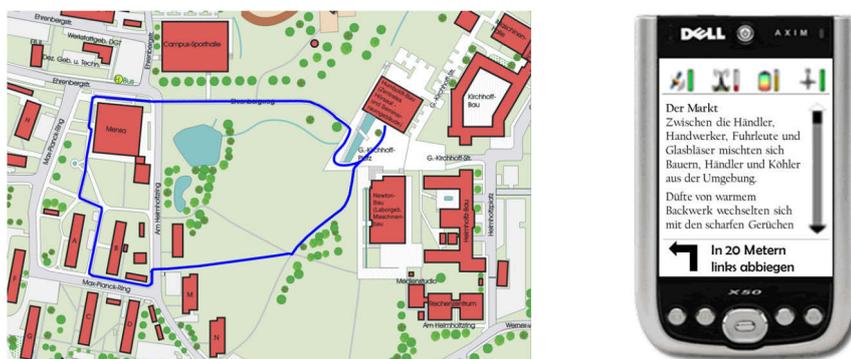


Abbildung 6-47: Eine der Routenführungen über den Campus der TU Ilmenau (links, Planung für einen Hörgeschädigten; rechts Anzeige auf dem Endgerät während der Hörführung in der Ilmenauer Altstadt)

Ergebnis der Konzeptevaluation (Beurteilung) und abschließende Formulierung

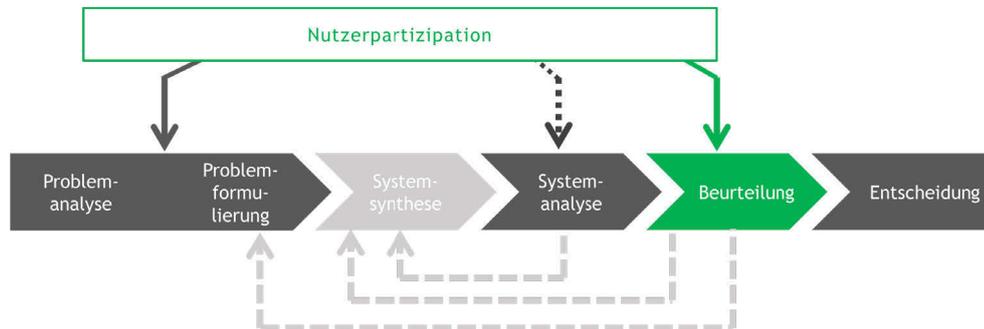


Abbildung 6-48: Vorletzte Phase von NuGASt unter Beteiligung der Nutzer (Beurteilung, die möglichen Rückkopplungen wurden nicht genutzt)

In den zur Evaluation (nach Abbildung 6-48) eingesetzten Nutzertests wurde durchweg ein positives Fazit gezogen. Die beteiligten Betroffenen kamen sowohl mit der Nutzerschnittstelle zurecht als auch mit der Nutzung des Gesamtsystems. Insbesondere die Sehgeschädigten sahen das System als sehr gelungen an, da sie auf ihrem Test vollständig autark ohne Eingreifen durch Sehende (und somit auch ohne den Testleiter) die Strecke bewältigen konnten. Das Gleiche galt für die Hörgeschädigten, die unter Zuhilfenahme der Zusatzkomponenten sowohl den Outdoor-Rundkurs in Georgenthal als auch die Führung in der Stadt erfolgreich testeten. Das für die Rollstuhlfahrer adaptierte System wurde in Königsee auf einem Rundkurs getestet und ebenfalls positiv eingeschätzt. Es gab keine Systemausfälle, und die Bedienung sowie Informationsvermittlung wurde durchweg als sicher und einfach beurteilt. Nach diesem positiven Test wurde das Rollstuhl-TAS im Rahmen der Einweihung eines Erweiterungsbaus der Fa. Otto Bock auch einer größeren Öffentlichkeit präsentiert.

Ein weiterer, indirekter Nachweis der gelungenen Lösungen für die Nutzerschnittstelle mit Hilfe von NuGASt ist die heute jedem vertraute Touchscreen-Bedienung von Smartphones und Tablets. Sie benutzt dieselben Gesten- und Eingabekonzepte, wie sie auf dem PDA mit der eingeschränkten Funktionalität bereits vorausgedacht worden sind. Durch die Weiterentwicklung der Hardware und die damit gegebenen Möglichkeiten gehen heutige Bedienkonzepte natürlich über die im TAS durch NuGASt gefundenen Lösungen hinaus (z. B. durch Multitouch-Funktionen ermöglichte Mehrfingergersten).

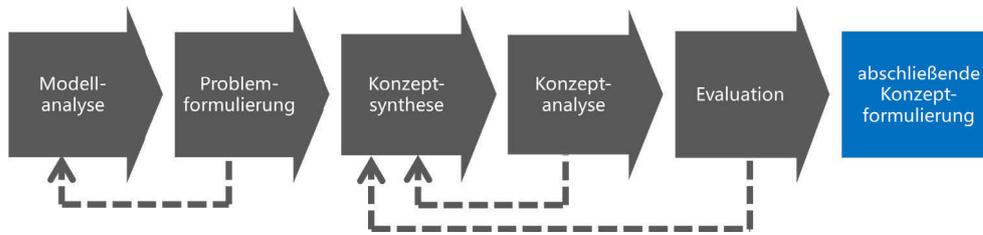


Abbildung 6-49: Letzte Phase des PLA zur Konzepterstellung: abschließende Konzeptformulierung (Entscheidung)

Im Zuge der abschließenden, positiven Einschätzungen der Entwicklungsergebnisse lässt sich die Anwendbarkeit von NuGASt für entsprechende Aufgaben eindeutig bejahen. Damit ist die Evaluation abgeschlossen und es schließt sich die Entscheidung an (s. Abbildung 6-49). Diese besteht in der endgültigen Formulierung des Konzepts wie in Abbildung 6-50 und dem geplanten Einsatz des neu aufgestellten Konzepts in weiteren Entwicklungsprojekten (s. Kapitel 7). In der Anwendung des Konzepts zeigte sich, dass für die Entscheidung über den weiteren Projektablauf letzter Schritt des PLA keine eigene Phase notwendig ist, sondern dass diese innerhalb der Beurteilung erfolgen kann. Das ist wiederum im Sinne der Grundprämisse für die Entwicklung von NuGASt, den gesamten Ablauf schlanker und flexibler zu gestalten.

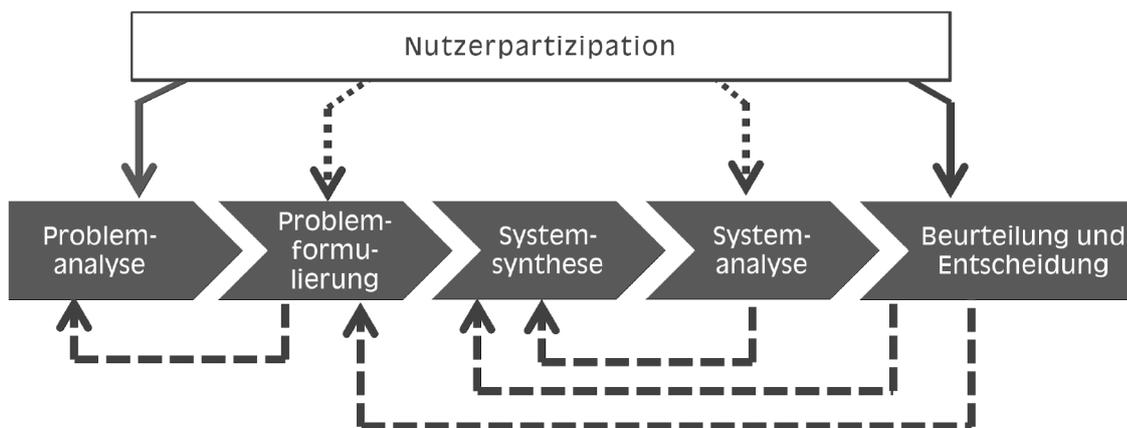


Abbildung 6-50: Abschließende Formulierung des Konzepts NuGASt zur Nutzung in weiteren Anwendungstests

We want principles, not only developed – the work of the closet – but applied, which is the work of life.

Horace Mann (Thoughts, 1867)

7 Anwendungstest des neuen Konzepts

7.1 Anwendung des Konzepts NuGASt auf den Entwurf von Nutzerschnittstellen

7.1.1 Verbesserung der Nutzbarkeit und Akzeptanz von Großdisplays zur Informationsvermittlung in Produktionslinien

Mit der abschließenden Formulierung des Konzepts NuGASt ergab sich die Frage nach möglichen Anwendungsfeldern, insbesondere um erste Tests des Konzepts durchführen zu können. Eine Möglichkeit ergab sich innerhalb eines Industrieprojekts mit einem Automobilhersteller (Projekt BoP — Bionisch inspiriertes Produktionssystem). Neben dem eigentlichen Projektziel, der Optimierung und Erhöhung der Störsicherheit einer Produktionslinie, wurden weitere Optimierungsmöglichkeiten während der Analysen vor Ort identifiziert. Dazu gehörte auch die Verbesserung der Wirksamkeit der Informationsschnittstellen, vor allem der Großdisplays in der Produktionslinie. Aus den Informationen der Führungskräfte wie auch aus Gesprächen mit den Werkern wurde deutlich, dass diese sog. Andon-Boards⁴⁹ keine hohe Akzeptanz besitzen und eigentlich nur selten genutzt werden.

Somit wurde ein innerhalb des Projekts ein weiteres Teilthema formuliert, dass sich die Verbesserung der Mitarbeitersteuerung zum Ziel setzte. Ein Schwerpunkt dieses Teilthemas war die Verbesserung der vorhandenen Großdisplays.

⁴⁹ Andon-Boards sind Großdisplays zur Vermittlung von Funktionen und Abläufen einer oder mehrerer Maschinen mittels selbsterklärender Symbolik. Sie entstammen dem Toyota-Produktionssystem (Japan, s. Ōno 1993).

Problemanalyse

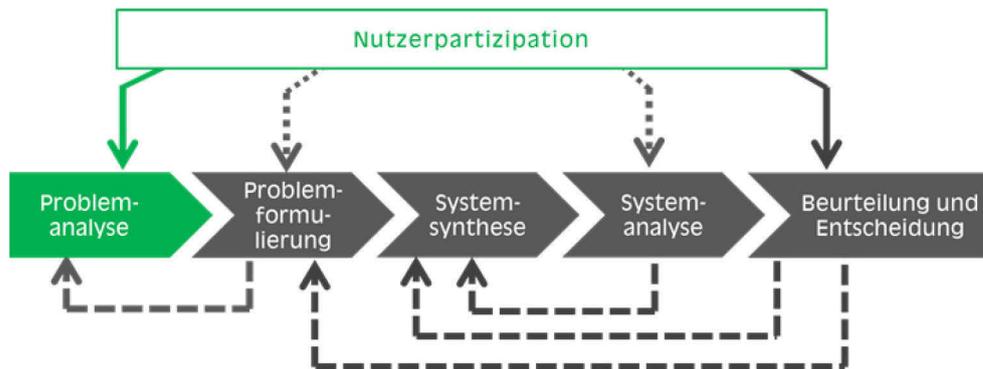


Abbildung 7-1: Erste Phase von NuGASt zur Anwendung innerhalb des Projekts BoP

Zur Problemanalyse (s. Abbildung 7-1) wurden im Werk mehrfach Begehungen durchgeführt, umfangreiche Foto- und Videodokumentationen angefertigt und einzelne Werker über einen längeren Zeitraum während der Schicht begleitet und beobachtet (sog. teilnehmende Beobachtung). Zusätzlich wurden nach dem Ende der Schicht noch Interviews geführt, die sich an einem Leitfragenkatalog orientierten. Dieser wurde vorab mit Vertretern der Werksleitung und des Projektteams gemeinsam erarbeitet.

Leitfragenkatalog (Auswahl, bezogen auf die Informationsschnittstellen):

1. Warum reagiert der Mensch nicht auf die Technik?
2. Wie reagiert der Mensch auf die Technik, was sind auslösende und hemmende Faktoren?
3. Wie werden Entscheidungen generiert?
4. Wie wären technische Systeme als Hilfe zur Entscheidungsfindung sinnvoll und inwieweit würden sie auf Akzeptanz treffen?
5. Wie müssen Art und Umfang von Informationen gestaltet sein, damit sie die Verarbeitungskapazitäten der Werker nicht überlasten?
6. Wie flexibel sind die vorhandenen Informationsangebote einsetzbar?
7. Trifft eine geänderte Informationsdarbietung auf eine erhöhte Akzeptanz beim Werker?

Durch die Beobachtung und Befragung der Werker wurden innerhalb der Problemanalyse zuerst die Art und Häufigkeit der genutzten Informationsschnittstellen erhoben. Dabei konnte festgestellt, dass fast ausschließlich auf

visuell basierte Schnittstellen zurückgegriffen wird, obwohl zumindest teilweise auch die Möglichkeit zum Informationsaustausch bzw. Rückkopplung über Telefon oder PDA bestünde.

Die am meisten genutzte Schnittstelle zum Informationserwerb war nach den Ergebnissen der Befragungen und den Beobachtungen das Andon-Board, des Weiteren wurden natürlich die direkt an den Maschinen und Bearbeitungszentren befindlichen und mit diesen direkt gekoppelten Bedienschnittstellen (Touchscreens, Monitore) und die auf den Maschinen und Transportstrecken befindlichen Signallampen genutzt (s. Abbildung 7-2.).



Abbildung 7-2: Informations- und Bedienschnittstellen direkt an und auf den Bearbeitungszentren (eigene Aufnahmen 2009)

Aufgrund dessen, dass die Andon-Boards die höchste Nutzungsrate aufwiesen und zudem die Displays bzw. Touchscreens an den Maschinen nicht ohne Eingriff in die Maschinensteuerung (und damit nur durch deren Hersteller) anpassbar waren, wurden die weiteren Maßnahmen ausschließlich auf eine Verbesserung der Großdisplays ausgerichtet. Trotzdem wurden innerhalb der Analyse auch Optimierungsbedarfe für die Maschinendisplays identifiziert. Diese sollen hier jedoch nicht weiter beschrieben werden und sind Inhalt des internen Berichtswesens.

In der folgenden Abbildung 7-3 sind Aufbau, Struktur und Inhalte sowie die damit verbundene farbige Kodierung bestimmter Systemzustände veranschaulicht. Die Anzeigezeile (1) besteht aus drei Reihen (Zeilen) von Zeichen mit je 16 x 480 Pixeln (Höhe x Breite), alle anderen jeweils nur aus einer Reihe.

Die einzelnen Leuchtpunkte der Matrix werden aus LED in drei Farben (rot, gelb, grün) gebildet, jedes Einzelzeichen besteht immer aus 16 x 10 Pixeln mit einem Pixel Zwischenraum zum nächsten Zeichen. Die Boards werden über eine zentrale Software angesteuert die ihren Dateninput aus der Produktionssteuerungssoftware (PSS) erhält. Diese erhält online aus der Produktionsstrecke Daten verschiedener Sensoren aller Maschinen und Bearbeitungszentren, die für die angezeigten Informationen verrechnet werden.

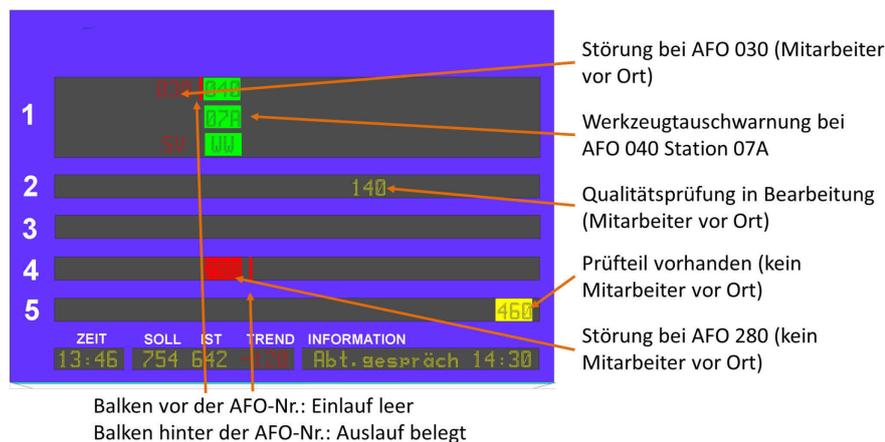
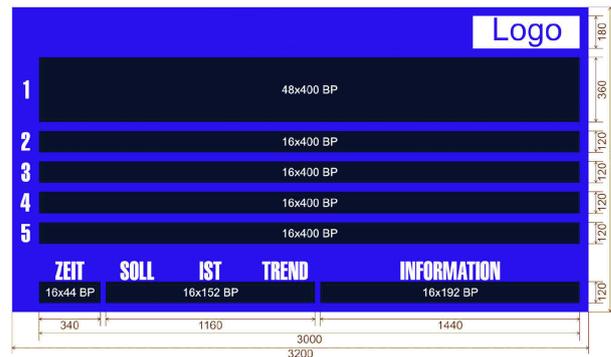


Abbildung 7-3: Struktur und Inhalte der genutzten Großdisplays (Andon-Boards) in der untersuchten Produktionsstrecke, darüber Abmessungen der angebrachten Boards

Problemformulierung

In der zweiten NuGASSt-Phase (s. Abbildung 7-4) erfolgte die Problemformulierung unter weiterer Nutzereinbindung und Rückkopplung zur Problemanalyse. Das erwies sich als sinnvoll und notwendig, da einige der in den Dokumenten (u. a. bei der Auswertung der Videodokumente) gefundenen Probleme

nochmals vor Ort überprüft bzw. mit den Werkern und Führungskräften besprochen werden mussten.

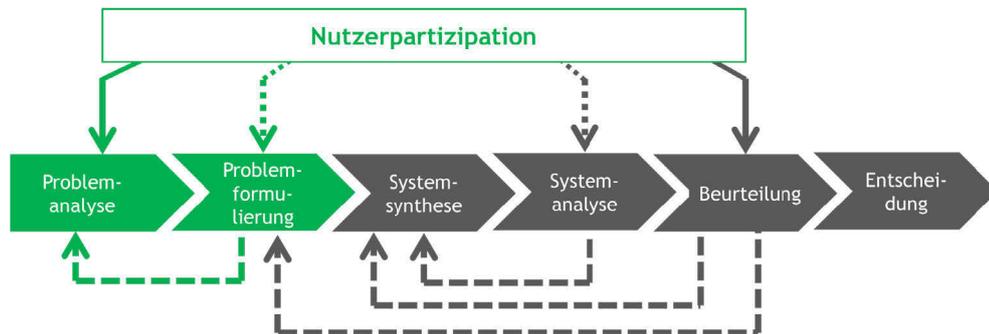


Abbildung 7-4: Zweite Phase des Konzeptdurchlaufs von NuGASSt im Projekt BoP

Durch die Analyse der Video- und Fotodokumente, Auswertung der Befragungen und Gespräche sowie Beobachtungen vor Ort konnte Optimierungsbedarf hinsichtlich einer Reihe von gestalterischen Lösungen identifiziert werden. Diese mussten nach einer Beurteilung in nicht mehr oder nicht kurzfristig behebbare Probleme und durch Optimierungsmaßnahmen veränderbare Probleme unterteilt werden. In den folgenden Abbildungen Abbildung 7-5 bis Abbildung 7-7 sind verschiedene der vorgefundenen Probleme visualisiert und kenntlich gemacht.

Die Abbildung 7-5 verdeutlicht drei verschiedene Problemkreise der Andon-Boards. Bedingt durch die Größe der Boards und das Layout der Fertigungshallen ist eine Anbringung der Boards unter Decke nicht in jedem (wünschenswerten) Bereich möglich. Damit sind sie teilweise nicht sichtbar oder werden durch Maschinen bzw. wie in Abbildung 7-5 durch Pfeiler oder Metallstreben der Dachkonstruktion verdeckt. Zweitens werden auf den großen Flächen der Boards nur dann Informationen angezeigt, wenn Fehler auftreten. Während eines fehlerfreien Ablaufs würden die Boards bis auf die Zeitanzeige und die aktuellen Stückzahlen dunkel sein. Da die Anzeige von links nach rechts fest den einzelnen Bearbeitungszentren (intern AFO genannt) zugeordnet sind, können diese Bereiche auch nicht für Zusatzinformationen zu anderen Maschinen genutzt werden. Selbst wenn Fehler an anderen AFO auftreten, werden diese Zusatzinformationen alternierend mit der Maschinenummer angezeigt. Das dritte Problem besteht in der Auswahl von Art und Umfang der angezeigten Informationen, speziell in der Wahl der Kodierung bestimmter Zustände. Obwohl die drei Grundfarben rot, gelb und grün genutzt werden,

entsprechen sie nicht dem bekannten Ampelprinzip. Damit ist der Usability-Grundsatz der Erwartungskonformität verletzt (s. 4.2.1) bzw. auch der beschriebenen und sich daraus ableitenden „Golden rules“ von SHNEIDERMAN (hier speziell Regel 1 und 8). Zudem wurde mit dieser Gestaltungslösung gegen bestehende Normen verstoßen (IEC/EN 60073 (VDE 0199), IEC/EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1) sowie DIN EN 894-4:2004-07, Anhang B).

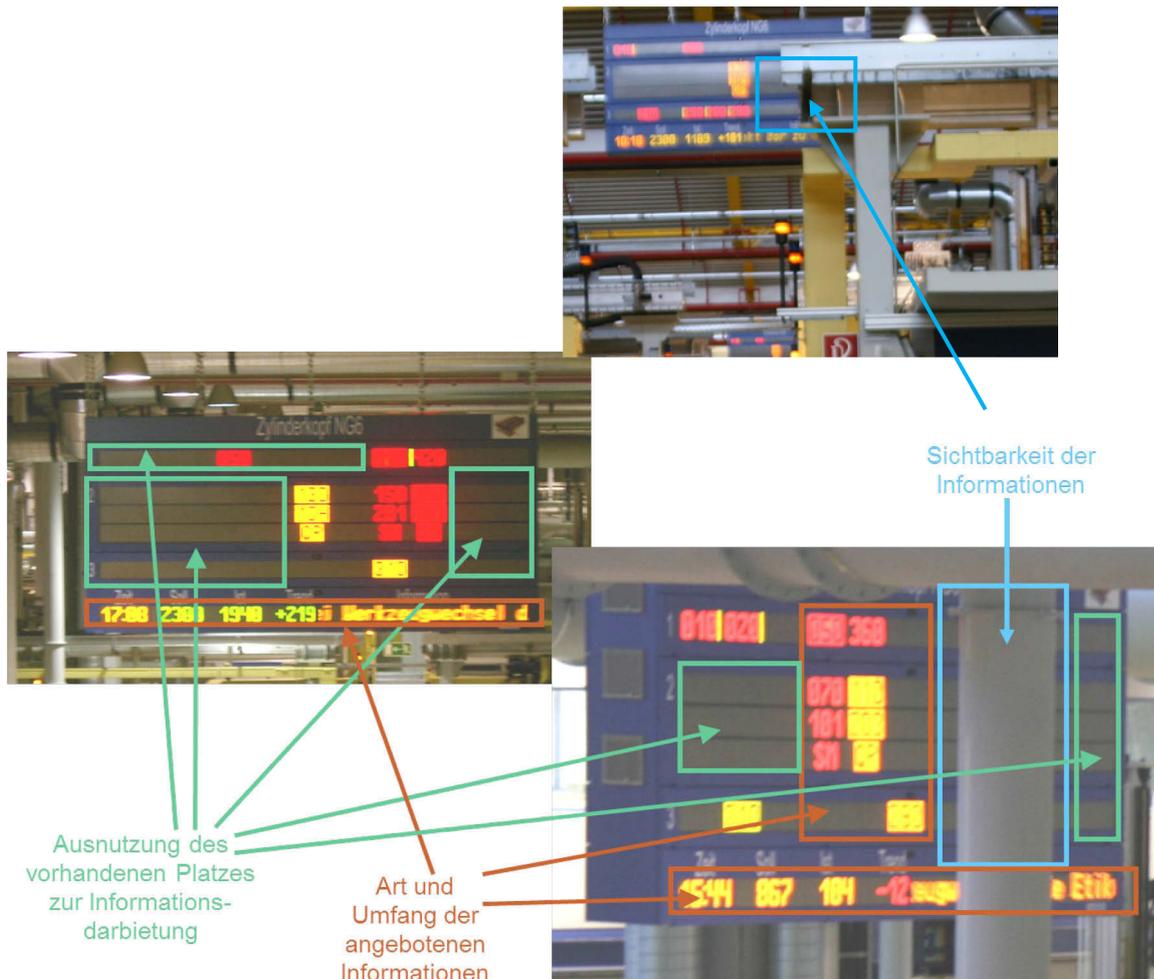


Abbildung 7-5: Visualisierung einiger der gefundenen Probleme anhand von Fotos vorgefundener Situation vor Ort

Ein weiteres, ebenfalls vor allem baulich bedingtes Problem stellt die Anbringung der Boards bezüglich Spiegelung oder Überstrahlung durch Fremdlichtquellen dar. Das kann zum einen die Hallenbeleuchtung sein, zum anderen Tageslicht aus den Oberlichtern der Fertigungshalle. Neben der tatsächlichen Spiegelung auf dem Board selbst (s. Abbildung 7-6 oben) kann es durch die

direkte Nachbarschaft zu wesentlich helleren Lichtquellen auch zu ungünstigen bis kritischen Kontrastverhältnissen kommen, wie in den unteren Beispielen der Abbildung 7-6. Durch die in der Falschfarbendarstellung des Messsystems KALIF⁵⁰ deutlich gemachte, um mehrere Größenordnungen unterschiedliche Leuchtdichten des Boards und der Fremdlichtquellen ist eine Wahrnehmung der Informationen schlecht bis gar nicht mehr möglich. Eine Korrektur dieses Problems ist jedoch nur durch eine veränderte Anbringung der Boards oder Leuchten möglich und war im Rahmen des Projekts nicht zu erreichen.

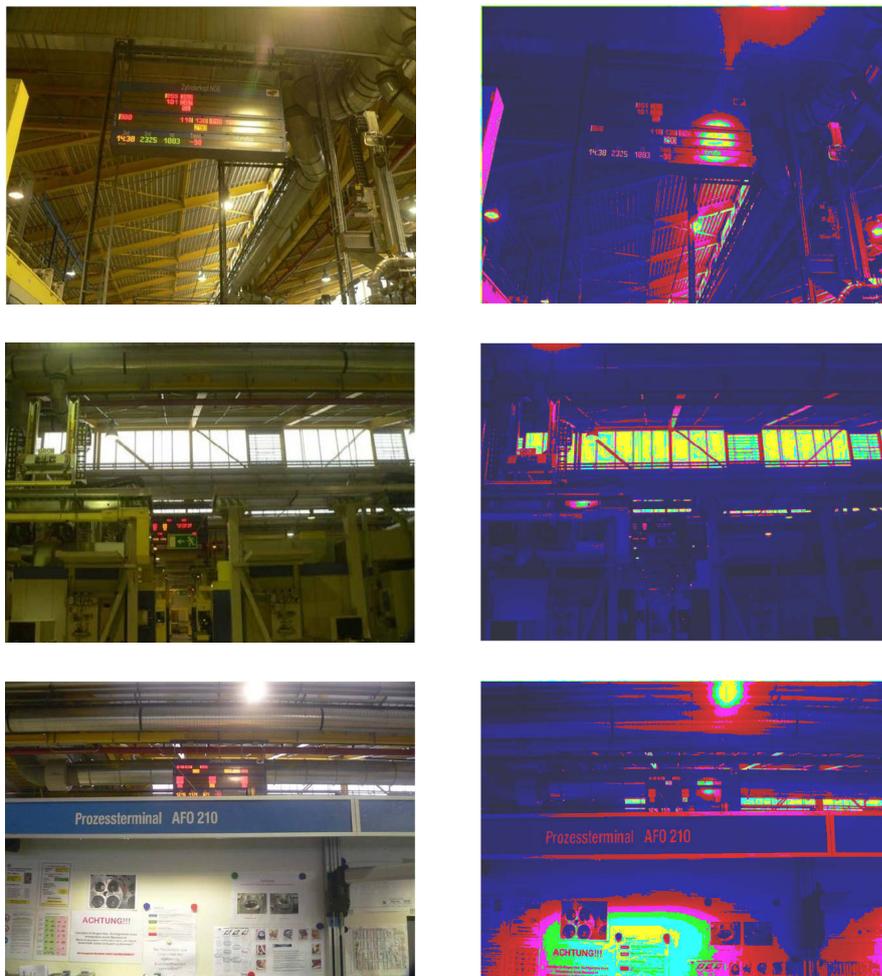


Abbildung 7-6: Beurteilung der Leuchtdichteverteilungen auf verschiedenen Boards unter Einfluss der Hallenbeleuchtung und Tageslichteinstrahlung mittels des Systems KALIF

⁵⁰ KALIF: Kamerasystem zur Leuchtdichtemessung im Feld (Akronym); im FG Arbeitswissenschaft der TU Ilmenau entwickeltes Beurteilungssystem für kritische Leuchtdichteverhältnisse

Durch die Abbildung 7-7 wird das dritte identifizierte Problem veranschaulicht, die fehlende Berücksichtigung möglicher vorhandener Defizite der Nutzer des Boards. Auch hier wurde wiederum gegen ein Gestaltungsprinzip verstoßen (Informationen dürfen nicht ausschließlich durch Farbe kodiert werden), was zu einem Informationsverlust für Farbfehlsichtige führt. Unter der Annahme, dass etwa 10 % der männlichen Bevölkerung betroffen sind, bedeutet das, acht bis zehn Werker in diesem Teil der Produktion können die dargebotenen Informationen nicht adäquat wahrnehmen (eine tatsächliche Erhebung wurde nicht vorgenommen, da hierzu der Betriebsrat nicht eingewilligt hat).



Abbildung 7-7: Simulierter Seheindruck der Anzeigen eines Andon-Boards für einen Farbfehlsichtigen mit deutlich erkennbarem Informationsverlust (rechts oben deuteranop, rechts unten tritanop)

In der dritten Phase (s. Abbildung 7-8) sollten innerhalb der Synthese prototypische Lösungen für die drei Probleme Informationsanordnung, -inhalte und -kodierung gefunden werden. Diese Lösung musste so beschaffen sein, dass sie unter Nutzung der vorhandenen technischen Ausstattung genutzt werden kann und auf das Erfahrungswissen der Mitarbeiter aufsetzt. Da die Andon-Boards trotz der gestalterischen Defizite zum Zeitpunkt des Projektes eine hohe Akzeptanz und Nutzungsfrequenz erreicht hatten, musste die neue Lösungsvariante die grundlegenden Elemente der bisherigen Gestaltung (Farbzuordnung zu verschiedenen Fehlerarten) beinhalten. Auch die strukturelle Aufteilung sowie miteinander verknüpfte Inhalte (Anzeige auf dem Board,

wenn ein Mitarbeiter an der Maschine ist, Einlauf- oder Auslauffehler etc.) mussten sich in der neuen Lösung wiederfinden. Dasselbe gilt für die Limitierung hinsichtlich der grafischen Gestaltung (Farbanzahl, Details durch begrenzte Auflösung) durch den Aufbau der Boards selbst.

Systemsynthese

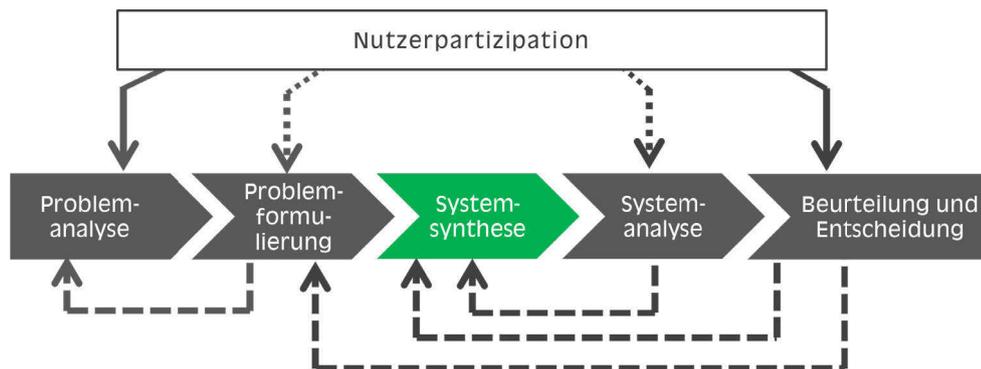


Abbildung 7-8: Dritte Phase der Anwendung von NuGASt

Die gefundene Lösung ist in der Tabelle 7-1 erläutert und zusammengefasst sowie in einem Beispiel in der Abbildung 7-9 noch einmal veranschaulicht. Es wurden eindeutig den verschiedenen Zuständen zuordenbare Symbole kreiert, die in den bereits bekannten Farben die jeweilige Fehlerart zusätzlich anzeigen. Somit existieren jetzt zwei Formen der Kodierung (über ein Symbol und über die Farbe). Außerdem wurde die Anzahl der Informationen so reduziert, dass nur noch Bearbeitungszentren auf dem Board angezeigt werden, die in der unmittelbaren Umgebung des Boards stehen und zum Zuständigkeitsbereich der dort arbeitenden Werker gehören. Die dadurch freiwerdenden Bereiche werden jetzt für die Anzeige der Zusatzinformationen genutzt, so dass keine alternierende Anzeige mehr notwendig ist. Das dient ebenfalls der schnelleren und sicheren Informationsaufnahme.

Tabelle 7-1: Zusammenfassung und Erläuterung der neu gestalteten Symbole

Symbol, Zeichen	Anzeigeort	Bedeutung	Bemerkung bzw. Erklärung
	Zeile 1	Störungsbedingter Maschinenstillstand	Bekanntes Aufmerksamkeitszeichen, verstärkt durch die Farbe und Hinterlegung
	Zeile 1	Nicht durch Maschinenstörung bedingter Stillstand	Aufmerksamkeitszeichen geringerer Priorität
	Zeile 5	„Mitarbeiter vor Ort“ (bei einer Maschine mit Werkzeugtausch, Qualitätsprüfung oder Störung)	Symbolisierter Werker durch den Helm
	Zeile 4	Einlauf leer	Der Strich als Einlauffehler ist bekannt, zusätzlich wird durch die Null das fehlende Werkstück verdeutlicht
	Zeile 4	Auslauf belegt	Ebenfalls bekannter Strich am Auslauf, Pfeil rauswärts verweist auf die Blockierung
	Zeile 1	Werkzeugbedingter Stillstand	Schraubenschlüssel als allgemeine Verdeutlichung für werkzeugbedingte Informationen



Abbildung 7-9: Beispielsituation aus der Simulation zur Anwendung der neugestalteten Andon-Boards (Nachstellung einer realen Situation unter Nutzung von Daten aus der PSS)

Die Abbildung 7-9 zeigt exemplarisch eine mögliche Situation nach der Umgestaltung der Anzeigen auf dem Andon-Board (hier auf einem Simulationsboard, wie es für die sich anschließenden Nutzertests eingesetzt wurde). Alle untereinanderstehenden Informationen sind auch zusammengehörig, da sie entweder weitere benötigte Informationen über die Störung selbst oder über betroffene Nachbarzonen (Maschinen davor oder danach) liefern.

Systemanalyse und Beurteilung

Für die Phasen Systemanalyse und Beurteilung wurde das NuGASt ohne Rückkopplungen zur Problemformulierung gewählt. Das war u. a. durch die Planung des gesamten Projektablaufs heraus erforderlich, in den die Optimierung des Andon-Boards eingebunden war. Die Systemanalyse erfolgte durch Nutzertests (s. Abbildung 7-10) an einem dafür angefertigten Simulationsboard. Dieses bestand aus einem TFT-Monitor, der mit einer Blende versehen wurde. Diese Blende entsprach genau der maßstabsgerechten Verkleinerung, Aufteilung und äußeren Gestaltung (Farbton und Beschriftung) den in der Produktionslinie befindlichen Großdisplays. Über einen PC wurde eine simulierte Situation auf dem Display dargestellt, für die reale Daten aus der PSS eines beliebig gewählten Datensatzes genutzt wurden. Zuerst bekamen die Werker diese in der gewohnten Darstellungsweise angeboten, danach in der neuen Gestaltungsvariante ohne dass sie vorher darüber informiert wurden. Damit sollte auch getestet werden, inwiefern die Werker überhaupt einen Unterschied wahrnehmen, bevor sie sich zu qualitativen Einschätzungen äußern sollten. Dafür wurde mit den Probanden direkt im Anschluss an den Test eine Fragebogenerhebung durchgeführt. Darin sollten sie sich dazu äußern, wie sie diese Veränderungen einschätzen, ob sie eine Verbesserung darstellen würden (insbesondere bezüglich der Erkennbarkeit), hilfreich ist, und ob die diese neue Gestaltung gegenüber der alten bevorzugen würden.



Abbildung 7-10: Ein Werker beim Test der neuen Andon-Gestaltung mittels Simulationsboard

Zum Abschluss der gesamten Tests wurde zusätzlich eine Mitarbeiterversammlung der in dieser Schicht arbeitenden Werker (ca. 10 min Dauer) abgehalten, in der noch einmal allen die Änderungen kurz vorgestellt wurden und die Meinungen dazu aufgenommen wurden.

Zur Beurteilung als abschließendem Schritt des NuGASt-Konzeptes wurden die Fragebögen und Videoprotokolle ausgewertet. Die geäußerten Meinungen aus der Versammlung wurden nicht quantitativ ausgewertet, sondern nur in der Grundaussage mit den Ergebnissen der Tests verglichen (das war eine Forderung des Betriebsrats).

Umsetzungswünsche

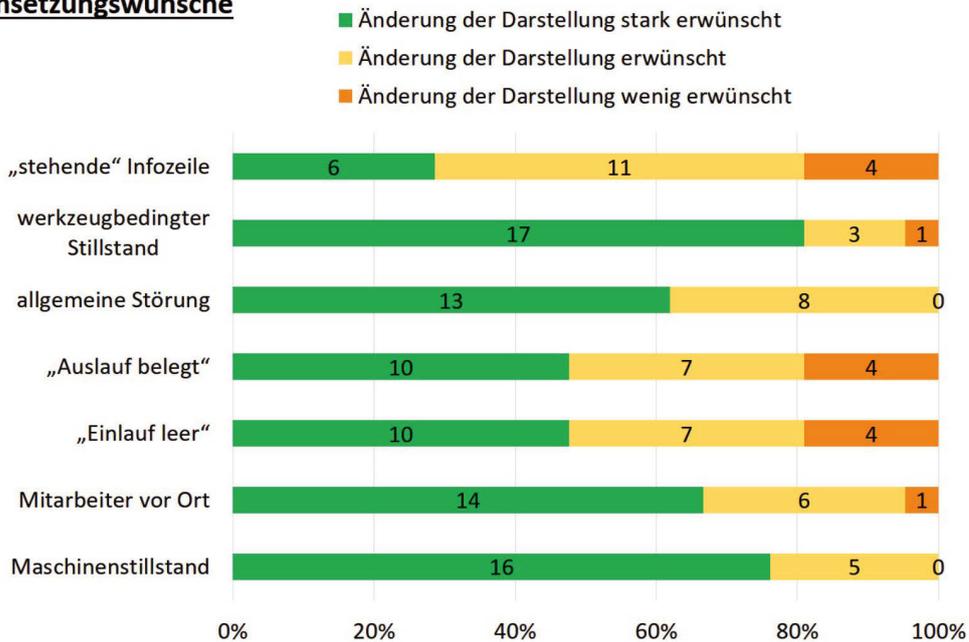
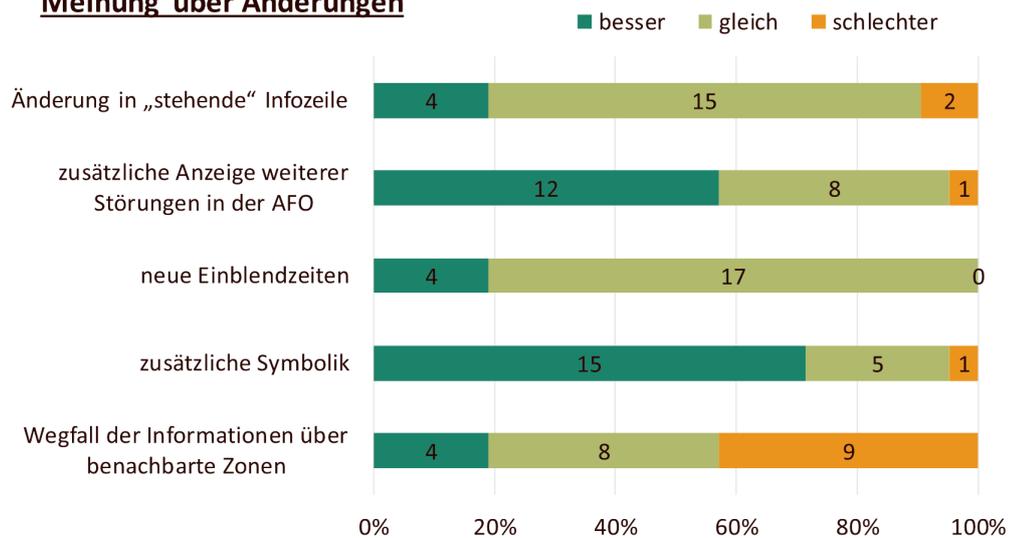


Abbildung 7-11: Ergebnisse der Nutzertests am Simulationsboard zur Überprüfung der Neugestaltung der Anzeigen (auszugsweise)

Meinung über Änderungen



Erkennbarkeit

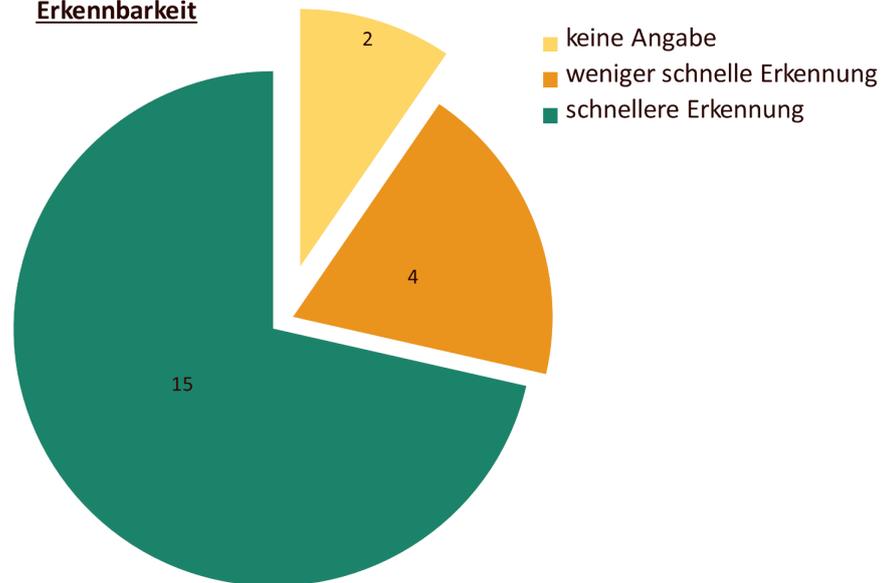


Abbildung 7-12: Ergebnisse der Nutzertests am Simulationsboard zur Überprüfung der Neugestaltung der Anzeigen (auszugsweise)

Im Ergebnis dieser Auswertungen, wie sie auszugsweise in der Abbildung 7-11 und der Abbildung 7-12 zusammengefasst sind, konnte ein klares Votum der Werker für die neue Gestaltungslösung ermittelt werden. Neben der verbalen Zustimmung, die in der Mitgliederversammlung geäußert wurde, belegen die Ergebnisse der Fragebogenauswertung, dass die Mehrheit der Werker alle der vorgestellten Änderungen begrüßen, überwiegend sogar stark die Umsetzung auf dem realen Board wünschen (s. Abbildung 7-11). Ähnlich war die

Zustimmung, dass die Neuerungen eine Verbesserung gegenüber der bisherigen Gestaltungslösung darstellen. Besonders stark betraf das die Verlängerung der Einblendzeiten der einzelnen Informationen und die neu verwendeten Symbole (s. Abbildung 7-12 oben). Beides führt zu einer verbesserten Erkennbarkeit (und damit kognitiven Entlastung bzw. schnelleren Reaktion der Werker). Die verbesserte Erkennbarkeit wurde auch explizit von den Probanden benannt (s. Abbildung 7-12 unten).

Mit der Auswertung der Nutzertests und Befragungen war die Beurteilung abgeschlossen, die Ergebnisse lieferten die Grundlage für die Entscheidungsfindung durch den Auftraggeber des Projekts. Die Entscheidung selbst war nicht mehr Projektbestandteil, wäre aber aufgrund der positiven Ergebnisse zugunsten der neugestalteten Variante gefallen. Eine entsprechende Empfehlung erging auch an den Projektpartner.

7.1.2 Aufbau einer taktil-haptischen Vibrationsschnittstelle zur Informationsvermittlung und Aufmerksamkeitssteuerung für sensorisch eingeschränkte Nutzer („Vibro-Gurt“)

Problemanalyse

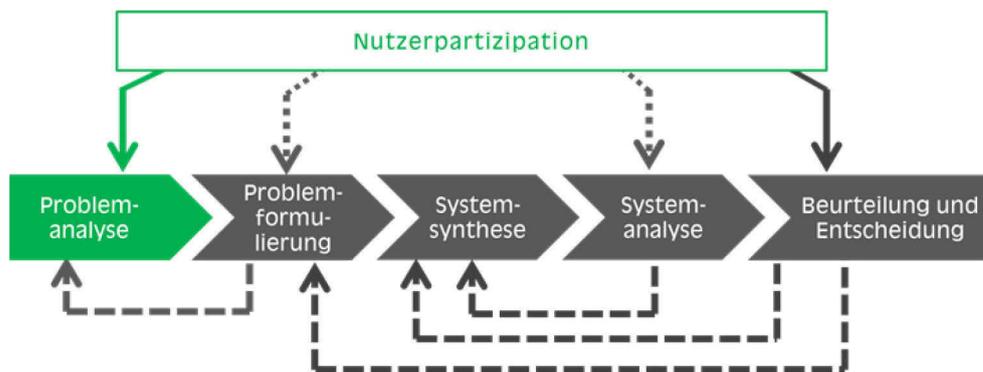


Abbildung 7-13: Problemanalyse der genutzten sensorischen Kanäle zur Informationsvermittlung für eine Aufmerksamkeitssteuerung in unterschiedlichen Aufgabenkontexten verschiedener Nutzergruppen

Im Projekt TAS (s. 6.1.4) wurde durch die enge Zusammenarbeit mit sensorisch eingeschränkten Nutzern von Informationsschnittstellen die Notwendigkeit zur Informationsvermittlung über mehrere Sinneskanäle erkannt und in den Entwicklungen der Endgeräte berücksichtigt. Dafür besitzt vor allem der haptische Kanal (s. 3.1.2) eine große Bedeutung, da er in der Regel noch nicht

genutzt wird bzw. zumindest in der sensorischen Kapazität noch nicht ausgelastet ist. Ähnliche Erfahrungen konnten innerhalb des Projektes BoP (s. 7.1.1) bei der Beobachtung und Analyse der Werker in einer Produktionshalle gesammelt werden. Hier besteht die Notwendigkeit der Verlagerung von Informationen nicht im Ausgleich von vorhandenen Defiziten, sondern in der Nutzung eines nicht durch die Umgebungsreize bereits überlasteten sensorischen Kanals. Da es aus Nutzersicht schwierig umsetzbar und aus Gründen der Einfachheit und Lernförderlichkeit auch nicht sinnvoll ist, größere haptisch kodierte Vokabulare zu lernen, können durch Vibrationsreize zur Nutzung des haptischen Kanals nur eingeschränkte Informationsumfänge übertragen werden. Das ist aber trotzdem sinnvoll zur Aufmerksamkeitssteuerung nutzbar, was u. a. bei Smartphones durch den Vibrationsalarm genutzt wird.

Innerhalb der NuGAS-Problemanalyse wurde neben dem Aufgabenkontext auch nochmals eine tiefere Betrachtung der potentiellen Nutzer einer Vibrationschnittstelle durchgeführt.

Betrachtung der potentiellen Nutzer (Nutzeranalyse):

Prinzipiell ist durch die sensorische Ausstattung jeder Mensch als potentieller Nutzer einer Informationsschnittstelle auf der Basis von Vibrationen zu sehen. Einzig durch eine pathologisch herabgesetzte Wahrnehmung von Druck- bzw. Vibrationsreizen oder der durch eine Dermatitis, Psoriasis o. ä. anderer Hauterkrankung hervorgerufene notwendige völlige Verzicht auf direkt berührende Schnittstellenkomponenten ist hierbei ein Ausschlusskriterium für mögliche Nutzer.

Die durch Gerontologen häufig beschriebene, mitunter stark heraufgesetzte Reizschwelle für taktile (mechanische) Reize bei älteren bzw. hochaltrigen Personen stellt prinzipiell keinen Ausschlussgrund dar, da über die Wahl der Arbeitsparameter der Vibrationsgeber und der gereizten Körperareale eine Anpassung an veränderte Reizbedingungen möglich ist. Das ist auch für taktilsensorisch nicht beeinträchtigte Personen notwendig, da u. a. durch verschiedene Umgebungsbedingungen mit der daraus notwendigen Anpassung der Bekleidung völlig andere Übertragungseigenschaften existieren. Diese sich in einer zusätzlichen Signaldämpfung äußernden geänderten Bedingungen müssen natürlich auch ausgeglichen werden, was in der Regel über eine Anhebung der Signalamplitude erfolgt.

Durch die Nutzeranalyse und Vorerfahrungen aus früheren Untersuchungen war klar, dass ein Einsatz besonders für sensorisch eingeschränkte Personen in Betracht zu ziehen ist. Diese haben auf der einen Seite die Notwendigkeit ihr Defizit zu kompensieren. Liegt das im Bereich der am stärksten für die Interaktion genutzten sensorischen Kanäle Gesichtssinn und/oder Gehör, so bleibt nur noch der taktil-haptische Kanal für eine Informationsvermittlung bzw. –wahrnehmung. Das wird durch die Betroffenen häufig auch ohne entsprechende explizite technische Komponenten bereits so gehandhabt. Andererseits haben besonders diejenigen, die sehr frühzeitig (angeboren oder frühkindlich) durch einen sensorischen Ausfall betroffenen sind, eine häufig stärkere Ausprägung der sensorischen Restfähigkeiten wie z. B. eine Verringerung der Zweipunktschwelle an den Fingern (und zwar an allen Fingern, nicht nur der zum „Lesen“ von Braille-Zeichen genutzten, s. Röder und Rösler 2001).

Weitere potentielle Nutzer ergeben sich wie bereits oben angegeben in Arbeitsumgebungen mit hohen Belastungen für einzelne sensorische Kanäle (hohe Schallpegel, stark wechselnde Helligkeiten oder generell hohes Helligkeitsniveau usw.), aber auch für alle Nutzer die eine möglichst unauffällige, wenig kompromittierende Informationsvermittlung wünschen oder aus ihrem Aufgabenkontext heraus benötigen.

Ableitung von Einsatzmöglichkeiten und -gebieten (Aufgabenanalyse)

Ein breites Einsatzspektrum für taktile Informationsschnittstellen auf der Basis von Vibrationen bietet sich überall da, wo aufgrund der Arbeitsaufgabe und/oder Arbeitsumgebung eine starke Be- bzw. sogar Überlastung unserer primären Sinneskanäle gegeben ist. Das gilt vor allem für Bereiche mit hohem Umgebungslärm (Produktionshallen, Kraftwerke, Bereiche mit Verkehrslärm, Seefahrt und Bohrinseln, Bergbau u. v. a. m.) wie auch für Aufgaben mit hoher sensorischer Belastung; evtl. sogar gepaart mit hoher Monotonie der Aufgabe (Prüfplätze, Warten und Leitstände o.ä.) oder mit hoher kognitiver Belastung (z. B. für Fahrzeugführer, Piloten, Schutz- und Sicherheitskräfte, Katastrophenschutz etc.)

In allen diesen angeführten Einsatzfällen bringt eine Vibrationsschnittstelle, wie die hier die vorgeschlagene, eine Entlastung der bereits stark be- oder bereits vollständig ausgelasteten anderen verfügbaren sensorischen Kanäle. Häufig stellt sie sogar die einzige Möglichkeit dar, um überhaupt noch eine zusätzlich wahrnehmbare Information übermitteln zu können. Damit kommt diesem Weg der Informationsvermittlung auch ein hoher Sicherheitsaspekt zu, da er eine hervorragende Backuplösung für Informationen hoher Priorität in einem System hierarchisch gegliederter Informationsstrukturen darstellt.

Physiologisch und technisch determinierte Grundanforderungen an eine Vibro-Schnittstelle (Anwendung genereller Designprinzipien)

Aus den in Kapitel 3.1.2 gemachten Ausführungen zur haptischen Wahrnehmung wird klar, dass durch die unterschiedliche Verteilung der Mechanorezeptoren über die Körperoberfläche und deren ebenfalls unterschiedliches Reiz-Antwort-Verhalten, die Sensibilität gegenüber mechanischen Reizen wie z. B. Vibrationen in Abhängigkeit des Reizortes variiert (vgl. Abbildung 7-14). Mit diesen Werten kann der Abstand der Vibrationsaktoren festgelegt werden, indem für einen durch den Anwendungsfall bestimmten Reizort der Mindestabstand gerade etwas größer als die dort bestimmte Zwei-Punkt-Schwelle⁵¹ gewählt wird. Der Wert dieser Zwei-Punkt-Schwelle wird in verschiedenen Quellen unterschiedlich angegeben, gegenüber 43 mm für den Rückenbereich aus (Weinstein 1968) liegt er bei (Schmidt et al. 2005) und Balint (1963) bei 70 mm und bei (Schneider 1964) zwischen 60 mm und 70 mm.

⁵¹ Die Zweipunktschwelle: eigentlich Zwei-Punkte-Diskriminationsschwelle, ist der Abstand zweier Tastspitzen auf der Haut, der gerade noch als getrennt wahrgenommen werden kann. Dabei kann das Aufsetzen gleichzeitig (simultan) oder nacheinander (sukzessiv) erfolgen, wobei die simultane Schwelle ca. viermal höher liegt.

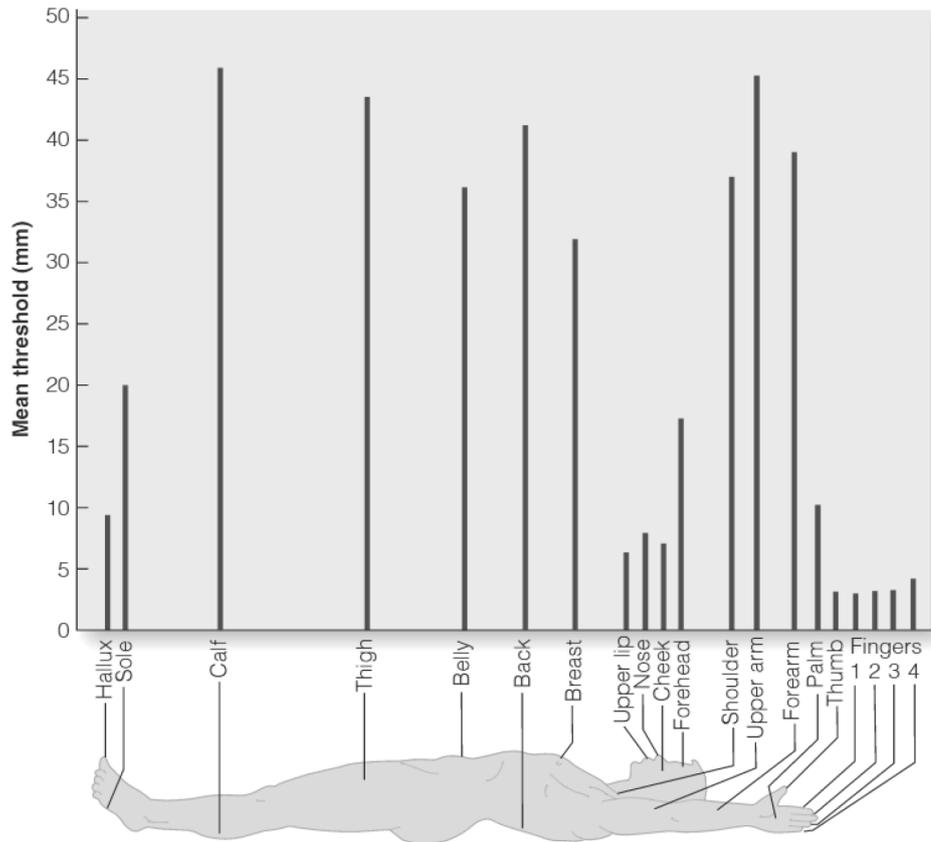


Abbildung 7-14: Darstellung der über die Körperoberfläche unterschiedlich ausgeprägten Sensibilität der Mechanorezeptoren anhand der Zwei-Punkt-Schwelle (Weinstein 1968, aus Goldstein 2010, S. 368)

Außerdem besteht zusätzlich eine Abhängigkeit der wahrgenommenen Reizstärke von der Reizfrequenz, auch jeweils unterschiedlich für die verschiedenen Rezeptortypen, wie aus der folgenden Abbildung 7-15 ersichtlich ist. Da die FA-II-Rezeptoren (Vater-Paccini-Körperchen) am besten auf Vibration reagieren, ergibt sich aus dieser Darstellung eine optimale Reizfrequenz von 200 Hz.

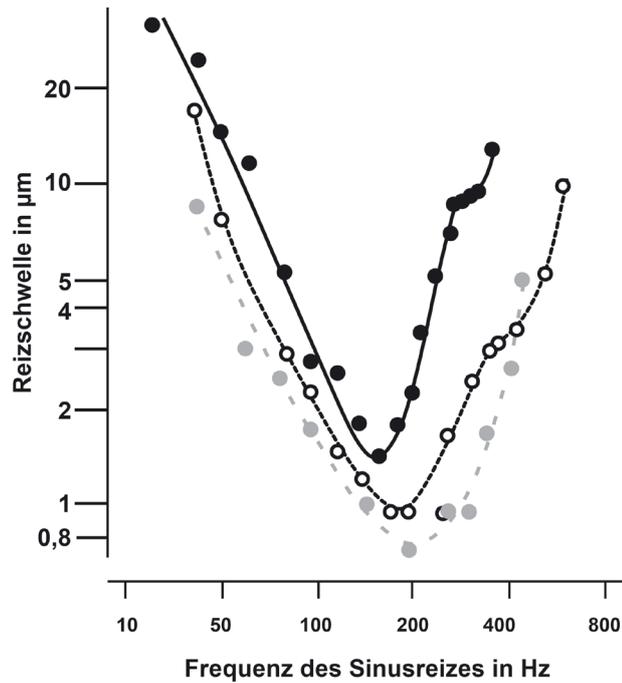


Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Schwellenreizstärke dreier Pacini-Rezeptoren von der Reizfrequenz (eigene Darstellung nach Schmidt et al. 2005, S. 302)

Problemformulierung und Systemsynthese

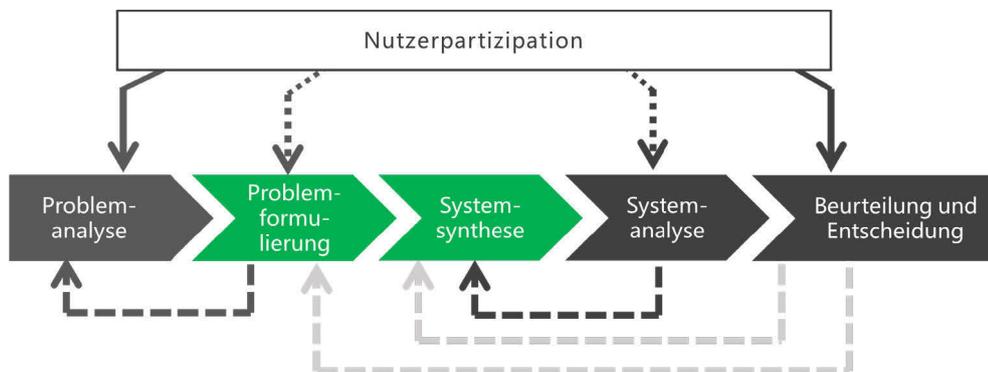


Abbildung 7-16: Zusammenfassung der Phasen Problemformulierung und Systemsynthese bei der Entwicklung des Vibro-Gurtes

Bereits während der Nutzerbefragungen und Recherchen zu marktverfügbaren Technologien für Blinde und Sehgeschädigte im Projekt TAS (6.2.1) wurde mit dem kanadischen Blinden-Navigationssystem Trekker[®] ein Gerät mit Vibrationsschnittstelle (zusätzlich zur Audioausgabe) gefunden. Da auch einer der

Befragten Erfahrungen mit diesem Gerät hatte, konnten dabei bereits erste Anforderungen bestimmt werden. Über die weiteren Analysen des Aufgaben- und Nutzungskontextes wurden die folgenden grundlegenden Anforderungen an eine solche Informationsschnittstelle festgelegt (Problemformulierung wie in Abbildung 7-15):

- Reizort (also der Applikationsort der Schnittstelle) in einem Bereich des Körpers, der unauffällig bzw. unsichtbar bleibt und selbst wenig mechanischer Belastung ausgesetzt ist
- Keine räumliche Überdeckung anderer Sinnesorgane⁵²
- Einfache Kombinations- und Integrationsmöglichkeit mit Alltagsgebrauchsgegenständen (vor allem Kleidung)
- Freiheit der Hände
- Nutzungszeit länger als vier Stunden (entspricht einer längeren Wanderung bzw. einer halben Arbeitsschicht im Arbeitsprozess)
- Einsatzmöglichkeit im Outdoorbereich (Wanderungen, Freizeit und Hobby, Schutz- und Sicherheitsdienste, Katastrophenschutz)
- Stimulation weit unterhalb der Schmerzschwelle
- Möglichkeit zur Vermittlung verschiedener Informationen (Bildung einer einfachen Semantik)
- Robustheit gegenüber Einflüssen durch den mobilen Einsatz (u. a. Sicherung gegen Verrutschen oder Verlieren)
- Einstellbare Reizfrequenz und -amplitude
- Alle elektrischen Kenngrößen im Bereich der Sicherheitskleinspannung⁵³ (Sicherstellung durch Versorgung mit Kleinakkumulatoren ohne zusätzliche Komponenten zur Spannungserhöhung)

In Umsetzung des Anforderungskatalogs und unter Nutzung der Erkenntnisse aus der Problemanalyse über die Verteilung der Zwei-Punkt-Schwelle und optimalen Reizfrequenz wurde als Applikationsort der untere Rumpfbereich etwa in Höhe der Wirbel Th12-L1 (Übergang der Brust- zur Lendenwirbelsäule) festgelegt. Dieser Bereich ist mit am häufigsten von Kleidung bedeckt

⁵² Im Gegensatz zu einem haptischen Zungendisplay, welches von Forschern der University of Wisconsin in Madison entwickelt wurde.

⁵³ Sicherheitskleinspannung (engl. Safety Extra Low Voltage, SELV) s. DIN EN 61140 (VDE 0140-1) < 42 V

und gleichzeitig wenig mechanisch belastet. Eine Beeinträchtigung könnte lediglich im Sitzen (beim Anlehnen) erfolgen.

Als Basis für die Schnittstelle wurde ein verstellbarer Umschnallgurt aus dehnbarem Material gewählt, da dieser zum einen an beliebige Nutzer anpassbar ist und zum anderen auch durch die Flexibilität bei allen Bewegungen am Körper anliegt. Damit sind sichere und nahezu unveränderliche Übertragungsbedingungen für die Vibrationen auf die Hautoberfläche gewährleistet. Zudem ist ein entsprechender unter der Bekleidung getragener Gurt kaum zu bemerken.

Auf der Innenseite des Gurtes (mit Ausnahme Überlappung im Verschlussbereich) wurden 20 zylindrische Gleichspannungs-Vibrationsmotoren (wie in Abbildung 7-16 oben) befestigt. Solche sog. ERM-Motoren⁵⁴ erzeugen die Vibrationen durch ein exzentrisches Massestück auf der Antriebswelle des Motors. Die Vibrationsfrequenz ist damit proportional zur Drehfrequenz des Motors und wird nur durch den fließenden Strom und die Windungszahl bestimmt. Damit ist der einzige Stellparameter die am Motor angelegte Spannung. Außerdem steigt mit der Spannung auch die Vibrationsamplitude proportional an (s. Kennlinie eines Vibrationsmotors laut Herstellerdatenblatt im Anhang G). Solche Motoren sind üblicherweise als haptisches Feedback in Gamekonsolen und in Miniaturausführungen auch in Smartphones verbaut.

⁵⁴ ERM-Motor: excentric rotating mass motor, engl. Abkürzung für Motor mit exzentrisch rotierender Masse

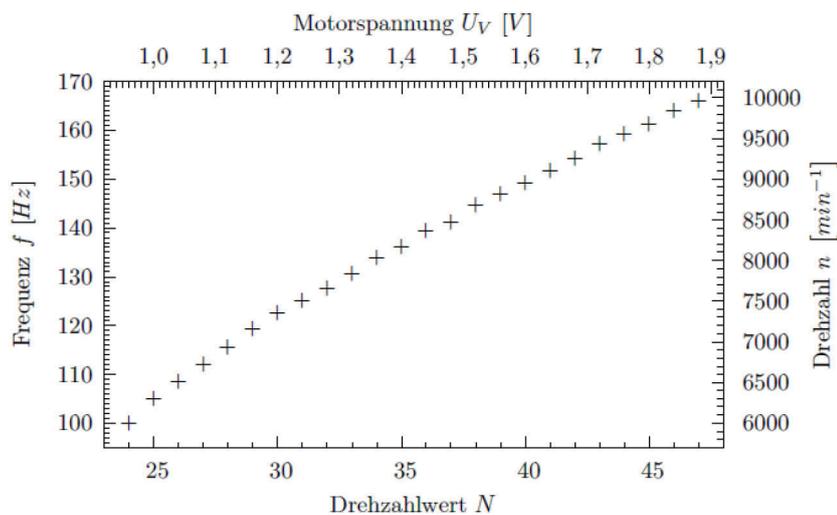
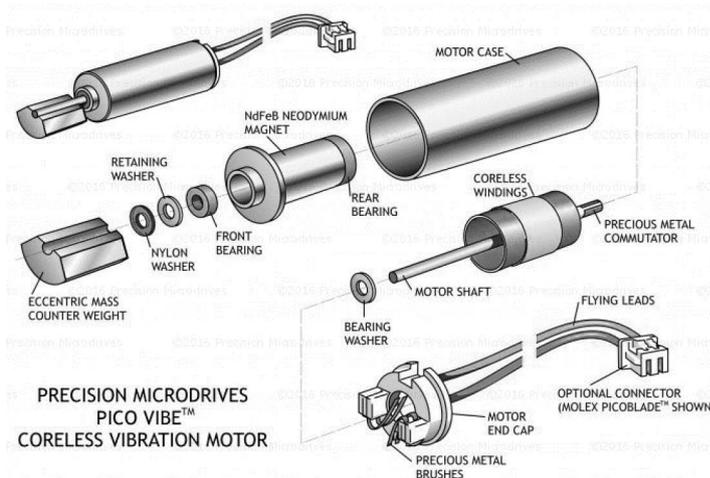


Abbildung 7-17: oben: prinzipieller Aufbau der genutzten ERM-Motoren in Zylinderkapselung (Quelle: [Precision Microdrives]), unten: aufgenommene Kennlinie eines Motors (Bestimmung mittels Frequenzanalyse)

Da die Motoren in direkten Hautkontakt kommen können, sind neben den Anforderungen zur adäquaten Reizvermittlung auch thermische Bedingungen einzuhalten, damit es nicht zu Verbrennungen durch lokale Überhitzung der Hautkontaktstelle kommt. Laut der Norm DIN EN ISO 13732-1 (2006) gilt für direkten Hautkontakt zu metallischen Oberflächen bei Langzeitberührung 43°C als Obergrenze zum Schutz vor Verbrennungen. Deshalb wurde eine Temperatur von 42°C als Maximum festgesetzt und die Motoren daraufhin getestet. Im Mittel von 30 Messungen wurde diese Temperatur nach 62 s Dauerbetrieb für die höchste einstellbare Betriebsspannung erreicht. Aufgrund der Einsatzbedingungen (kein Dauerbetrieb, Betrieb mit niedrigerer Spannung als im Testfall) kann der Einsatz der Motoren als sicher angenommen werden.



Abbildung 7-18: Vibro-Gurt mit 20 Motoren und elektrischen Anschlüssen (eigene Aufnahmen)

Zum Abschluss der Entwicklung des Vibro-Gurtes (s. Abbildung 7-18) wurden Funktionstests durchgeführt, in denen die für eine optimale Reizamplitude notwendigen Spannungswerte (und daraus abgeleitet die in der Software abzulegenden digitalen Werte zur Ansteuerung des Mikrocontrollers) ermittelt wurden.

Nutzertests zur Evaluation der Vibro-Schnittstelle

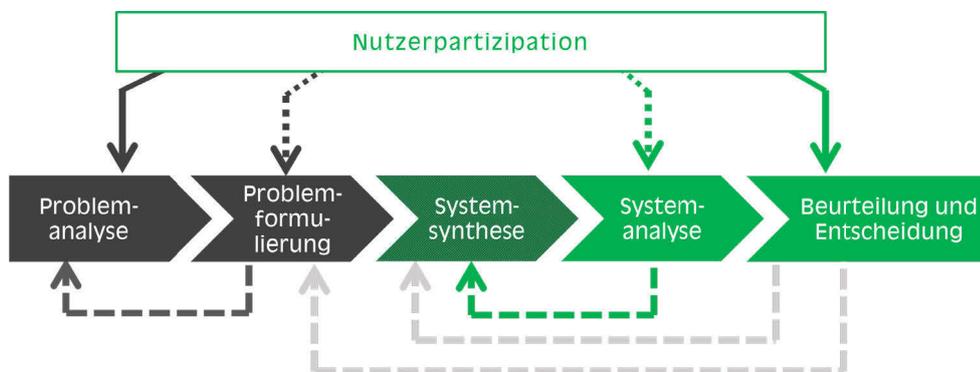


Abbildung 7-19: Systemanalyse und Beurteilung als Abschluss der NuGASt-basierten Schnittstellenentwicklung

Für die Analyse des entwickelten Prototyps und zur anschließenden Beurteilung wurden Nutzertests mit 30 Probanden (10 w / 20 m) durchgeführt (s. Abbildung 7-20). Dabei wurden zuerst die Annahmen für die Wahl der Parameter (Applikationsort, Reizstärke, Motorabstände) und anschließend in einem weiteren Test verschiedene Muster und deren Erkennbarkeit überprüft.



Abbildung 7-20: Proband mit Vibro-Gurt während der Nutzertests

In den Parametertests konnten die Literaturangaben zur Zwei-Punkt-Schwelle bestätigt werden. Eine sichere Erkennung der Vibrationsmotoren war ab einem Mindestabstand von 70 mm gegeben (s. Anhang G). In einem weiteren Test zur grundsätzlichen Tolerierbarkeit der Reize als Grundvoraussetzung für die Anwendung als Informationsträger wurde festgestellt, dass die Vibrationen überall im Bereich unterhalb der Schmerzgrenze liegen und grundsätzlich durch alle Probanden an allen Reizorten tolerabel sind. Tendenziell war bei zwei Probanden der Trend erkennbar, dass in der Nähe der Wirbelsäule bzw. generell auf dem Rücken (Motoren Nr. 10 bis 17, Anordnung s. Abbildung 7-21 links) ein leichtes Unbehagen gegenüber dem sonst empfundenen Kitzeln verspürt wurde, ohne dass jedoch der Test abgebrochen werden musste.

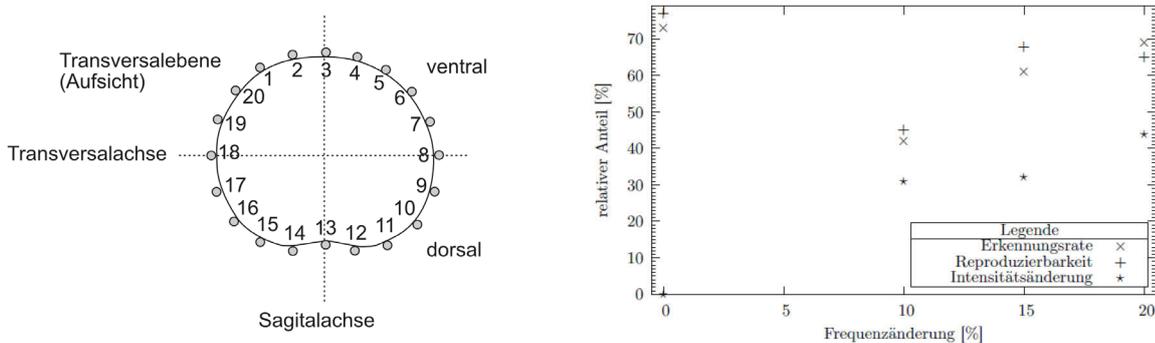


Abbildung 7-21: Anordnung der 20 Vibrationsmotoren am Vibro-Gurt bezüglich des Körperumfangs (links); Erkennungsrate von Frequenz- und Intensitätsänderungen der Motoren (rechts)

Im Test zur Wahrnehmbarkeit von Frequenz- und Intensitätsänderungen⁵⁵ der Vibration konnte ermittelt werden, dass Frequenzänderungen von 10 % von weniger als 50 % der Probanden erkannt wurden, bei $\Delta f = 15 %$ lag die Erkennungsrate bereits bei 60 % und $\Delta f = 20 %$ wurden 70 % richtig erkannt. In gleichem Maße stieg die Erkennungsrate für die Intensitätsänderung nur von 30 % auf ca. 45 % an (s. Abbildung 7-21 rechts).

Der wichtigste Teil der Nutzertests betraf die Untersuchung, inwieweit die mittels des Vibro-Gurt vermittelten Vibrationsreize für Navigationsaufgaben geeignet sind. Dazu wurden im Vorfeld 20 Muster ausgewählt und in der Ansteuerungssoftware abgelegt. Zu diesen Mustern wurden mögliche Aktionen der Nutzer definiert, die durch das jeweilige Muster ausgelöst werden sollen. Ein gleichartiger Test wurde für die Aufmerksamkeitssteuerung (Gefahrenhinweis und Annäherung an ein Objekt) mittels acht ausgewählten Mustern durchgeführt. Den Probanden wurde die mögliche intendierte Bedeutung der ausgewählten Muster nicht mitgeteilt, sie sollten diese jeweils ihrer Empfindung nach den Bedeutungen „links“, „rechts“, „vor“, „zurück“ und „Stopp“ zuordnen. Zusätzlich konnte die Antwortmöglichkeit „unklar“ gewählt werden, wenn kein Reiz erkannt oder keiner anderen Möglichkeit zugeordnet werden konnte. Für die Aufmerksamkeitstests standen die Antwortmöglichkeiten „Gefahr“, „Annäherung“ und „unklar“ zur Auswahl.

Tabelle 7-2: In den Nutzertests gefundene Erkennungsraten für drei verschiedene Muster zur Aufmerksamkeitssteuerung (rechts jeweils die aktivierten Motoren)

Anweisung	Muster	Erkennungsrate [%]	Motoren
Gefahr	3	97	
	5	90	
Annäherung	4	70	

⁵⁵ Frequenz und Intensität sind bauartbedingt immer miteinander gekoppelt, vgl. Kennlinie im Anhang G

Im Ergebnis dieses Testteils konnte die Eignung des Vibro-Gurtes für den geplanten Einsatz als Informationsschnittstelle für Navigationsaufgaben und als Orientierungshilfe belegt werden. Für jede der vier Navigationsaufgaben wurde ein nutzbares Vibrationsmuster gefunden, und mit Ausnahme der Anweisung „zurück“ erreichte jedes gefundene Muster eine Erkennungsrate von mind. 90 % oder mehr (s. Tabelle 7-3). Für die Muster zur Gefahrensignalisierung wurden ähnliche hohe Erkennungsraten realisiert (90 bzw. 97 %), lediglich für die Annäherungsinformation konnte nur ein Muster mit 70 % Erkennungsrate gefunden werden (s. Tabelle 7-2).

Tabelle 7-3: Auflistung der Erkennungsraten verschiedener Muster für fünf getestete Navigationsaufgaben (rechts die jeweils genutzten Motoren)

Anweisung	Muster	Erkennungsrate [%]	Motoren
rechts	8	97	
	20	90	
links	7	97	
	12	90	
vor	13	93	
	6	87	
zurück	2	83	
	18	90	

Die Ergebnisse der Nutzertests belegen, dass die Annahmen aus der Problemanalyse gerechtfertigt waren. Die unter Nutzung von NuGASSt entwickelte und aufgebaute Vibrationsschnittstelle ist geeignet, einen Nutzer bei Navigationsaufgaben zu unterstützen und seine Aufmerksamkeit mittels eindeutiger, intuitiv erkennbarer Signale zu steuern. Da diese Signale ohne vorherige Einweisung oder Anlernen erkannt worden sind, lässt sich schlussfolgern, dass mit der Nutzung einer so ausgestatteten Schnittstelle ein sehr geringer kognitiver Aufwand verbunden ist. Damit ist sie auch für einen Einsatz in

Situationen und Aufgabenkontexten geeignet, in denen die menschliche Informationsverarbeitung ausgelastet bzw. mit anderen Aufgaben beschäftigt ist. Die Vorgaben aus dem Anforderungskatalog wurden eingehalten, lediglich die Sicherstellung der geforderten Laufzeit wurde nicht abschließend getestet. Die zur Ansteuerung der Motoren mittels Pulswellenmodulation genutzten Motortreiber (Pololu Micro Dual Serial Motor Controller) haben im Betrieb eine Stromaufnahme von zwischen 45 mA und 51 mA, die angeschlossenen Vibrationsmotoren jeweils im Mittel aller Motoren max. 70 mA. Damit ergibt sich im ungünstigsten Fall bei Dauerbetrieb alle Motoren eine Stromaufnahme von rund 2,4 A, was für die Forderung nach einer vierstündigen mobilen Laufzeit zu viel ist. Als Alternative bietet sich hier die Verwendung stromsparenderer Motortreiber an bzw. die Ansteuerung direkt über die Ausgänge des Mikrocontrollers. Damit ist eine Stromaufnahme von $< 1,5$ A realisierbar. Das wiederum stellt bei Verwendung geeigneter LiPo-Akkumulatoren (z. B. vier Stück á 2.000 mAh gleichmäßig verteilt) aber kein Problem dar. Diese Akkumulatoren würden bei einer zusätzlichen Masse von rund 350 g auch unter Komfortaspekten tolerabel sein und den Gürtel für ca. 5 Stunden mit Strom versorgen.

7.2 Diskussion der Anwendungsergebnisse von NuGASt, Einschätzung der Potentiale des Konzepts

Mit dem aus einer strukturierten, modellorientierten Entwicklung hervorgegangenen Konzept NuGASt wurden in zwei Anwendungsfällen neuartige bzw. neugestaltete Nutzerschnittstellen entwickelt und getestet. Diese Schnittstellen für sehr unterschiedliche Aufgabenkontexte und Nutzergruppen wurden in den Evaluationen positiv beurteilt und haben das vorgesehene Entwicklungsziel erreicht.

Obwohl mit den insgesamt vier Anwendungen noch keine große Anzahl von Testfällen in die Beurteilung von NuGASt einfließen können, ist es doch bemerkenswert, dass die Nutzermeinung über die mit NuGASt entwickelten Nutzerschnittstellen durchweg positiv ausfiel. Dieser positive Effekt ist das Resultat der frühzeitigen Nutzereinbindung in den Entwicklungsprozess. Ebenso positiv aus Anwendersicht des Konzepts ist die Einfachheit des

Ablaufs und damit die Anwendung des Konzepts zu sehen. Neben der Möglichkeit, sich schnell in das Konzept einzuarbeiten und es dann zum Einsatz bringen zu können, wird durch die Einfachheit und Flexibilität (insbesondere der Möglichkeit Phasen zusammenfassen oder weglassen zu können) auch der gesamte Entwicklungsablauf beschleunigt.

Ein direkter Vergleich mit anderen Entwicklungsmodellen fällt zum jetzigen Zeitpunkt schwer, da hierfür noch weitere Anwendungen von NuGASSt notwendig sind. Sinnvollerweise sollte solch ein Vergleich bei der Entwicklung eines AS oder von Nutzerschnittstellen in einem Bereich erfolgen, wo bereits vorher andere Entwicklungsaufgaben mit dem Einsatz anderer zum Vergleich geeigneter Modelle durchgeführt wurden oder parallel stattfinden. Zum Teil trifft das zumindest auf die Andon-Boards zu, da diese bereits einen vollständigen Entwicklungszyklus durchlaufen haben und mit einer wenig für die Nutzer optimalen Gestaltung zum Einsatz gebracht worden sind. Da aber nicht bekannt ist (bzw. das nicht bekannt gegeben wurde), mit der Nutzung welcher Entwicklungsmodelle diese Großdisplays gestaltet wurden, fällt auch hier ein Vergleich schwer. Zumindest ist nach den Versuchsergebnissen belegt, dass die mit Hilfe von NuGASSt realisierte Variante auf eine deutlich höhere Akzeptanz trifft. Somit ist die Anwendung von NuGASSt für diesen Fall zumindest sinnvoll und dem anderen eingesetzten Modell überlegen.

Wie in den Entwurfszielen für NuGASSt dargelegt liegt, der Anwendungsfokus im Bereich kleiner Entwicklungsprojekte mit geringem Budget, wenig personellen Ressourcen und kurzen Laufzeiten. Die Anwendungsfelder findet man typischerweise an Forschungseinrichtungen, für Sonderentwicklungen und Kleinstserien in Betrieben ohne gesonderte Entwicklungsabteilungen.

NuGASSt ist, wie viele der anderen vorgestellten Entwicklungsmodelle auch, nicht geeignet größere Projekte zu steuern, insbesondere, wenn zu den zweckbestimmten Einsatzgebieten der nutzerbezogenen Schnittstellengestaltung auch noch wirtschaftliche Entwicklungsziele und -vorgaben zu berücksichtigen sind. Es muss auch kritisch angemerkt werden, dass bei allen Betrachtungen vor und während der Entwicklung sowie bei der Evaluation der Ergebnisse wirtschaftliche und technologische Aspekte wie z. B. Anschaffungspreis der entwickelten Schnittstellen, Wartungskosten und -aufwand, Fertigungskosten und -möglichkeiten etc. keine Berücksichtigung fanden. Insbesondere die letztlich auf den Nutzer als Kunden wirkenden Verkaufspreise spielen in

der abschließenden Akzeptanzbewertung jedoch eine große Rolle. Diese konnten aber nicht mit in das Konzept einbezogen werden. Dadurch sind in den Auswertungen der Nutzerbefragungen auch keine Anmerkungen zu wirtschaftlichen Aspekten enthalten.

Um die Potentiale von NuGASt noch besser einschätzen zu können und die möglichen Alleinstellungsmerkmale für die Anwendung in bestimmten Bereichen herausstellen zu können, ist ein direkter Vergleich mit anderen Entwicklungsmodellen notwendig. Dieser sollte wiederum in der Anwendung bei der praktischen Entwicklung von Schnittstellen erfolgen, da hier bereits erfolgreich die Anwendungsmöglichkeit von NuGASt nachgewiesen wurde. Für diesen Vergleich sind dann geeignete Benchmarks zu finden, anhand derer die Performance eingeschätzt und bewertet wird.

8 Zusammenfassung

Diese Arbeit stellt ein neues Konzept zum nutzerbezogenen Entwurf von AS und Schnittstellen vor. Bevor dieses Konzept entworfen werden kann, ist eine Beschreibung des späteren Anwendungsgebietes notwendig. Dazu werden zuerst alle für den Kontext von AS und Schnittstellen relevanten Begriffe und Definitionen vorgestellt und mit Beispielen belegt. Dadurch wird dem Leser der für das zu entwickelnde neue Konzept vorgesehene Anwendungskontext nähergebracht und verständlich gemacht. Wo die für diese Arbeit notwendigen Definitionen nicht existieren oder nicht verwendbar sind, wurden eigene Definitionen unter Nutzung der Literatur vorgeschlagen. Die Schaffung einer eigenständigen Definition war insbesondere für den Begriff des „Assistenzsystems“ notwendig. Des Weiteren wird gezeigt, dass ein AS ein Teil eines übergeordneten bzw. größeren Systems ist, dem MMS, bzw. selbst insgesamt ein solches System darstellt. Durch diese Zuordnung ist es notwendig, bei Gestaltungs- und Entwicklungsaufgaben von AS und Schnittstellen immer Kenntnisse über die technischen Strukturen und Funktionsweisen zu besitzen wie gleichzeitig gleichartige Kenntnisse über den sie nutzenden Menschen. Eine kurze Synopsis dieser grundlegenden Kenntnisse über den Menschen und die für AS relevanten bzw. notwendigen technischen Komponenten wird vorgenommen. Im Anschluss wird auf das Ziel des Neuentwurfes eingegangen, die Herstellung oder Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit (s. DIN ISO EN 9241:11) durch verbesserte Nutz- und Bedienbarkeit.

Die Motivation zur Entwicklung eines neuen Konzepts wird zu Beginn vorgestellt und im Weiteren bei Bedarf wieder aufgegriffen. Sie ergab sich vor allem aus der Problemidentifikation während der Untersuchung und Beurteilung marktverfügbarer Gestaltungslösungen für die bekannte und breit verwendete Nutzerschnittstelle „Fernbedienung“. Insbesondere die Diskrepanz zwischen der mit wenig Aufwand ermittelbaren Nutzermeinung über nahezu beliebige FB und die demgegenüber geäußerten Wünsche, führten zur Überlegung über und der Suche nach den möglichen Ursachen. Da es schwierig war, die tatsächlichen Gründe für dieses Auseinanderdriften von Gestaltungslösung und Nutzermeinung zu identifizieren, vor allem bei schon lange in Gebrauch befindlichen Produkten, wurde postuliert, dass die Ursache zumindest teilweise

in einer mangelhaften oder fehlenden Nutzerbeteiligung im Entwicklungsprozess zu sehen ist. Wie in der Arbeit gezeigt wurde, wird diese Annahme auch von anderen Autoren vertreten.

In der Auseinandersetzung mit möglichen, für die Entwicklung von Nutzerschnittstellen anwendbaren Entwicklungsmodellen, wurde eine umfassende Analyse derselben vorgenommen. Parallel dazu wurden alle nutzer- und aufgabenbezogenen Parameter für die Schnittstellengestaltung erhoben und systematisch kategorisiert. Damit wurde aus technischer Sicht eine Übersicht über die zu MMS bzw. AS gehörigen Komponenten, die wesentlichen Elemente einer Nutzerschnittstelle (Ein- und Ausgabeelemente) und deren Ausführungsformen erstellt. Aus Sicht der Nutzer dieser Schnittstellen und Systeme (MMS wie AS) würde eine Übersicht über die zur Nutzung wesentlichen Eigenschaften und Befähigungen geschaffen. Zudem wurde über die Gebrauchstauglichkeit bzw. Usability eine Grundeigenschaft technischer Systeme gefunden, die eine Bewertung der Gestaltungsgüte aus Sicht der Nutzer dieser Systeme erlaubt. In diesem Kontext wurden auch Zusammenhänge zwischen Gestaltungsgüte und Nutzerzufriedenheit diskutiert sowie auf die mögliche Messbarkeit und Beurteilung der Zufriedenheit eingegangen.

Die im Rahmen der Analysen untersuchten Modelle wurden kurz vorgestellt und Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede herausgestellt. Eine Auswahl von ihnen wurde näher untersucht, die Ergebnisse in Hinblick auf eine Nutzbarkeit zur Verwendung als Basis für ein eigenes Konzept in Form einer Bewertungstabelle verdeutlicht und mit einem Kurzfazit versehen. Zum Abschluss der Analysen wurde eine Auswahl für das neue Konzept getroffen und begründet.

Im Weiteren wird beschrieben, wie dieses neue Konzept unter Nutzung der Analyseergebnisse mittels des bekannten Problemlösungsansatzes (s. VDI 2221) entworfen wurde. Im Unterschied zu den untersuchten anderen Konzepten und Modellen ist das Kennzeichen von NuGASt eine frühzeitige Nutzereinbindung bereits vom Start einer Entwicklung an. Außerdem basieren alle Entwicklungsschritte auf Kenntnissen über die späteren Nutzer, ihren Eigenschaften und Befähigungen hinsichtlich der Nutzung des zu entwickelnden Systems. Das Konzept ist strukturell ebenfalls an den Problemlösungsansatz angelehnt, verbindet diesen aber mit Elementen anderer Entwicklungsmodelle und wird ergänzt durch flexibel einsetzbare Rückkopplungen und Nutzerbeteiligungen.

Es wird die schrittweise Herleitung des Konzepts beschrieben sowie die Überprüfung der Funktions- und Passfähigkeit des Konzepts auf die zu Beginn gestellten Ziele (Entwicklung von Assistenzsystemen und Schnittstellen), was an ausgewählten Beispielen aus Forschungsprojekten belegt wird. Die Ergebnisse der gezeigten Projekte und Evaluationen mit potentiellen Nutzern zeigen, dass durch den Einsatz von NuGASt in Projekten zur Entwicklung von Assistenzsystemen tragfähige Lösungen gefunden werden können, die auch durch die späteren Nutzer akzeptiert werden. Der Fokus der Konzeptevaluation lag jedoch nicht auf den mittels NuGASt gefundenen Gestaltungslösungen, sondern auf der prinzipiellen Anwendbarkeit für entsprechende Aufgaben, da die Lösungen selbst aufgrund der Geschwindigkeit technologischer Neuentwicklungen relativ schnell überholt sind. Wird das aber wie gezeigt berücksichtigt, können die Umsetzungsvarianten an den jeweils aktuellen technischen Fortschritt angepasst werden, indem einzelne Komponenten modular ausgetauscht werden.

Literaturverzeichnis

Andrada, Emanuel (2008): A new model of the human trunk mechanics in walking. Ilmenau: Univ.-Verl. (*Berichte aus der Biomechatronik, Bd. 1*).

Aronson, Elliot; Wilson, Timothy; Akert, RobIn Sozialpsychologie (2008): 6. Aufl. München, Boston: Pearson Studium (Psychologie).

Baggen, Robert; Hemmerling, Sabine (2000): Evaluation von Benutzbarkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In Klaus-Peter Timpe, Thomas Jürgensohn und Harald Kolrep (Hg.): *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. 1. Aufl., 2000. Düsseldorf:, 233–284.

Bailom, Franz, Hinterhuber, Hans H., Matzler, Kurt, Sauerwein, Elmar (1996): Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. *Marketing Zeitschrift für Planung* (2), 117–126.

Bálint, Peter (1963): Lehrbuch der Physiologie, mit 476 Abb. Budapest: Verlag d. Ungarischen Akademie der Wissenschaften.

Balzert, Helmut (1997): Lehrbuch der Software-Technik. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.

Bauer, Ernst W. (2006): Humanbiologie. Neue Ausg., 1. Aufl., 6. Dr. Berlin Cornelsen.

Baumann, Konrad; Lanz, Herwig (1998): Mensch-Maschine-Schnittstellen elektronischer Geräte. Leitfaden für Design und Schaltungstechnik. Berlin Springer Verlag.

Baumann, Roger (1997): Haptic interface for virtual reality based laparoscopic surgery training environment. PhD Thesis. École polytechnique fédérale de Lausanne EPFL.

Beelich, Karl Heinz; Schwede, Hans-Hermann (1991): Denken - Planen - Handeln. Grundtechniken für zweckmäßiges Lernen u. Arbeiten; mit vielen Erläuterungen u. Anwendungsbeispielen. 3., überarb. Aufl. Würzburg: Vogel Fachbuch.

Benjes, Immo (2001): Grafische Nutzerschnittstellen für Multimedia-Endgeräte im Wohnbereich. Aachen: Shaker.

Bevan, Nigel, Kirakowski, Jurek & Maissel, Jonathan (1991): What is usability? In Bullinger, Hans-Jörg (Hg.): *Human Aspects in Computing: Design and Use of Interactive Systems and Work With Terminals. Proc. of the 4th Int. Conference on Human-Computer Interaction Amsterdam*. Elsevier (Advances in human factors & ergonomics, Bd. 18B), 651–655.

Beyer, Hugh; Holtzblatt, Karen (1998): Contextual design. Defining customer-centered systems. San Francisco: Morgan Kaufmann.

Bille, J. F. & Schlegel, Wolfgang (2005): Medizinische Physik. Berlin Springer.

- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2010): Biologische Psychologie. Mit 590 Abbildungen in 1048 Einzeldarstellungen und 44 Tab. 7., überarb. und ergänzte Aufl. Heidelberg: Springer-Medizin-Verlag.
- Blume, Rolf & Boelcke, Heinrich-Jochen (1990): Mechanokutane Sprachvermittlung. Diss. Düsseldorf: VDI-Verlag. (Fortschritt-Berichte VDI-Z., Reihe 10 Informatik/Kommunikationstechnik, Bd. Nr. 137).
- Blutner, Doris; Cramer, Stephan; Krause, Sven; Mönks, Tycho; Nagel, Lars; Reinholz, Andreas; Witthaut, Markus (2009): Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung: Kapitel 10. In Buchholz, Peter & Clausen, Uwe (Hg.): *Große Netze der Logistik: Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559*. Berlin Springer, 241–270.
- Boehm, Barry W. (1988): A Spiral Model of Software Development and Enhancement. In *IEEE-CS Computer Vol. 21 (5)*, 61–72.
- Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 87 Tab. 4., überarb. Aufl. Berlin Springer (Springer-Lehrbuch).
- Bowman, Doug A. (2005): 3D user interfaces. Theory and practice. Boston: Addison-Wesley.
- Brettel, H.; Viénot, F.; Mollon, J. D. (1997): Computerized simulation of color appearance for dichromats. In *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 14 (10)*, 2647–2655.
- Broadbent, Donald E. (1958): Perception and communication. London: Pergamon Press.
- Broadbent, Donald E. (1982): Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica 50(3)*, 253–290.
- Brödner, Peter (1969): Betrachtungen zum Erfassen eines Automatisierungsgrades von Fertigungssystemen. In Simon, Wilhelm (Hg.): *Produktivitätsverbesserungen mit NC-Maschinen. 1. Band*. München: Hanser, 43–64.
- Brooks, T. L. (1990): Telerobotic response requirements: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1990.: Conference Proceedings: 113–120.
- Bubb, Heiner (1993): Systemergonomische Gestaltung: Kapitel 5.3. In Schmidtke, Heinz & Bernotat, Rainer (Hg.): *Ergonomie*. München: Hanser, 390–420.
- Burdea, Grigore C. (1996): Force and Touch Feedback for Virtual Reality: John Wiley & Sons.
- Card, Stuart K.; Moran, Thomas P.; Newell, Allen (1983): The psychology of human-computer interaction. Hillsdale: L. Erlbaum Associates.
- Carroll, John M. (Hg.) (1995): Scenario-based design. Envisioning work and technology in system development. New York: Wiley.

- Carroll, John M. (1999): Five Reasons for Scenario-Based Design. In Ralph H. Sprague (Hg.): *Proc. of the 32nd Ann. Hawaii Int. Conference on System Sciences. Island of Maui, Hawaii, January 5-8, 1999*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1–11.
- Carroll, John M. (2004): Beyond Fun. interactions - funology Volume 11 Issue 5 (Sept. + Oct.), 38–40.
- Carroll, John M.; Rosson, Mary Beth (1990): Human-computer interaction scenarios as a design representation. In Shriver, Bruce D. (Hg.): *Proc., Vol. II of HICSS-23, II. 23rd Hawaii Int. Conference on System Sciences, Software Track. Hawaii*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 555–561.
- Cashmore, Lisa; Uomini, Natalie; Chapelain, Amandine (2008): The evolution of handedness in humans and great apes: a review and current issues. In *Journ. of Anthropological Sciences Vol. 86 (2008)*, 7–35.
- Cieslik, Silvana; Klein, Peter; Compagna, Diego; Shire, Karen A. (2012): Das szenariobasierte Design als Instrument für eine partizipative Technikentwicklung im Pflegedienstleistungssektor. In Leimeister, Jan Marco & Shire, Karen A. (Hg.): *Technologiegestützte Dienstleistungsinnovation in der Gesundheitswirtschaft*. Wiesbaden: Springer-Gabler, 85–110.
- Constantine, Larry L.; Lockwood, Lucy A. D. (1999): *Software for use. A practical guide to the models and methods of usage-centered design*. Reading: Addison Wesley.
- Cooper, Alan (1999): *The inmates are running the asylum*. Indianapolis: Sams.
- Daenzer, Walter F. & Huber, Fritz (Hg.) (2002): *Systems engineering: Methodik und Praxis*. 11. durchges. Aufl. Zürich: Verl. Industrielle Organisation.
- Dahm, Markus (2006): *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson Studium.
- Dartnall, H. J. A.; Bowmaker, J. K.; Mollon, J. D. (1983): Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. In *Proc. of the Royal Soc. of London (220)*, 115–130.
- Deutsch, J.; Deutsch, D. (1963): Attention: Some theoretical consideration. In *Psychol Rev* 70, 80–90.
- DGAUM (2014): Leitlinie Händigkeit – Bedeutung und Untersuchung. AWMF online, AWMF-Register Nr.002/017Klasse:S1. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. Aktueller Stand 11/2014, im Internet verfügbar unter: http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-0171_S1_Haendigkeit_Bedeutung_Untersuchung_2014-12.pdf.
letztmalig abgerufen 01.10.2016.
- DIN 33402-2 Berichtigung 1:2007-05 (2007): *Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte, Berichtigungen zu DIN 33402-2:2005-12*. Berlin Beuth Verlag GmbH.

- DIN EN 894-4:2004-07 (Juli 2004): Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 61140 (VDE 0140-1:2007-03) (März 2007). Schutz gegen elektrischen Schlag. Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 13732-1 (Dez. 2006). Ergonomie der thermischen Umgebung. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 9241-12 (2000): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 12: Informationsdarstellung. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 9241-110:2008-09 (Sept. 2008): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 9241-400:2007 (Mai 2007): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 9241-11 (Jan. 1999): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze (ISO 9241-11 : 1998) Deutsche Fassung EN ISO 9241-11 : 1998. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 13407:2000-11 (Nov. 2000): Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- DIN IEC 60050-351:2014-09, (Sept. 2014): Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik (IEC 60050-351:2013). Berlin Beuth Verlag GmbH.
- Döring, Nicola (2004): Computervermittelte Kommunikation, Mensch-Maschine-Interaktion, in Kuhlen, Rainer & Laisiepen, Klaus (Hg.): *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation: Bd. 1: Handbuch zur Einführung in die Informationswissenschaft und -praxis*. München: Saur, 351–362.
- Dörner, Dietrich (1994): Gedächtnis und Konstruieren. In Pahl, Gerhard (Hg.): *Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des Ladenburger Diskurses vom Mai 1992 bis Oktober 1993*. Köln: Verl. TÜV Rheinland, 150–160.
- Dörner, Stephan (2008): Der unterschätzte iPhone-Faktor. In *Handelsblatt 2008, 08.12.2008*. Online verfügbar unter der URL: <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/der-unterschaetzte-iphone-faktor;2088820>. Zuletzt abgerufen 18.10.2016.
- Drosdowski, Günther (1997): Duden Etymologie. Herkunftswörterbuch der deutschen Sprache in 12 Bd.; Das Standardwerk zur deutschen Sprache. Nach den Regeln der neuen dt. Rechtschreibung überarb. Nachdr. der 2. Aufl. Mannheim: Dudenverl. (Der Duden, Bd. 7).

- Dutke, Stephan (1994): Mentale Modelle. Konstrukte des Wissens und Verstehens : kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie. Göttingen: Verlag f. Angewandte Psychologie.
- Dzida, Wolfgang (1983): Das IFIP-Modell für Benutzerschnittstellen: Office Management, 6–8.
- Endsley, Mica R. (1995): Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journ. of the Human Factors and Ergonomics Society Vol. 37(1)*, 32–64.
- Endsley, Mica R. (1997): Situation Awareness, Automation & Free Flight. Cambridge. *Internetdokument zum Vortrag auf dem FAA/Eurocontrol Air Traffic Management R&D Seminar, Juni 1997 in Saclay, France.* im Internet verfügbar unter: http://icrat.org/seminarContent/seminar1/papers/p_019_ASSP.pdf, zuletzt abgerufen 18.10.2016.
- Ettrich, Christine (2001): Haptische Wahrnehmung im Kontext der sensorischen Integrationstherapie. In Grunwald, Martin & Beyer, Lothar (Hg.): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung.* Basel: Birkhäuser, S. 125–134.
- Flügel, Bernd; Greil, Holle; Sommer, Karl (1986): Anthropologischer Atlas: Grundlagen u. Daten ; Alters- u. Geschlechtsvariabilität d. Menschen ; 238 Tab. 1. Aufl. Frankfurt/Main Wötzel.
- Fredrich, Hartmut (1995): Verteiltes Assistenzsystem zur Fehlersuche an Fertigungsanlagen. Diss. Technische Universität Berlin, 1995. München: Hanser (Produktionstechnik - Berlin, 171).
- Garrett, Jesse James (2008): The elements of user experience. User-centered design for the web. 14. Aufl., Berkeley: New Riders.
- Gentner, Dedre; Gentner, Donald R. (1983): Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. In Gentner, Dedre & Stevens, Albert L. (Hg.): *Mental models.* Hillsdale: Erlbaum, 99–130.
- Gerhard, Michael 2008. Akzeptanz Mobiler Räumlicher Assistenzsysteme: *Effet 2008 Symposium: Innovative mobile Technologien und Anwendungen.* Dortmund.
- Gilmore, Walter E., Gertman, David I. & Blackman, Harold S. 1989. The user computer interface in process control: A human factors engineering handbook. Boston: Acad. Press.
- Ginnow-Merkert, Hartmut 1997. Bediensystem 2000: Theoretische Vorarbeiten zur Gestaltung neuartiger Fernbediensysteme. Kronach, Potsdam.
- Goldstein, Bruce E. (2010): Sensation and Perception. Belmont: Wadsworth. 8. Aufl.

- Good, Michael, u. a. 1986. User-derived impact analysis as a tool for usability engineering, in Mantei, Marilyn & Orbeton, Peter (Hg.): *Proc. of Human Factors in Computing Systems: CHI '86*. New York: ACM, 241–246.
- Gould, John D.; Lewis, Clayton (1985): Designing for Usability: Key Principles und What Designers Think. In *Communications of the ACM March 1985 (Vol. 28 (3))*, 300–311.
- Grandt, Morten; Ley, Daniel (2008): Unterstützung von Entscheidungsprozessen durch benutzerzentrierte Gestaltung von Führungssystemen. In Schmidt, Ludger, Schlick, Christopher M. und Grosche, Jürgen (Hg.): *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 79–102.
- Greenbaum, Joan M.; Kyng, Morten (1991): Design at work. Cooperative design of computer systems. Hillsdale: L. Erlbaum Associates.
- Gray, J. A. & Wedderburn, A. A. 1960. Grouping strategies with simultaneous stimuli. *Quarterly Journ. of Experimental Psychology 12(3)*, 180–184.
- Groner, Rudolf, Raess, Simon & Sury, Philipp 2008. Usability: Systematische Gestaltung und Optimierung von Benutzerschnittstellen, in Batinic, Bernad (Hg.): *Medienpsychologie: Mit 135 Abb. und 60 Tab.* Heidelberg: Springer; Springer Verlag.
- Gruchmann, Torsten (2007): User-Centered Design bei der Entwicklung von Medizinprodukten. *World Usability Day 2007. Use-Lab GmbH. Deutsches Herzzentrum München, 08.11.2007.* im Internet verfügbar unter: http://worldusabilityday.de/groups/muenchen/archiv/2007/Media2007/UseLab/at_download/file, zuletzt geprüft am 21.06.2013.
- Grunwald, Martin (2001): Begriffsbestimmungen zwischen Psychologie und Physiologie. In Grunwald, Martin & Beyer, Lothar (Hg.): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel: Birkhäuser, 1–14.
- Grunwald, Martin; Beyer, Lothar (Hg.) (2001): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel: Birkhäuser.
- Gulliksen, Jan; Göransson, Bengt; Boivie, Inger; Blomkvist, Stefan; Persson, Jenny; Cajander, Asa (2003): Key Principles for User-centred Systems Design. In *Behaviour and Information Technology Volume 22 (6)*, 397–409 (13).
- Guski, Rainer (1989): Grundriß der Psychologie. Bd. 7 Wahrnehmung: Eine Einführung in die Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme. Stuttgart: W. Kohlhammer.
- Hasebrook, Joachim (1995): *Multimedia-Psychologie. Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Hassenzahl, Marc 2002. The effect of perceived hedonic quality on product quality appealingness. *Int. Journ. of Human-Computer Interaction 13*, 479–497.

- Hassenzahl, Marc 2006. Hedonic, Emotional and Experimental Perspectives on Product Quality. In Ghaoui, Claude (Hg.): *Encyclopedia of human computer interaction*. Hershey PA: Idea Group Reference, 266–272.
- Hassenzahl, Marc; Beu, Andreas (2001): Engineering Joy. In *IEEE Software (Vol. 18 (1))*, 70–76.
- Hassenzahl, Marc; Burmester, Michael; Koller, Franz (2011): Arbeitsmodell zur Entstehung des Eindrucks der Attraktivität beim Benutzer und der möglichen Konsequenzen des Attraktivitätseindrucks. Hg. v. *UID User Interface Design GmbH. Ludwigsburg*. im Internet verfügbar unter: <http://www.attrakdiff.de/science.html#arbeitsmodell>, zuletzt abgerufen am 19.10.2016.
- Hatt, Hanns (2006): Geruch. Kapitel 14. In Schmidt, Robert F. & Schaible, Hans-Georg (Hg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie*. mit 12 Tab. 5., neu bearb. Aufl. Heidelberg: Springer, 340–351.
- Hauß, Yorck; Timpe, Klaus-Peter (2000): Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. In Klaus-Peter Timpe, Thomas Jürgensohn und Harald Kolrep (Hg.): *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. 1. Aufl., Düsseldorf: Symposion Publ., 41–62.
- Hecht, Matthias (2008): Entwicklung und Durchführung einer Usability Studie zur Beurteilung dreidimensionaler Koordinateneingabe mit verschiedenen Eingabegeräten. Diplomarbeit. Technische Universität Ilmenau. Institut für Medientechnik.
- Heinsen, Sven & Vogt, Petra (2003): Einleitung: Usability - darum geht's. In Heinsen, Sven & Vogt, Petra (Hg.): *Usability praktisch umsetzen: Handbuch für Software, Web, Mobile Devices und andere interaktive Produkte*. München: Hanser, 2–6.
- Herczeg, Michael (2005): Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation. 2., vollst. überarb. Aufl. München: Oldenbourg.
- Herzberg, Frederick; Mausner, Bernard; Snyderman, Barbara B. (2005): The motivation to work. 8th print. New York: Wiley; Transaction Publishers.
- Heuer, Herbert (1983): Bewegungslernen. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hüter-Becker, Antje; Klein, Dieter (2005): Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre ; 23 Tab. Stuttgart: Thieme.
- ISO/DIS 26800:2009 (Nov. 2009): DIN EN ISO 26800: Ergonomie – Allgemeine Vorgehensweise, Prinzipien und Konzepte. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- Ippa, Nicholas V. (2001): Interactive design for new media and the Web. 2. Aufl. Boston: Focal Press.
- Jameson, K. A.; Highnote, S. M.; Wasserman, L. M. (2001): Richer color experience in observers with multiple photopigment opsin genes. In *Psychon Bull Rev* 8 (2), 244–261.

- Jandura, L. & Srinivasan, Mandayam A. (1994): Experiments on Human Performance in Torque Discrimination and Control. In Radcliffe, Clark J. (Hg.): *Proc. of the ASME Ann. Winter Meeting, Dynamic Systems and Control: Book No. G0909A—1994. (Bd. DSC-Vol. 55-1Bd)*, 369–375.
- Janson, André 2001. Usability-Engineering als Instrument des Managements informationstechnologischer Veränderungsprozesse in Unternehmen. Diss. Otto-Friedrich-Universität Bamberg.
- Johannsen, Gunnar (1986): Architecture of man-machine decision making systems. In Erik Hollnagel (Hg.): *Intelligent decision support in process environments. Proc. of the NATO Advanced Study Institute on Intelligent Decision Support in Process Environments, San Miniato, Italy, September 16 - 27, 1985*. Berlin Springer (NATO ASI series Series F, Computer and systems sciences, 21), 327–339.
- Johannsen, Gunnar (1993): Mensch-Maschine-Systeme. Berlin Springer (Springer-Lehrbuch).
- Kaczmarek, Kurt A. & Bach-Y-Rita, Paul 1995. Tactile Displays: Chapter 9. In Barfield, Woodrow & Furness, Thomas A. (Hg.): *Virtual environments and advanced interface design*. New York: Oxford University Press, 349–414.
- Kano, Noriaki; Seraku, N.; Takashi, F.; Tsuji, S. (1984): Attractive quality and must-be quality. *The Journ. for Japanese Society for Quality Control Vol. 14 (No. 2)*, 147–156.
- Katz, David (1969): Gestaltpsychologie. 4. Aufl. bearb. u. erg. von Wolfgang Metzger [et al.]. Basel: Schwabe.
- Kennedy, Paul M.; Inglis, J. Timothy (2002): Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. In *Journal of Physiology (538.3)*, 995–1002.
- Kern, Thorsten A. (2009a): Begriffserklärungen. In Thorsten A. Kern (Hg.): *Entwicklung Haptischer Geräte. Ein Einstieg für Ingenieure*. Heidelberg: Springer, 23–38.
- Kern, Thorsten A. (2009b): Biologische Grundlagen haptischer Wahrnehmung. In Kern, Thorsten A. (Hg.): *Entwicklung Haptischer Geräte: Ein Einstieg für Ingenieure*. Heidelberg: Springer, 39–64.
- Kiese-Himmel, Christiane (2001): Sprachentwicklung und haptische Wahrnehmung. In Grunwald, Martin & Beyer, Lothar (Hg.): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel: Birkhäuser, 109–124.
- Kirste, T. (2001): A reference model for situation-aware assistance. *Forschungsbericht 01i002-FIGDR. Fraunhofer IGD Rostock*. Rostock.
- Klinke, Rainer; Pape, Hans-Christian; Silbernagl, Stefan (2005): Physiologie. über 700 farbige Abb. sowie zahlreiche Tab. 5., kompl. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Kneuper, Ralf (1998): Vorgehensmodelle für die betriebliche Anwendungsentwicklung. Stuttgart: Teubner (Teubner-Reihe Wirtschaftsinformatik).

- Kneuper, Ralf (2006): CMMI. Verbesserung von Softwareprozessen mit Capability Maturity Model Integration. 2., überarb. und erw. Aufl., Heidelberg: Dpunkt-Verl.
- Kraiss, Karl-Friedrich (1997): "99 % Langeweile und 1 % panische Angst" - über die Schwierigkeiten beim Umgang mit hochautomatisierten Systemen. In Kerner, Max (Hg.): *Technik und Angst: Zur Zukunft der industriellen Zivilisation: Zweites interdisziplinäres Aachener Hochschulkolloquium*. Aachen: Thouet.
- Kraiss, Karl-Friedrich (1998): Benutzergerechte Automatisierung - Grundlagen und Realisierungskonzepte. In *at - Automatisierungstechnik* (46 (10)), 457–467.
- Krämer, Nicole C. (2003): Effects of Embodied Interface Agents and Their Gestural Activity. In Thomas Rist (Hg.): *Intelligent virtual agents. 4th Int. Workshop, IVA 2003, Kloster Irsee, Sept. 15-17, 2003. Proc. IVA*. Berlin Springer (Lecture notes in computer science LNCS 2792), 292–300.
- Kreitzberg, Ch (1996): Managing for usability. In Alber, Antone F. (Hg.): *Multimedia: A management perspective*. Belmont: Integrated Media Group, 65–88.
- Kurosu, M. & Kashimura, K. 1995. Apparent usability vs. inherent usability. In Katz, Irvin R. (Hg.): *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '95 conference companion, May 7-11 1995, Denver*. New York: Association for Computing Machinery ACM, 292–293.
- Larni, Jaari 2004. Working with a PDA while Walking. In Khalid, H. M.; Helander, M. G. & Yeo, A. W. (Hg.): *Work with computing systems 2004: Bridging diversity at work : Proc.of the 7th Int.Conference on WWCS*. Puchong, Selangor: Damai Sciences, 400–404.
- Lederman, Susan J. & Klatzky, Roberta L. (1987): Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology* (19) 1987), 342–368.
- Loopik, W.E.C; Kanis, H.; Marinissen, A.H (1994): The Operation of New Vacuum Cleaners. In S. A. Robertson (Hg.): *Contemporary Ergonomics 1994. Ergonomics for all. Papers. Ergonomics Society's 1994 Ann. Conference. Warwick, 19-22 April 1994. Band 1*. London: Taylor and Francis, 34–39.
- Lucke, Doris (1995): Akzeptanz. Legitimität in der "Abstimmungsgesellschaft". Habil.-Schrift, Universität Bonn. Opladen: Leske und Budrich, Springer Fachmedien.
- Ludewig, Jochen; Lichter, Horst (2007): Software Engineering. Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken. 1. Aufl. Heidelberg: Dpunkt-Verl.
- Lutherdt, Stefan (2002): Haptische Fernbedienungssysteme. In Kern, Heinrich (Hg.): *Ergonomie, moderne Bürokonzepte und Prävention. Tagungsband zur Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 26. - 27. September 2002 an der Technischen Universität Ilmenau*. Ilmenau: GfA-Press, 89–93.

Lutherdt, Stefan, Fetter, Robert; Fröber, Ulrike; Kurtz, Peter; Witte, Hartmut (2007): Down-scaling of a tourist assistance system to fulfil the needs of economical poor regions and providers of tourist offers. In Toomingas, Allan, Lantz, Ann & Berns, Tomas (Hg.): *Work With Computing System - WWCS 2007: Abstracts WWCS 2007 : computing systems for human benefits from the 8th International Conference on Work With Computing Systems*. Stockholm: Royal Institute of Technology.

Lutherdt, Stefan & Kurtz, Peter (2005a): Ergonomic design of user guides in multimedia environments with remote controls and onscreen displays. In *Proc. of CybErg 2005, The Fourth Int. Cyberspace Conference On Ergonomics, 2005.09.15-10.15*. Johannesburg: The International Ergonomics Association Press. (CD-ROM), 776–787.

Lutherdt, Stefan; Kurtz, Peter (2005b): Ergonomische Anpassung mobiler Endgeräte an heterogene Nutzergruppen am Beispiel einer Multimediafernbedienung. In Schütte, Martin & Schäper, Michael (Hg.): *Personalmanagement und Arbeitsgestaltung. Bericht zum 51. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 22. - 24. März 2005 [Universität Heidelberg]*. Dortmund: GfA-Press.

Lutherdt, Stefan, Roß, Fred; Witte, Hartmut (2016): Development of a New Information Interface for Elderly Using Vibrations. In Goonetilleke, Ravindra S. & Karwowski, Waldemar (Hg.): *Advances in physical ergonomics and human factors: Proc. of the AHFE 2016 Int. Conference on Physical Ergonomics and Human Factors, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA*. Switzerland: Springer. (Advances in intelligent systems and computing, Vol. 489), 751–759.

Lutherdt, Stefan; Rückert, Olaf; Schedel, Stefan; Adam, Alexander (2003): Verbundprojekt "Haptisches Fernbediensystem - HARYS". *Abschlussbericht: Projektlaufzeit 11/1999 - 03/2003 / Verbundpartner: LOEWE Opta GmbH Kronach, Cherry Mikrotaster GmbH Auerbach (Obpf.). Förderkennzeichen 16SV1097-16SV1099*. Kronach: LOEWE Opta GmbH. Technische Informationsbibliothek Hannover (TIB/UB, Sign. F 04 B 1836)

Lutherdt, Stefan & Witte, Hartmut (2007): TAS – Touristisches Assistenzsystem für Urlaubs-, Freizeit- und Bildungsaktivitäten – Ein InnoRegio-Projekt der TU Ilmenau. In Leidner, Rüdiger (Hg.): *Von Barrierefreiheit zum Design für Alle: Erfahrungen aus Forschung und Praxis*. Münster: Arbeitsberichte / Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geographie Münster e.V., Heft 38, 151–161.

Machate, Joachim & Burmester, Michael (2003): Usability - die unterschätzte Qualität. In Machate, Joachim & Burmester, Michael (Hg.): *User Interface Tuning: Benutzungsschnittstellen menschlich gestalten*. Frankfurt/M.: Software- & Support Verlag GmbH, 15–25.

Mayhew, Deborah J. (1999): *The usability engineering lifecycle: A practitioner's handbook for user interface design*. San Francisco: Kaufmann.

- Meißner, Knut & Engmann, Ulrich (2008): Vorschlag für ein 3-D-Prozessinformationsdisplay zur Unterstützung der Bediener komplexer Mensch-Maschine-Systeme. Diss. Technische Universität Ilmenau. Ilmenau: ISLE.
- Miller, George A. (1956): The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *Psychological Review* (63), 81–97.
- Moradi, Maryam (2006): Eine evolutionäre Methode zur Einführung von Prozessmodellen am Beispiel des V-Modell XT. Diplomarbeit. Technische Universität Ilmenau. Institut für Praktische Informatik und Medieninformatik. Ilmenau.
- Moran, Thomas P. (1981): The Command Language Grammar: A representation for the user interface of interactive computer systems. *Int. Journ. of Man-Machine Studies* 15(1), 3–50
- Muhrer, Elke; Vollrath, Mark (2009): Der Mensch als Modell – „Was erwarten Sie von Ihrem Nächsten?“. In *Beiträge zur 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Berlin, 7.-9. Oktober 2009*. Zentrum Mensch-Maschine-Systeme ZMMS, W 15.5.
- Müller, Alexander, Fröber, Ulrike; Lutherdt, Stefan; Witte, Hartmut (2006): Concepts of Biomechatronics: Individualized prevention of hearing loss in the working environment and daily life. In Ecker, Jürgen (Hg.): *Proc. FH Science Day, 25th October 2006*. Aachen: Shaker, 57–69.
- Müller, Alexander; Lutherdt, Stefan; Witte, Hartmut (2004): Ein Beitrag zur informationstechnischen Biokompatibilität: - Neue Kompetenzen des Standorts Ilmenau im BioKoN II. In Kesel, Antonia B. (Hg.): *Bionik: Innovationen der Natur: Tagungsbeiträge zum 2. Bionik-Kongress in Bremen*. Bremen.
- Müller, Roland (1983): Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs. In Herbert Stachowiak (Hg.): *Modelle, Konstruktion der Wirklichkeit*. München: W. Fink (Kritische Information, 101), 17–86.
- Nardi, Bonnie A. (1995): Some reflections on scenarios. In Carroll, John M. (Hg.): *Scenario-based design: Envisioning work and technology in system development*. New York: Wiley, 387–399.
- Newell, Allen (1990): *Unified theories of cognition*. Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Press (The William James lectures, 1987).
- Nielsen, Jakob (1995): How to Conduct a Heuristic Evaluation. Fremont (Jakob Nielsen's Alertbox:). im Internet verfügbar unter: <http://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>, zuletzt abgerufen 19.10.2016.
- Norman, Donald A. (1986): Cognitive Engineering. In Draper, Stephen W. & Norman, Donald A. (Hg.): *User centered system design. New perspectives on human-computer interaction*. London: CRC Press, 64–94.

- Norman, Donald A. (1998): *The invisible computer. Why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution.* Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Ōno, Taiichi (1993): *Das Toyota-Produktionssystem.* Frankfurt/M: Campus-Verl.
- Palmer, Stephen E. (1999): *Vision science: Photons to phenomenology.* Cambridge: MIT Press.
- Pang, X. D., Tan, Hong Z. & Durlach, N. I. 1991. Manual discrimination of force using active finger motion. *Perception & Psychophysics Vol. 49 (Issue 6)*, 531–540.
- Pauwels, Friedrich (1960): Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung der Stützgewebe. 10. Beitrag z. funktionellen Anatomie und kausalen Morphogenese des Stützapparates. Mit 35 Textabb. In *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte 121 (6)*, 478–515.
- Pemberton, Steven (Hg.) (1997): *Human factors in computing systems. CHI'97 Conference proc., March 22-27, Atlanta.* New York: Association for Computing Machinery (ACM)
- Poirson, Allan B.; Wandell, Brian A. (1996): Pattern-Color Separable Pathways Predict Sensitivity to Simple Colored Patterns. In *Vision Research Vol. 36 (4)*, 515–526.
- Rasmussen, Jens (1983): Skills, Rules and Knowledge. Signals, Signs and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models. In *IEEE Trans Syst Man Cybern A Syst Hum 13*, 257–266.
- Richter, H.; Plümer, D. (2003): Nutzererwartungen an die Fahrzeugbedienung. Unter Mitarbeit von Schlegel und Partner GmbH Weinheim. In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hg.): *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme, Bd. 1768.* Düsseldorf: VDI-Verlag (VDI-Berichte, 1768), 129–145.
- Robertson, S. A. 1994. *Contemporary Ergonomics 1994: Ergonomics for all.* Ann. conference : Papers, 1 Bd. London: Taylor and Francis.
- Röder, Brigitte; Rösler, Frank (2001): Vergleich haptischer Wahrnehmungsleistungen zwischen Blinden und sehenden Personen. In Grunwald, Martin & Beyer, Lothar (Hg.): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung.* Basel: Birkhäuser, 89–98.
- Rohmert, Walter (1983): Formen menschlicher Arbeit. In Rohmert, Walter & Rutenfranz, Joseph (Hg.): *Praktische Arbeitsphysiologie.* 24 Tab. 3., Neubearb. Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Rohmert, Walter (1984): Das Belastungs-Beanspruchungskonzept. In *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (4)*, 193–200.

- Roß, Fred & Lutherdt, Stefan (2006): TAS - Touristisches AssistenzSystem für barrierefreien Zugang zu Urlaubs-,Freizeit-, und Bildungsaktivitäten. Abschlussbericht. Technische Universität Ilmenau. TIB/UB Hannover Sign. F 07 B 1392.
- Rosson, Mary Beth; Carroll, John M. (2002): Usability engineering. Scenario-based development of human-computer interaction. 1. Aufl. San Francisco: Academic Press.
- Royce, Winston W. (1987): Managing the development of large software systems: concepts and techniques. In *Proc. ICSE '87 9th Int. Conference on Software Engineering. Monterey*. Los Alamitos: IEEE Computer Soc. Press, 328–338.
- Sarodnick, Florian; Brau, Henning (2006): Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. 1. Aufl. Bern: Hans Huber (Praxis der Arbeits- und Organisationspsychologie).
- Sauerwein, Elmar 2000. Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit: Reliabilität und Validität einer Methode zur Klassifizierung von Produkteigenschaften. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Schlicht, Hans-Jürgen (1995): Bildverarbeitung digital. Scanner, Drucker, Video, Multimedia unter Windows. 2. Aufl. Bonn: Addison-Wesley.
- Schlick, Christopher M.; Bruder, Ralph; Luczak, Holger (2010): Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin Springer-Verlag.
- Schmidt, Ludger (2008): Ergonomie und Führungssysteme. In Schmidt, Ludger; Schlick, Christopher M und Grosche, Jürgen (Hg.): *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin Springer-Verlag, 67–78.
- Schmidt, Robert F.; Lang, Florian; Thews, Gerhard (2005): Physiologie des Menschen: mit 598 vierfarbigen Abbild. in 1127 Einzeldarst. und 78 Tab. 29. vollst. neu bearb. und aktual. Aufl. Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Schmidt, Robert F.; Schaible, Hans-Georg (Hg.) (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. mit 12 Tabellen. 5., neu bearb. Heidelberg: Springer.
- Schmidtke, Heinz (1989): Handbuch der Ergonomie. mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden. 2., überarb. und erw. Aufl. München: C. Hanser.
- Schmidtke, Heinz & Bernotat, Rainer (Hg.) (1993): Ergonomie. 3., neubearb. und erw. Aufl. München: Hanser.
- Schneider, Max (1964): ReIn Einführung in die Physiologie des Menschen: 15. Aufl. der von Hermann Rein begründeten Einführung in die Physiologie des Menschen. mit 499 Abb. Springer-Verlag OHG Berlin Heidelberg.

- Schönplflug, Wolfgang; Schönplflug, Ute (1995): Psychologie. Allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie: Ein Lehrbuch für das Grundstudium. 3., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.
- Sheridan, Thomas B. (1989): Trustworthiness of command and control systems. In Ranta, J. & Ranta, Jukka (Hg.): *Analysis, design and evaluation of man-machine systems: Selected papers from the 3rd IFAC/IFIP/IEA/IFORS Conference on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Oulu, Finland, 14-16 June 1988*. Oxford: Pergamon Press. (IFAC proc. series, 1989,3), 151–155.
- Sheridan, Thomas B. (1997): Task analysis, task allocation and supervisory control: Chapter 5. In Helander, Martin; Landauer, Thomas K.; Prabhu, Prasad V. (Hg.): *Handbook of human-computer interaction*. Amsterdam, New York: Elsevier, 87–105.
- Sheridan, Thomas B.; Verplank, William L.; Brooks T. L. (1978): Human and Computer control of undersea teleoperators. Cambridge (MA) (MIT Man-Machines-Systems Laboratory Report).
- Shimoga, K. B. (1993): A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation. *IEEE Virtual Reality Ann. Int. Symposium, 18-22 Sept. 1993 Seattle*. 263–270.
- Shneiderman, Ben (2004): Designing for Fun: How Can We Design User Interfaces to Be More Fun? In *interactions - funology Vol. 11 (5)*, 48–50.
- Shneiderman, Ben & Plaisant, Catherine (2010): Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction. 5. Aufl. Upper Saddle River: Pearson Education.
- Schönplflug, Wolfgang & Schönplflug, Ute (1995): Psychologie: Allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie: Ein Lehrbuch für das Grundstudium. 3., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.
- Specht, Dieter (1989): Wissensbasierte Systeme im Produktionsbetrieb. Mit 14 Tab. München: Hanser.
- Spinas, Phillipp; Troy, Norbert; Ulich, Eberhard; Rohmert, Elisabeth; Willenegger, Andreas (1983): Leitfaden zur Einführung und Gestaltung von Arbeit mit Bildschirmsystemen. CW-Publikationen, München.
- Spool, Jared M. (2002): Evolution Trumps Usability Guidelines. User Interface Engineering. Online verfügbar unter http://www.uie.com/articles/evolution_trumps_usability/, zuletzt geprüft am 19.10.2016.
- Stachowiak, Herbert (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer-Verlag.

Stanford University (1997): Color blind image correction. Ishihara plate. Unter Mitarbeit von Bob Dougherty und Alex Wade. Serra Mall, CA. Online verfügbar unter <http://www.vischeck.com/daltonize/>, zuletzt geprüft am 19.10.2016.

Stein, J. F.; Stoodley, C. J. (2006): Neuroscience. An introduction. Chichester, England, Hoboken, NJ: Wiley.

Sutter, Christine (2006): Charakteristische Nutzereigenschaften und ihr Einfluss auf die Bedienung von Notebook-Eingabegeräten. Eine arbeitspsychologische Evaluation von Touchpad und Trackpoint. Diss. RWTH Aachen, Philosophische Fakultät.

Swain, Alan D.; Guttman, H.E (1983): Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. Final Report. Hg. v. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Sandia National Laboratories Albuquerque.

Tan, Hong Z.; Srinivasan, Mandayam A.; Eberman, Brian; Cheng, Belinda (1994): Human Factors For The Design Of Force-Reflecting Haptic Interfaces. In Radcliffe, Clark J. (Hg.): *Proc. of the ASME Ann. Winter Meeting, Dynamic Systems and Control: Book No. G0909A—1994*. (Bd. DSC-Vol 55-1).

test (1996): Keine Frage des Formats. test (11/96), 30–35.

test (1997): Flimmerfrei ab 1600 Mark. test (5/97), 47–52.

Thews, Gerhard, Mutschler, Ernst & Vaupel, Peter 1999. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen: 135 Tab. 5., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges.

Timpe, Klaus-Peter & Kolrep, Harald (2000): Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In Timpe, Klaus-Peter; Jürgensohn, Thomas; Kolrep, Harald (Hg.): *Mensch-Maschine-Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf, 9–40.

Timpe, Klaus-Peter, Jürgensohn, Thomas & Kolrep, Harald (Hg.) 2000. Mensch-Maschine-Systemtechnik: Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation. 1. Aufl., Düsseldorf.

Tortora, Gerard J.; Grabowski, Sandra Reynolds (2000): Principles of anatomy and physiology. 9 ed. New York: Wiley.

Tractinsky, Noam (1997): Aesthetics and apparent usability: empirically assessing cultural and methodological issues. In Pemberton, Steven (Hg.): *Human factors in computing systems: CHI'97 Conference proceedings, March 22-27*. Atlanta: Association for Computing Machinery (ACM), 115–122.

Treisman, A. M. (1969): Strategies and models of selective attention. *Psychological Review* 76(3), 282–299.

VDI 2206 (2004) Verein Deutscher Ingenieure: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin Beuth Verlag GmbH.

- VDI 2221 Verein Deutscher Ingenieure: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (1993). Berlin Beuth Verlag GmbH.
- VDI / VDE 3850 (2002): VDI / VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) VDI / VDE 3850 Blatt 2: Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen Interaktionsgeräte für Bildschirme. Berlin Beuth Verlag GmbH.
- Vogt, Petra (2003): Usability im Entwicklungsprozess. In Sven Heinsen und Petra Vogt (Hg.): *Usability praktisch umsetzen. Handbuch für Software, Web, Mobile Devices und andere interaktive Produkte*. München, Wien: Hanser, S. 65–77.
- Voigt, Dirk (2011): V-Modell. Hg. v. Dirk Voigt. truecare IT- und Projektmanagement GmbH. Hannover. Online verfügbar unter <http://www.projektmanagementhandbuch.de/projektplanung/projektphasen-und-meilensteine/>, zuletzt abgerufen am 19.10.2016.
- Wandke, Hartmut 2005. Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. *Theoretical Issues in Ergonomic Science Vol. 6(2)*, 129–155.
- Wei, Zhi-Gang; Macwan, Anil P.; Wieringa, Peter A. (1998): A Quantitative Measure for Degree of Automation and its Relation to System Performance and Mental Load. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society (40(2))*, 277–295.
- Weinstein, S. (1968): Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex, and Laterality. In Kenshalo, Dan R. (Ed): *The Skin Senses: Proceedings of the First International Symposium on the Skin Senses*. Springfield: Charles C. Thomas Publisher. S. 195–222.
- Winkelholz, Carsten 2008. Theoretische Betrachtungen zur Schärfentiefe eines Retinal Scanning Lasers: Kapitel 23. In Schmidt, Ludger, Schlick, Christopher M. & Grosche, Jürgen (Hg.): *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 405–422.
- Wintermantel, Erich 1993. Inauguration lecture. ETH Zürich.
- Wintermantel, Erich & Ha, Suk-Woo 2002. Medizintechnik mit biokompatiblen Werkstoffen und Verfahren. 3., überarb. und erw. Aufl. Berlin Springer.
- Witte, Hartmut (2007): Wettbewerb: Innovationswettbewerb zur Förderung der Medizintechnik des BMBF 2003, Schlüsselexperiment : Vorhabensbezeichnung: Spinemover. *Schlussbericht, FKZ 01EZ0338*. elektron. Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Biomechatronik.
- Witte, Hartmut; Fischer, Martin S. (1999): Evolutionsbiologische Betrachtungen zu den Entstehungsbedingungen menschlicher Wirbelsäulenerkrankungen. In Radandt, Siegfried; Grieshaber, Romano und Schneider, Wolfgang (Hg.): *Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. 6. Erfurter Tage*. Leipzig: Monade, 63–72.

Witte, Hartmut; Günther, M. M. (1999): Die Bewegungsanalyse ist das wichtigste Werkzeug der Biomechanik zur Beantwortung klinischer Fragestellungen. Wie wähle ich die richtigen Geräte und Verfahren aus? In Jerosch, Jörg; Nicol, Klaus und Peikenkamp, Klaus (Hg.): *Rechnergestützte Verfahren in Orthopädie und Unfallchirurgie. Neue Techniken zur Informationsvermittlung - Forschung - Lehre - Patientenversorgung - Qualitätssicherung - Internet-Adressen*. Darmstadt: Steinkopff, 121–144.

Woodson, Wesley E. (1987): *Human Factors Reference Guide for electronics and computer professionals*. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill Engineering Reference Guide Series).

Zenner, Hans-Peter (2006): Hören. Kapitel 11. In Robert F. Schmidt und Hans-Georg Schaible (Hg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie.*; mit 12 Tab. 5., neu bearb. Aufl. Heidelberg: Springer, 287–311.

Zhai, Shumin (1995): *Human performance in six degree of freedom input control*. PhD-Thesis. University of Toronto, Toronto.

Zhang, Xuemei; Farrell, Joyce E.; Wandell, Brian A. (1997): Applications of a spatial extension to CIELAB. In IEEE Computer Society (Hg.): *IEEE COMPCON97 Symposium Digest*.

Zimbardo, Philip G.; Gerrig, Richard J.; Hoppe-Graff, Siegfried (1999): *Psychologie: mit 70 Tab. 7.*, neu übers. und bearb. Aufl. Berlin Springer.

Zimmer, A. (2001): Gestaltpsychologische Ansätze zur Analyse der haptischen Wahrnehmung. In Martin Grunwald & Lothar Beyer (Hg.): *Der bewegte Sinn. Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel: Birkhäuser, 77–88.

Zühlke, Detlef & Krauß, Lutz 1999. *Menschengerechte Gestaltung von Maschinen-/Prozeßbediensystemen auf WINDOWS-Basis*. (Berichte aus der Automatisierungstechnik). Aachen: Shaker.

Internetbildquellen

(alle Quellen auf Aktualität überprüft und abgerufen am 25.10.2016)

Conrad Electronic:

https://img.conrad.de/medias/global/ce/7000_7999/7000/7010/7018/701865_BB_00_FB.EPS_1000.jpg

Microsoft.com:

<https://www.microsoft.com/accessories/de-de/products/mice/wireless-mobile-mouse-3000/2ef-00003>

Wikimedia1:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACompetition_pro_first_version_45deg.png

Spacemice.org:

<http://spacemice.org/index.php?title=SpaceNavigator>

Wikimedia2:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BMW_R1200RT_Trip_computer.jpg?uselang=de

Caliper2PC:

<http://www.caliper2pc.de/index/quantum-D210x320E.jpg>

elektronikpraxis vogel:

<http://www.elektronikpraxis.vogel.de/opto/articles/394054/index3.html>

airwaysnews.com:

<https://airwaysmag.com/industry/lufthansa-honeywell-airbus-rops/>

Wikimedia4:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEye_scheme_multilingual.svg
(Durchschnitt des menschlichen Augapfels)

amazon.de:

Thomson RCT443mn1 Fernbedienung,

[https://www.amazon.de/Thomson-H57034-RCT443mn1-](https://www.amazon.de/Thomson-H57034-RCT443mn1-Fernbedienung/dp/B01F2AM44C/ref=sr_1_35?s=ce-)

[Fernbedienung/dp/B01F2AM44C/ref=sr_1_35?s=ce-](https://www.amazon.de/Thomson-H57034-RCT443mn1-Fernbedienung/dp/B01F2AM44C/ref=sr_1_35?s=ce-)

[de&ie=UTF8&qid=1471789080&sr=1-35&keywords=Thomson+RCT.](https://www.amazon.de/Thomson-H57034-RCT443mn1-Fernbedienung/dp/B01F2AM44C/ref=sr_1_35?s=ce-)

Businessballs.com:

The tree swing: <http://www.businessballs.com/treeswing.html>, dokumentierte

Bildversionen seit 1970, Originalversion unbekannt.

Precision Microdrives™:

<https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors/encapsulated-and-enclosed-vibration-motors>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schematische Darstellung eines Mensch-Maschine-Systems in Anlehnung an JOHANNSEN und die Norm DIN ISO 26800:2009.....	24
Abbildung 2-2: Darstellung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle nach VDI / VDE 3850-1	26
Abbildung 2-3: Beispiele für Eingabegeräte mit verschiedenen Freiheitsgraden.....	27
Abbildung 2-4: Varianten verschiedener Bahntransformationen	30
Abbildung 2-5: Verschiedene Anzeigeelemente in LCD- bzw. Touchscreen-Technologie.....	33
Abbildung 2-6: links: Freiform-OLED in verschiedenen Ausführungen als Fahrzeugleuchten eines Conceptcars; rechts: Anwendung eines OLED in einem Smartphone	33
Abbildung 2-7: Beispiel für die Vielfalt und Kombinationsmöglichkeiten verschiedenster Ein- und Ausgabegeräte in einem aktuellen Flugzeugcockpit	34
Abbildung 2-8: Konzept der Benutzungsschnittstelle	40
Abbildung 2-9: Schichtmodell der Nutzerschnittstelle.....	42
Abbildung 2-10: Komponenten der Gesamtakzeptanz eines Systems	43
Abbildung 3-1: Mechanisches Ersatzmodell zur Erklärung des Belastungs-Beanspruchungsmodells.....	49
Abbildung 3-2: Belastungen werden durch (individuelle) Körpereigenschaften in Beanspruchung umgesetzt und können außerhalb des Normalbereichs Schäden hervorrufen	49
Abbildung 3-3: Auswahl möglicher auf den Menschen im Arbeitsprozess wirkende Belastungen	50
Abbildung 3-4: Übersicht über den Bau des Auges.....	55
Abbildung 3-5:Optische Abbildung am Gaußschen schematischen Auge und zugehörige Werte der Kardinal-elemente.....	56

Abbildung 3-6: oben: Normierte spektrale Empfindlichkeit der Rezeptoren; unten: Anpassung der normierten Helligkeitskurven und des Transmissionsgrades der abbildungsrelevanten Augenstrukturen an das Tagsehen.....	57
Abbildung 3-7: Qualitative Darstellung der einzelnen Zapfenempfindlichkeiten als Funktion der Wellenlänge	59
Abbildung 3-8: Schematischer Aufbau des Ohres	61
Abbildung 3-9: Schema zur Begriffsbestimmung der haptischen Wahrnehmung.....	62
Abbildung 3-10: Ermitteltbare Verteilungen der Mechanorezeptoren in der Fußsohle.....	65
Abbildung 3-11: Die aus der Verteilung der Rezeptoren in der Fußsohle abgeleitete Anordnung von Vibrationsaktoren in einer Schuhsohle als Informationsschnittstelle	65
Abbildung 3-12: Schematische Verdeutlichung des „Flaschenhalses“ der menschlichen Informationsverarbeitung	70
Abbildung 3-13: Verschiedene Ausführungsebenen des menschlichen Verhaltens nach RASMUSSEN	71
Abbildung 3-14: Schematische Darstellung von BROADBENTs Filtermodell.....	74
Abbildung 3-15: Gedächtnissystem nach Becker-Carus.....	75
Abbildung 3-16: „Anatomisch“ vorgeformte Fernbedienung der Fa. Thomson (2000) mit deutlicher Einschränkung der Nutzbarkeit für Linkshänder.....	79
Abbildung 3-17: Verdeutlichung des Gesetzes anhand zweier Linienpaare	84
Abbildung 3-18: Werte der Körpermaße nach DIN 33402-2:2005-12	85
Abbildung 4-1: Beispiele für die Verschmelzung von zwei Geräten in einem neuen Design, ohne dass eine Nutzerakzeptanz erzielt werden konnte.....	92

Abbildung 4-2: Grafische Darstellung des "Kano-Modells" der Kundenzufriedenheit.....	98
Abbildung 4-3: Arbeitsmodell zur Bildung eines Attraktivitätseindrucks beim Benutzer und der möglichen Konsequenzen	100
Abbildung 4-4: Verschiedene Sichtweisen und Mängel in der Kommunikation führen zu unterschiedlichem und oft falschem Verständnis desselben Problems.....	103
Abbildung 4-5: Verdeutlichung der jeweils unterschiedlichen Sichtweisen von Benutzern und Produktentwicklern	103
Abbildung 5-1: Phasen des Software-Entwurfs im rückgekoppelten Wasserfall-Modell.....	114
Abbildung 5-2: Darstellung des Entwurfsprozesses nach dem Spiralmodell von Boehm	115
Abbildung 5-3: Schematische Darstellung des Ablaufs eines Softwareentwicklungsprojekts nach dem V-Modell.....	116
Abbildung 5-4: Schematische Darstellungsvarianten des PLA zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte	119
Abbildung 5-5: Aufbau des IFIP-Modells	121
Abbildung 5-6: Schematische Darstellung des MVC.....	122
Abbildung 5-7: Seeheim-Modell als schichtenbasierte Darstellung in Bezug auf Benutzungsschnittstellen	122
Abbildung 5-8: Schematische Darstellung des Entwurfsprozesses interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 13407	124
Abbildung 5-9: Auswahl einiger Normen der Reihe ISO 9241 zur Verdeutlichung des Aufbaus der Reihe und der damit abgedeckten Gestaltungsfelder	125
Abbildung 5-10: Usability Engineering Design Lifecycle	128
Abbildung 5-11: Zuordnung der einzelnen Prozessschritte des UEDL zu den Kriterien der Gebrauchstauglichkeit	129

Abbildung 5-12: Schematische Darstellung der Prozessschritte nach dem Usability Engineering Prozessmodell von SARODNICK & BRAU	131
Abbildung 5-13: Zusammenfassung und vereinfachte schematische Darstellung der iterativen Abläufe in einem nutzerzentrierten Designprozess	133
Abbildung 5-14: Herausforderungen und Herangehensweise im SBD.....	136
Abbildung 5-15: Leitbild einer benutzerzentrierten Systemgestaltung.....	138
Abbildung 5-16: Zwei Beispiele für die Anwendung des Daltonizing-Algorithmus auf farbige Bilder.....	142
Abbildung 5-17: Anpassung der grafischen Ausgabe eines Smartphones zur Routenführung für einen deuteranopen Fabfehlsichtigen.....	143
Abbildung 6-1: Struktur-Ablaufplan zum Entwurf von NuGASt, abgewandelt und modifiziert nach VDI 2221	155
Abbildung 6-2: Strukturschema des Prozesses zum Entwurf von NuGASt	156
Abbildung 6-3: Strukturschema des Prozesses zum Entwurf von NuGASt	158
Abbildung 6-4: Konzeptsynthese als dritte Phase der PLA zum Entwurf von NuGASt	159
Abbildung 6-5: Innerhalb der PLA-Konzeptsynthese festgelegte Grundstruktur von NuGASt.....	159
Abbildung 6-6: Kombinierte Konzeptanalyse und Evaluation von NuGASt durch die Anwendung im Projekt Harys mit der Möglichkeit, die Ergebnisse in die Konzeptsynthese zur Verfeinerung des Konzepts einfließen zu lassen.....	160
Abbildung 6-7: Test der ersten Phase von NuGASt im BMBF-Verbundprojekt Harys	161
Abbildung 6-8: Ausschnitt eines Tabellenblatts der MS Access®-Datenbank zur Beurteilung von FB	163

Abbildung 6-9: Wirksystem Nutzer- TV-Gerät bei Verwendung einer FB.....	165
Abbildung 6-10: Informationsflussrichtungen zwischen Nutzer, - schnittstelle und Gerät.....	166
Abbildung 6-11: Notwendiger Blickwechsel von Eingabegerät (hier FB) zum gesteuerten Gerät (TV) bei der Nutzung eines unbekannten FB-Systems.....	169
Abbildung 6-12: Blickwechsel zum Auffinden von Bedienelementen und visuelle Kontrolle der gewünschten Ergebnisse am gesteuerten Gerät.....	169
Abbildung 6-13: Für die Probandentests genutzte Gips-Formmodelle; Durchführung der Nutzertests mit den Formmodellen an einem realen TV-Gerät mit Videoprotokollierung	170
Abbildung 6-14: Bestimmung des Aktionsbereichs des rechten Daumens von 20 Probanden	171
Abbildung 6-15: Test der zweiten Phase von NuGASt im Verlauf des BMBF-Verbundprojekts Harys.....	172
Abbildung 6-16: Test der Phasen drei und vier von NuGASt	175
Abbildung 6-17: Formmodelle aus Modell-Hartschaum zur Erarbeitung der Grundform der neuartigen FB nach den Vorgaben des Anforderungskatalogs.....	175
Abbildung 6-18: CAD-Modelle der neuen FB mit integrierten Funktionselementen	176
Abbildung 6-19: Abschließender, resultierender Designentwurf und Elektronikkomponenten in Innern des Funktionsmusters zum Einsatz in Nutzertests.....	176
Abbildung 6-20: Berührungsempfindliches Bedienelement der FB2002 ..	178
Abbildung 6-21: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Bewegungsrichtung beim Streichen auf dem Bedienelement und der damit ausgewählten Funktionsgruppe des Onscreen-Menüs.....	178
Abbildung 6-22: Umsetzung des Prinzips aus Abbildung 6-21 auf einem realen TV-Gerät.....	179

Abbildung 6-23: Präsentation des Fernbedienungssystems auf der IFA 2003 durch den Projektpartner	180
Abbildung 6-24: Aktuelle marktverfügbare FB verschiedener Hersteller und Anwendungsfelder	181
Abbildung 6-25: Phasen Konzeptanalyse und Evaluation (Beurteilung) des PLA zum Entwurf von NuGASt	182
Abbildung 6-26: Auswahl der im Projekt TAS zu testenden Phasen von NuGASt	183
Abbildung 6-27: Nutzertests zur Identifikation von Gebrauchsroutinen und Anforderungen an Informationsschnittstellen; Selbstversuche mit technischen Hilfsmitteln für Sehgeschädigte	185
Abbildung 6-28: Durchführung einer Begehung zur Hindernisbewertung mit Betroffenen in der Ortslage Georgenthal (Naturparkgemeinde Thüringer Wald)	187
Abbildung 6-29: Beispiele verschiedener Hindernisse für Sehgeschädigte auf einer der gewählten Routen	187
Abbildung 6-30: Übergreifende Systemarchitektur des Projekts TAS	189
Abbildung 6-31: Beispiele möglicher Nutzerendgeräte; obere Reihe PDA, untere Reihe Tablet-PC	190
Abbildung 6-32: Schematische Übersicht der aktuell durchgeführten Entwurfsphase innerhalb von NuGASt	192
Abbildung 6-33: Verdeutlichung der grundlegenden Eingabebewegungen auf dem Touchscreen des PDA	195
Abbildung 6-34: Veranschaulichung der Bedienung des TAS- Endgeräts zur Änderung einer Einstellung (z. B. lauter/leiser)	195
Abbildung 6-35: Erläuterung der Menüstruktur des TAS-Endgeräts	196
Abbildung 6-36: Verdeutlichung des jeweils aktuellen Menüpunkts durch Schrift und ein sinnhaftes Symbol in hohem Kontrastverhältnis (immer begleitet durch akustische Ausgabe)	196

Abbildung 6-37: Vierte NuGASSt-Phase (Systemanalyse) mit Nutzerbeteiligung und einer variablen Rückkopplung zur Systemsynthese	197
Abbildung 6-38: Angepasste Nutzeroberfläche des TAS-Endgerätes für die Nutzertests auf Basis des Prototyps	197
Abbildung 6-39: Zusammenfassung der ersten beiden NuGASSt-Schritte und Beteiligung der Nutzer in beiden Phasen	199
Abbildung 6-40: Ablaufschema von NuGASSt mit Verdeutlichung der aktuellen Phase und des Wegfalls der Systemsynthese	200
Abbildung 6-41: Beispiele für die drei in Umsetzung des Anforderungskatalogs entstandenen Varianten des TAS-Endgeräts.....	201
Abbildung 6-42: Eine der möglichen Routen außerhalb von Georgenthal.....	203
Abbildung 6-43: Nutzertests für das TAS2 in Königsee	203
Abbildung 6-44: Test des TAS-Systems durch Sehgeschädigte im Wald außerhalb von Georgenthal	204
Abbildung 6-45: Hörgeschädigte bei Routenauswahl auf dem TAS-Gerät mit Induktionsschleife PL-100; Mitte alternatives Endgerät mit geplanter Route; rechts während des Tests	205
Abbildung 6-46: Verdeutlichung der Umsetzung des „Zwei-Sinne“-Prinzips bei einem Gefahrenhinweis durch Anbindung verschiedener Erweiterungskomponenten an das TAS-Endgerät.....	206
Abbildung 6-47: Eine der Routenführungen über den Campus der TU Ilmenau.....	206
Abbildung 6-48: Vorletzte Phase von NuGASSt unter Beteiligung der Nutzer.....	207
Abbildung 6-49: Letzte Phase des PLA zur Konzepterstellung: abschließende Konzeptformulierung (Entscheidung).....	208
Abbildung 6-50: Abschließende Formulierung des Konzepts NuGASSt zur Nutzung in weiteren Anwendungstests	208

Abbildung 7-1: Erste Phase von NuGASSt zur Anwendung innerhalb des Projekts BoP	210
Abbildung 7-2: Informations- und Bedienschnittstellen direkt an und auf den Bearbeitungszentren	211
Abbildung 7-3: Struktur und Inhalte der genutzten Großdisplays (Andon-Boards) in der untersuchten Produktionsstrecke, darüber Abmessungen der angebrachten Boards.....	212
Abbildung 7-4: Zweite Phase des Konzeptdurchlaufs von NuGASSt im Projekt BoP	213
Abbildung 7-5: Visualisierung einiger der gefundenen Probleme anhand von Fotos vorgefundener Situation vor Ort	214
Abbildung 7-6: Beurteilung der Leuchtdichteverteilungen auf verschiedenen Boards unter Einfluss der Hallenbeleuchtung und Tageslichteinstrahlung mittels des Systems KALIF	215
Abbildung 7-7: Simulierter Seheindruck der Anzeigen eines Andon-Boards für einen Farbfehlsichtigen mit deutlich erkennbarem Informationsverlust.....	216
Abbildung 7-8: Dritte Phase der Anwendung von NuGASSt.....	217
Abbildung 7-9: Beispielsituation aus der Simulation zur Anwendung der neugestalteten Andon-Boards (Nachstellung einer realen Situation unter Nutzung von Daten aus der PSS).....	218
Abbildung 7-10: Ein Werker beim Test der neuen Andon-Gestaltung mittels Simulationsboard	220
Abbildung 7-11: Ergebnisse der Nutzertests am Simulationsboard zur Überprüfung der Neugestaltung der Anzeigen (auszugsweise)	220
Abbildung 7-12: Ergebnisse der Nutzertests am Simulationsboard zur Überprüfung der Neugestaltung der Anzeigen (auszugsweise)	221
Abbildung 7-13: Problemanalyse der genutzten sensorischen Kanäle zur Informationsvermittlung für eine Aufmerksamkeitssteuerung in unterschiedlichen Aufgabenkontexten verschiedener Nutzergruppen	222

Abbildung 7-14: Darstellung der über die Körperoberfläche unterschiedlich ausgeprägten Sensibilität der Mechanorezeptoren anhand der Zwei-Punkt-Schwelle	226
Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Schwellenreizstärke dreier Pacini-Rezeptoren von der Reizfrequenz	227
Abbildung 7-16: Zusammenfassung der Phasen Problemformulierung und Systemsynthese bei der Entwicklung des Vibro-Gurtes.....	227
Abbildung 7-17: oben: prinzipieller Aufbau der genutzten ERM-Motoren in Zylinderkapselung.....	230
Abbildung 7-18: Vibro-Gurt mit 20 Motoren und elektrischen Anschlüssen.....	231
Abbildung 7-19: Systemanalyse und Beurteilung als Abschluss der NuGASSt-basierten Schnittstellenentwicklung	231
Abbildung 7-20: Proband mit Vibro-Gurt während der Nutzertests	232
Abbildung 7-21: Anordnung der 20 Vibrationsmotoren am Vibro-Gurt bezüglich des Körperumfangs; Erkennungsrate von Frequenz- und Intensitätsänderungen der Motoren.....	232

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Zehn Stufen der Funktionseinteilung einer Entscheidung zum Benutzereingriff in einem Prozess.....	37
Tabelle 2-2: Einteilung bekannter technischer Systeme anhand der Kriterien aus Kap. 2.2.....	39
Tabelle 3-1: Menschliche Sinnesmodalitäten, jeweils zugehörige Reize, Rezeptoren, Sinnesorgane und Art der entstehenden Empfindung	52
Tabelle 3-2: Übersicht über die Wahrnehmungssysteme und ihre Bedeutung für die menschliche Informationsaufnahme.....	53
Tabelle 3-3: Wichtige Berechnungsgrößen am „Reduzierten Auge“ nach GULLSTRAND	58
Tabelle 3-4: Dynamikbereich des Ohrs	60
Tabelle 3-5: Erläuterung der sechs grundlegenden haptischen Explorationsstrategien	63
Tabelle 4-1: Anforderungsarten zur Erreichung von Kundenzufriedenheit nach KANO	97
Tabelle 5-1: Fragestellungen und gewünschte Ergebnisse einer Bedürfnisanalyse.....	130
Tabelle 5-2: Verkürzte Zusammenfassung der Prozessschritte bzw. Phasen und notwendigen Inhalte beim nutzerzentrierten Entwurf....	134
Tabelle 6-1: Ruelberg-Kriterien	167
Tabelle 6-2: Übersicht über die Erweiterungsmöglichkeiten des TAS-Endgeräts und deren Eignung für verschiedene Nutzergruppen.....	202
Tabelle 7-1: Zusammenfassung und Erläuterung der neu gestalteten Symbole	218
Tabelle 7-2: In den Nutzertests gefundene Erkennungsraten für drei verschiedene Muster zur Aufmerksamkeitssteuerung.....	233
Tabelle 7-3: Auflistung der Erkennungsraten verschiedener Muster für fünf getestete Navigationsaufgaben	234

Formelverzeichnis

Formel 1: Mathematische Formulierung des Automatisierungsgrades nach WEI.....	36
Formel 2: Formel zur Berechnung des tatsächlich wahrgenommenen Helligkeitseindrucks durch Zusammensetzung aus den drei Grundfarben rot, grün und blau	81

Anhang

Anhang A

Tabelle A-1: Zehn Usability-Heuristiken nach Nielsen (in Dahm 2006, S. 154 ff.)

Anforderung (Heuristik)	Möglichkeiten zur Umsetzung, zu berücksichtigende Eigenschaften und Parameter
1. Einfache und natürliche Dialoge	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung der Informationsmenge an den Lösungsablauf des Benutzers
2. Nutzung der Ausdrucksweisen des Anwenders	<ul style="list-style-type: none"> - Fachsprache des Anwenders und dessen Anwendungsgebiet berücksichtigen (z. B. Verzicht von Anglizismen für ältere Benutzer) - Hinzuziehen von Experten des jeweiligen Fachs (in jedem ist der spätere Nutzer ein Experte für „sein“ Fach!)
3. Zielsetzung minimale mentale Belastung des Benutzers	<ul style="list-style-type: none"> - Informationsmenge beschränken auf das unmittelbar Notwendige - Leistungsfähigkeit des KZG berücksichtigen (7 ± 2 chunks)
4. Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> - Gleiche bzw. gleichartige Elemente immer gleichartig darstellen (Anordnung, Form, Farbe, Verhalten, ...) - Gleiche Logik / gleiches Verhalten bei Interaktionen über das gesamte Programm hinweg
5. Rückmeldungen	<ul style="list-style-type: none"> - Jede Aktion erzeugt eine erkennbare und verständliche Reaktion - Länger dauernde Prozesse mit Restzeit, geschätzter Dauer und Fortschritt anzeigen
6. Klare Auswege	<ul style="list-style-type: none"> - Abbruchmöglichkeit vorsehen - Abbruch bringt immer eine Rückkehr zum Ausgangspunkt
7. Abkürzungsmöglichkeit schaffen	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitersparnis für erfahrene Benutzer (Tastenkürzel, Standardwerte, Listenfelder)
8. (Gute) Fehlermeldungen	<ul style="list-style-type: none"> - Konstruktive Rückmeldungen für den Benutzer - Korrekturhinweise, Markierung der Fehlerposition
9. Fehlervermeidung	<ul style="list-style-type: none"> - Ist besser als auf Fehler hinzuweisen - Auch hier Inkonsistenzen vermeiden
10. Hilfe und Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> - Unterstützung bei Anwendung und Einarbeitung - passend zum Problemfeld des Benutzers - korrekt und auf dem aktuellen Stand; passend zur verwendeten Software

Tabelle A–2: Erweiterung der NIELSEN-Heuristiken durch DAHM (s. Dahm 2006, S. 157 ff.)

Anforderung (Heuristik)	Möglichkeiten zur Umsetzung, zu berücksichtigende Eigenschaften und Parameter
1. Freude bei der Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> - Unbedingte Berücksichtigung des Faktors „Zufriedenheit“ (vgl. ISO 9241), da der Schwerpunkt klassischer Ergonomie-betrachtungen meist auf Effizienz und Effektivität liegt. - zusätzlich ist der „Joy of Use“ zu berücksichtigen.
2. Ansprechende Gestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - das ist nur sehr schwer zu quantifizieren. - ästhetische Aspekte als Mittel der Steigerung von Zufriedenheit sind aber mittlerweile akzeptiert. (s. auch Kurosu & Kashimura 1995 und Tractinsky 1997) - dazu unbedingt erfahrene Designer mit ins Boot holen.
3. Provozierende Gestaltungsvorschläge	<ul style="list-style-type: none"> - neue innovative Oberflächen statt alter Standardumgebungen - aber weiterhin angemessen für Aufgabe und Ziel
4. Minimale Gestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - auf nötigste Elemente reduzieren, ggf. später erweitern - über Iterationen mit Kunden feststellen, ob etwas bzw. was fehlt und im nächsten Iterationsschritt hinzufügen
5. Softwaregestaltung ist Arbeitsgestaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Entwickler gestalten die Arbeitsplätze vieler Anwender und haben damit auch eine hohe Verantwortung, der sie durch solide Analyse und Anforderungserhebung gerecht werden müssen - frühe Einbeziehung des Kunden statt nachträglicher Anpassungen
6. Orientierung an Abläufen	<ul style="list-style-type: none"> - Abläufe mit mehreren Schritten zusammenfassen - Reduktion auf Basisfunktionen erfordert Zusammensuchen - Führung des Anwenders erhöht Effizienz und Zufriedenheit
7. Informelle Informationen	<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung der informellen Regelungen beim späteren Anwender ermitteln und berücksichtigen - Damit werden die realen Ablaufprozesse abgebildet und die Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten einbezogen

Anhang B

Tabelle B-1: Ergebnisse der Vermessung des Aktionsbereichs des rechten Daumens.

Probanden- nummer:	Vertikal (in cm):	Horizontal (in cm):	45° (in cm):
1, w., r	7,6	3,7	4,9
2, w., r.	8,8	4,6	7,1
3, w., r.	8,7	4,9	7,2
4, m., r.	8,3	4,4	7,0
5, m., r	11,0	4,1	7,0
6, w., r.	8,7	4,5	7,2
7, w., r.	10,0	4,8	8,4
8, m., r.	9,5	5,2	7,8
9, w., r.	8,8	4,4	7,2
10, w., r.	9,8	4,1	7,0
11, w., r.	10,1	4,6	7,2
12, m., r.	10,1	5,9	8,2
13, m., r.	8,2	5,5	6,0
14, w., r.	9,6	3,9	6,9
15, w., r.	10,2	4,2	7,2
16, m., r.	11,4	5,6	7,9
17, w., r.	9,3	5,5	8,0
18, w., l.	10,1	5,0	7,6
19, w., r.	9,7	5,6	7,6
20, w., r.	9,1	5,6	8,2
Mittelwert:	9,5	4,8	7,3

Es wurden 20 Personen zwischen 13 und 30 Jahren vermessen, 6 männlich und 14 weiblich. Mit einer Ausnahme waren alle Rechtshänder. Gemessen wurde jeweils der maximale Aktionsbereich in horizontaler, vertikaler und in 45°-Richtung (das entspricht den maximalen Griffweiten in der Ruhelage sowie bei maximaler Adduktion und Opposition des Daumens).

Anhang C

Tabelle C-1: Übersicht der an der haptischen Wahrnehmung beteiligten Mechanorezeptoren (eigene Zusammenstellung nach Kern 2009b, Thews, Mutschler & Vaupel 1999, Klinke et al. 2005, Schmidt et al. 2005)

Mechanorezeptoren (MR) zur haptischen Wahrnehmung							
	MR der Haut (taktile Rezeptoren)				MR der Muskeln und Sehnen (kinästhetische Rezeptoren)		
Aufgabe	Innervation der Haut				Innervation von Muskeln, Sehnen und Gelenken		
Wirkprinzip	Reaktionen auf Bewegung des umgebenden Gewebes				Reaktion auf Spannung oder Dehnung des Rezeptors selbst		
Rezeptorart	Ruffini-Körperchen	Merkel-Zelle, Tastscheibe	Meissner-Körperchen	Vater-Pacini-Körperchen	Muskelspindel		Sehnenorgan
Reizmodalität	horizont. Dehnung	Intensität	Geschwindigkeit	Beschleunigung	Länge, Längenänderung		Spannung / Dehnung
Adäquater Reiz	Hautdehnung	Hautdeformation	Berührung, niederfreq. Vibration		Muskeldehnung		
Optimale Reizfrequenz		(0,3..3) Hz	(10..50) Hz	(50..400) Hz	-	-	-
Empfindungsqualität	Druck, Spannung	Druck	Berührung, niederfreq. Vibration	Hochfreq. Vibration	Bewegung, Stellung, Muskelermüdung		Kraft
Unterart					Kernkettenfasern	Kernsackfasern	Golgi-Organ
Adaptationsgeschwindigkeit	Langsam	Langsam	Schnell	Sehr schnell	Adaptation kaum nachweisbar		
Kategorie	SA II	SA I	RA I	RA II (PC)	-	-	-
Lage des Rezeptors	Dermis (Stratum reticulare)	Epidermis (Stratum basale)	Dermis (Stratum papillare)	Subcutis	Muskelfasern der Skelettmuskulatur		Muskel-Sehnen-Übergang

Tabelle C–2: Ermittelte Wahrnehmungsgrenzwerte der menschlichen Hand nach verschiedenen Quellen (Kern 2009a, S. 57)

Grundgröße	Kennwert	Körperstelle	Ermittelter Wert	Quelle
Statische Auslenkung bzw. Position	Handauslenkung, Absolutschwelle	Fingerspitze (taktil)	10 µm	[1]
	Zweipunktschwelle (Räumliche Auflösung)	Fingerspitze (taktil)	2 mm – 3 mm	[1, 2]
		Handfläche (taktil)	10 mm – 11 mm	[1, 3]
	Positionsauflösung	Fingergelenk (kinästhetisch)	2,5°	[4]
		Handgelenk (kinästhetisch)	2,0°	[4]
Dynamische Auslenkung	Frequenz, Obergrenze (taktile Wahrnehmung)	Finger (taktil)	5 kHz – 10 kHz	[2, 5]
	Frequenz, Obergrenze (kinästhetische Wahrnehmung)	gesamter Körper (kinästhetisch)	20 – 30 Hz	[5]
	Maximale Empfindlichkeit	Fingerspitze, Handfläche (taktil)	bei 200 Hz – 300 Hz	[6, 7, 1]
	Amplitude, Absolutschwelle	Fingerspitze, Handfläche (taktil)	0,1 µm – 0,2 µm bei 200 Hz – 300 Hz	[6, 7, 1]
	Amplitudenauflösung, Differenzschwelle (DL)	Fingerspitze (taktil)	10 % – 25 %	[7]
	Frequenzauflösung, Differenzschwelle (DL)	Fingerspitze (taktil)	8 % – 10 %	[7]
Kraft und Druck	Kraft, Absolutschwelle	Fingerspitze (taktil)	0,8 mN	[2]
		Handfläche (taktil)	1,5 mN	[2]
	Kraft, Differenzschwelle (DL)	gesamter Körper (kinästhetisch)	5 % – 10 % (ca. 7 %)	[8]
	Druck, Absolutschwelle	Finger (taktil)	0,2 N/cm ²	[9]
	Druck, Differenzschwelle (DL)	Handgelenk (kinästhetisch)	4 % – 19 %	[4]
Drehmoment	Differenzschwelle (DL)	Daumen, Zeigefinger (kinästhetisch)	12,7 %	[10]
Nachgiebigkeit	Differenzschwelle (DL)	Daumen, Zeigefinger (kinästhetisch)	5 % – 15 %	[11]

Quellen:

- [1] (Kaczmarek & Bach-Y-Rita 1995) [5] (Brooks 1990) [9] (Shimoga 1993)
 [2] (Burdea 1996) [6] (Baumann 1997) [10] (Jandura & Srinivasan 1994)
 [3] (Shimoga 1993) [7] (Blume & Boelcke 1990) [11] (Tan et al. 1994)
 [4] (Treisman 1969) [8] (Pang, Tan & Durlach 1991)

Tabelle C–3: Vergleich der wichtigsten Größen der menschlichen Hand mit eigenen Messwerten

Gemessener Parameter	Abweichung zur DIN 33402	Abweichung zum Anthropologischen Atlas
Palmare Handlänge	M: +4,30 % W: +1,72 %	
Handlänge 1 ⁵⁶		M: +4,49 % W: +4,89 %
Handbreite	M: +5,88 % W: -1,25 %	M: +2,27 % W: +1,28 %
Handumfang	M: +3,33 % W: +10,79 %	M: 0 % W: +3,17 %
Funktionale Dau- menlänge	M: 0 % W: 0 %	M: +8,22 % W: -6,15 %
Körperhöhe	M: +2,34 % W: +3,26 %	M: +4,43 % W: +4,48 %

(Grundlage sind die anthropometrischen Daten von 103 jungen Erwachsenen zwischen 20 und 30 Jahren im Vergleich zur Norm DIN 33402 bzw. dem Anthropologischen Atlas Flügel, Greil & Sommer 1986. (auf eine Angabe der Absolutwerte wurde verzichtet, da die Größenänderung der Untersuchungsgegenstand war)

⁵⁶ Handlänge 1: Geradlinige Entfernung vom Mittelpunkt einer Verbindungslinie dorsal zwischen den äußersten Punkten der beiden Handgelenkknöchel (Stylien radiale und ulnare) zu dem am weitesten distal befindlichen Punkt der rechten Mittelfingerbeere (Daktylion III) bei gestreckter Hand

Tabelle C–4: Arten und mögliche Maßnahmen der individuellen Anpassung von Nutzerschnittstellen an verschiedene Nutzergruppen und ihre Anforderungen (unvollständige Auswahl)

Art der Anpassung	Mögliche Maßnahme(n)	Für welche Nutzergruppe vorteilhaft
<i>Anpassung des Inhalts</i>	Einschränkung bzw. Filterung	alle
	Kontextbezogene Generierung oder Umgruppierung der dargebotenen Inhalte	alle
	Aufstellung individueller Sortierreihenfolgen (z. B. Datum, Ort, Relevanz von Treffern in Suchabfragen etc.)	alle
<i>Sprachliche Anpassung</i>	Vorbereitung mehrerer Sprachversionen	Jeder Muttersprachler der entsprechenden Version
	(Ausschließliche) Verwendung der in der Gruppe gebräuchlichen Begriffe und Termini	Senioren, Kinder, Personen mit kognitiven Einschränkungen
	Reduktion der Anzahl verwendeter Begriffe	s.o.
	Vermeidung von Abkürzungen (insb. ungebräuchlicher, nur in dieser Anwendung zum Einsatz kommender)	alle
<i>Ausgabe über verschiedene Sinnesmodalitäten</i>	Konsequente Umsetzung des „Zwei-Sinne“-Prinzips	Sensorisch eingeschränkte Personen, alle
	Möglichkeit zur Einbindung verschiedener (persönlicher, individuell vorhandener und gewohnter) Ausgabegeräte	Sensorisch eingeschränkte Personen
<i>Anpassung des äußeren Erscheinungsbildes (Look and Feel)</i>	Auswahl aus vorgegebenen Farbschemata z. B. zur Kontrastverbesserung	Personen mit visuellen Handicaps
	Schriftart- und -größenanpassung	Personen mit visuellen Handicaps, Senioren
	Gezielte Farbveränderung oder -verfälschung (z. B. Daltonizing)	Farbfehlsichtige (also ca. 10% aller Nutzer)
<i>Anpassung der Eingabeschnittstelle</i>	Auswahl aus verschiedenen Eingabegeräten nach Art und Umfang der Vorerfahrungen	alle
	Einstellung der Sensitivität zur Auslösung des Eingabevorgangs (evtl. durch integrierte Performancetests, Bsp. Windows-Doppelklick)	alle
	Einbindung bzw. Verwendungsmöglichkeit eigener Eingabegeräte	alle, vor allem Personen mit verschiedenen schweren Einschränkungen (z. B. Tetraplegiker)

Anhang D

D-1: Seite 1 des Datensatzes 1 (Kenwood KR-V888D) der FB-Datenbank (Microsoft® Access®)

Fernbedienungsdatenbank
TUI - MB - AWI



Gerätedaten im Überblick

Markenname: Kenwood
Gerätename: KR-V888D
vergleichbarer Typ: Kenwood KR-V9090D, Kenwood KR-V999D

Name und Inhalt	Bewertung
Datensatz-Nummer: <input type="text" value="1"/> <small>Abhängig vom Bearbeitungszustand der Datenbank. Kann sich ändern!</small>	
laufende Nummer: <input type="text" value="3"/> <small>Entspricht nicht der Datensatz-Nummer!</small>	
Datum: <input type="text" value="12.03.2002"/>	

Allgemein

Gerätezugehörigkeit		Bewertung
Geräteklasse:	<input type="text" value="HiFi-Anlagen"/>	keine Bewertung
Gerätekonformität:	<input type="text" value="gut"/>	<input type="text" value="1"/>

Marktdaten

Erscheinungszeitpunkt:	<input type="text" value="Okt 1997"/>	keine Bewertung
Image der Marke:	<input type="text" value="positiv"/>	<input type="text" value="1"/>
Preis:	<input type="text" value="800,00 €"/>	keine Bewertung
Preis-Leistungs-Verhältnis:	<input type="text" value="negativ"/>	<input type="text" value="-1"/>

Bedienung

Eingabe-Hardware	Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Funktionstasten	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Cursorkreuz	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> sensitive Bereiche	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Joystick	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Laufrad	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Trackball	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Schrifterkennung	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Spracheingabe	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Bewegungserkennung	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> Eye-Tracking	keine Bewertung

Grundfunktionen

Grundfunktionstasten:	<input type="text" value="ja (alle)"/>	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Ein/Aus-Schalten		keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Lautstärke-Wahl		keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Mute (Stummschaltung)		keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Programm-Wechsel		keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Programm-Zugriff direkt		keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Programm-Nummer ein-/mehrstellig		keine Bewertung

D-2: Seite 2 des Datensatzes 1 (Kenwood KR-V888D) der FB-Datenbank (Microsoft® Access®)

Markenname: Kenwood
 Geräte name: KR-V888D
 vergleichbarer Typ: Kenwood KR-V9090D, Kenwood KR-V999D

Name und Inhalt	Bewertung
Tastenfeld	
Anzahl Funktionen: 60 Stk	1
Anzahl Tasten: 20 Stk	2
Gruppierung: ja (sehr gut)	2
Abdeckung: nein (nicht notwendig)	1
mehrseitige Aufbringung: ja	-1
Abstand: sehr gut	2
Grösse: 11-16mm bzw. 11x11-16x16mm²	1
unterschiedliche Form: ja (Gruppe)	1
Erreichbarkeit: sehr gut	2
Stellkräfte: 1,8 N	0
Beleuchtung: ja (temporär)	2
Bedienungskonzept	
Aufgabenangemessenheit: gut	0
Beschäftigungsaufwand: 60 min	-1
Fehlerbehandlung: nein	0
Hilfefunktion: nein	-1
Handbuch: ja (befriedigend)	1
Kindersperre: nein	-1
Tastensperre: nein	-1
Personalisierung: nein	-1
Anpassung: nein	-1
Makrofähigkeit: ja	1
Textübermittlung: nein	0

Beschriftung	
<input type="checkbox"/> Sprache entsprechend Vertriebsgebiet	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> sonstige Sprache	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Verwendung von Abkürzungen	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> Verwendung von Symbolen	keine Bewertung

Rückmeldungsart	
haptisch an Fernbedienung: ja (ausreichend)	0
<input type="checkbox"/> auditiv an Fernbedienung	keine Bewertung
<input checked="" type="checkbox"/> visuell an Fernbedienung	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> auditiv an Gerät	keine Bewertung
<input type="checkbox"/> visuell an Gerät	keine Bewertung

Anhang E

Tabelle E-1: Beispieltabelle der Klassifikation von Hindernissen (Auszug)

Nutzerzuordnung (Nutzerklasse)									
Bezeichnung	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bordstein, Kante	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Bordsteinabsenkung, Kanten	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Einfassungen (Rabatten, Beete)	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Loch, Unebenheit	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gulli	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Steine, Wurzeln, Gegenstände	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rinne	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Belagwechsel	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Belagwechsel mit Höhenunterschied	1	1	1	1	1	1	1	1	1
schief verlegte Platten, Steine, Pflaster	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Zuordnung verschiedener identifizierter Hindernisse zu vorher festgelegten Nutzerkategorien (1: relevant; 0: nicht relevant)

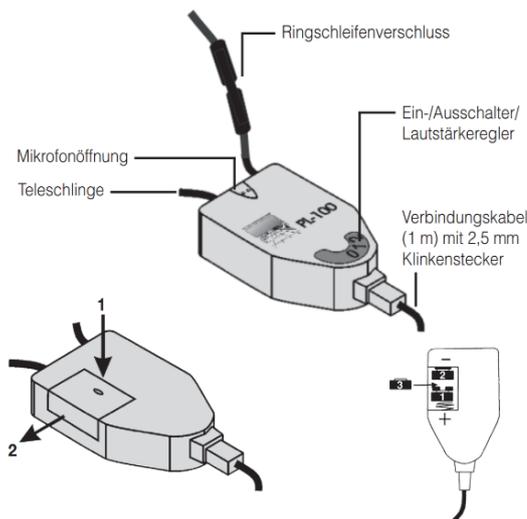
Tabelle E–2: Technische Daten der als Endgerät im Projekt TAS eingesetzten PDA



Parameter	Wert, Eigenschaft
iPAQ Betriebssystem:	Microsoft® Windows Mobile™ 2003 Second Edition Software
iPAQ Prozessor hx2210:	Intel® PXA270
Prozessorgeschwindigkeit:	312 MHz
iPAQ Standardspeicher:	64 MB ROM und 64 MB SDRAM
Maximale Speicherkapazität:	Über Optionale SD-Karte bis 2 GB
iPAQ Speichersteckplätze/SD-Steckplatz:	Unterstützung der Speicherstandards 1-Bit-SDIO und 4-Bit-SD/MMC
Systemmerkmale iPAQ hx2110:	USB-Synchronisationskabel, 64K Farben 16 Bit mit LED-Hintergrundbeleuchtung, Display- Transfektiv
Auflösung (B x H):	240 x 320 Pixel
Größe des iPAQ Anzeigegeräts:	3,5 Zoll (8,9 cm)
Typ des Anzeigegeräts:	QVGA TFT
Tastatur:	BT faltbare Tastatur, Mikrotastatur optional
Maus / Zeigegerät des iPAQ:	Touchscreen und Zeigestift
Wireless Technologien:	serielles Infrarot, integrierte, drahtlose Bluetooth® Technologie, WLAN, GSM, GPRS
Interne iPAQ Audiofunktionen:	Mikrofon, Empfänger und Lautsprecher integriert, 1 3,5 mm-Stereokopfhörerbuchse, MP3-Stereo (Kopfhörerbuchse)
Netzteiltyp:	Stromversorgung – Eingangsspannung: 100-240V AC, 50/60Hz, Eingangsstrom: 0,3A max.; Ausgangsspannung: 5V DC, Ausgangsstrom: 2A
iPAQ Maße hx2210 (B x T x H):	76,6 x 16,3 x 119,4 mm
Gewicht iPAQ:	164,4 g

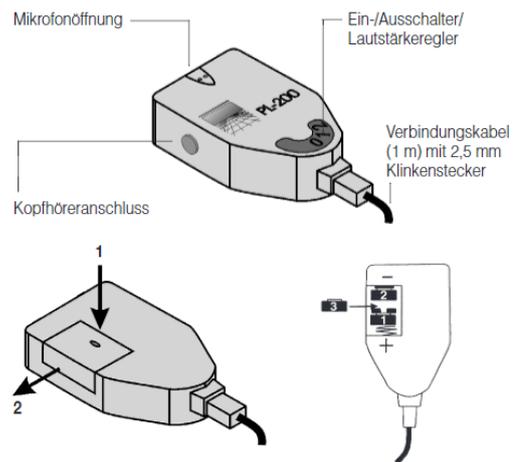
Tabelle E-3: Zusatzkomponenten zum TAS-Endgerät

Induktiver Telefonverstärker und Freisprecheinrichtung PL-100 (Verstärker mit Teleschlinge für Handys, Fa. Humantechnik) bzw. PL-200 (Handyverstärker für Kopfhöreranschluss, Fa. Humantechnik)



PL-100

(für Hörgeräte mit integrierter Hörspule)



PL-200

(zum Anschluss an beliebige Handys und Nutzung von Kopfhörern)

Technische Daten

Höhe: 53 mm
 Breite: 48 mm
 Tiefe: 26 mm
 Gewicht: 41 g
 Verstärkung:
 ca. + 35 dB +/- 10 % (induktiv)

Technische Daten

Höhe: 53 mm
 Breite: 48 mm
 Tiefe: 26 mm
 Gewicht: 41 g
 Verstärkung:
 ca. + 25 dB +/- 10 % (akustisch)

Anhang F

Fragebogen zum Experiment 2 „Neue Informationsdarbietung“:

Sehr geehrte Mitarbeiter im Werk Steyr,

mit Hilfe dieses Experiments sollen die im Experiment 1 (Qualifizierung) identifizierten Bereiche zur Optimierung des Andon-Boards simulativ überprüft werden. Dabei werden verschiedene Gestaltungsvorschläge der vorhandenen Ist-Situation gegenübergestellt. Wir bitten Sie darum, nach der Durchführung des kurzen Tests am Simulationsboard Ihre Meinung zu den vorgeschlagenen Varianten mit Hilfe dieses Fragebogens abzugeben. Damit ist es möglich, im nächsten Optimierungsschritt wiederum gezielt Ihre Erfahrungen in die Gestaltung einfließen zu lassen. Das gesamte Experiment wird ca. 10 bis 15 min pro Mitarbeiter in Anspruch nehmen. Wir hoffen, dass Sie diese Zeit für die Verbesserung Ihrer Arbeitsbedingungen aufwenden können.

Vielen Dank.

- | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Ja | Nein | |
| 1. Haben Sie einen Unterschied in der Gestaltung der Anzeigen bemerkt? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 2. Fanden Sie die folgenden Symbole einprägsamer als die bisherigen? | Ja | Nein | Weiß nicht |
| Anzeige einer <i>Störung</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anzeige eines <i>Maschinenstopps</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anzeige eines <i>werkzeugbedingten</i> Stillstands | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anzeige des Zustands „ <i>Einlauf leer</i> “ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anzeige des Zustands „ <i>Auslauf belegt</i> “ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anzeige eines „ <i>Mitarbeiters vor Ort</i> “ (an der Maschine) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Halfen Ihnen die zusätzlichen Symbole zur schnelleren Erkennung? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Durch das Anzeigen zusätzlicher Symbole sind einige Bereiche neu gestaltet worden. Geben Sie bitte Ihre Meinung an: | | | |
| | besser | genauso gut | schlechter |
| Finden Sie das Wegfallen von Anzeigen der Nachbarbereiche | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Finden Sie zusätzliche Symbole zur Zustandssignalisierung | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Finden Sie die Einblendzeiten der einzelnen Zustände | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Finden Sie die zusätzliche Anzeige weiterer Störungen der AFO | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Die Informationszeile (sog. „Laufschrift“) wurde geändert. Finden Sie die neue Variante | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Können Sie sich vorstellen, dass die neuen Gestaltungen zu einer Verringerung der Belastung bei der Nutzung des Andon-Boards führen? | Ja | Nein | Weiß nicht |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Könnten Sie sich vorstellen, dass über die Informationszeile gezielt Mitarbeiter zu einzelnen Maschinen oder AFOs gerufen werden? | Ja | Nein | Weiß nicht |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

8. Schätzen Sie nun bitte die vorgeschlagenen Änderungen noch einmal detailliert ein.

Geben Sie dabei Ihre Wertung bitte nach folgender Skala ab:

- | | |
|---|---|
| sehr hilfreich / sehr erwünscht / häufig notwendig: | 1 |
| hilfreich / erwünscht / mitunter notwendig | 2 |
| ohne Einfluss, nicht notwendig | 3 |
| etwas störend / unerwünscht | 4 |
| sehr störend / keinesfalls erwünscht | 5 |

	1	2	3	4	5
Eine längere Anzeigezeit der Zustände ist	<input type="checkbox"/>				
Die Farbzurordnung der Zustände ist	<input type="checkbox"/>				
Die Veränderung der Signalisierung eines Mitarbeiters vor Ort ist	<input type="checkbox"/>				
Die Änderung der Informationszeile ist	<input type="checkbox"/>				
Der Wegfall von Anzeigen über Zustände aus benachbarten Zonen ist	<input type="checkbox"/>				

9. Äußern Sie sich nun bitte zur voraussichtlichen Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit der geänderten Darstellungen. Verwenden Sie dabei bitte folgende Skala:

- | | |
|--------------------------------|---|
| sehr gut erkennbar / lesbar | 1 |
| gut erkennbar / lesbar | 2 |
| ausreichend erkennbar / lesbar | 3 |
| schlecht erkennbar / lesbar | 4 |
| nicht erkennbar / lesbar | 5 |

	1	2	3	4	5
Darstellung des Maschinenstillstands	<input type="checkbox"/>				
Darstellung des Mitarbeiters vor Ort	<input type="checkbox"/>				
Darstellung des Zustands „Einlauf leer“	<input type="checkbox"/>				
Darstellung des Zustands „Auslauf belegt“	<input type="checkbox"/>				
Darstellung einer allgemeinen Störung	<input type="checkbox"/>				
Darstellung eines werkzeugbedingten Stillstands	<input type="checkbox"/>				
Wechselnde, aber „stehende“ Schrift in der Infozeile	<input type="checkbox"/>				

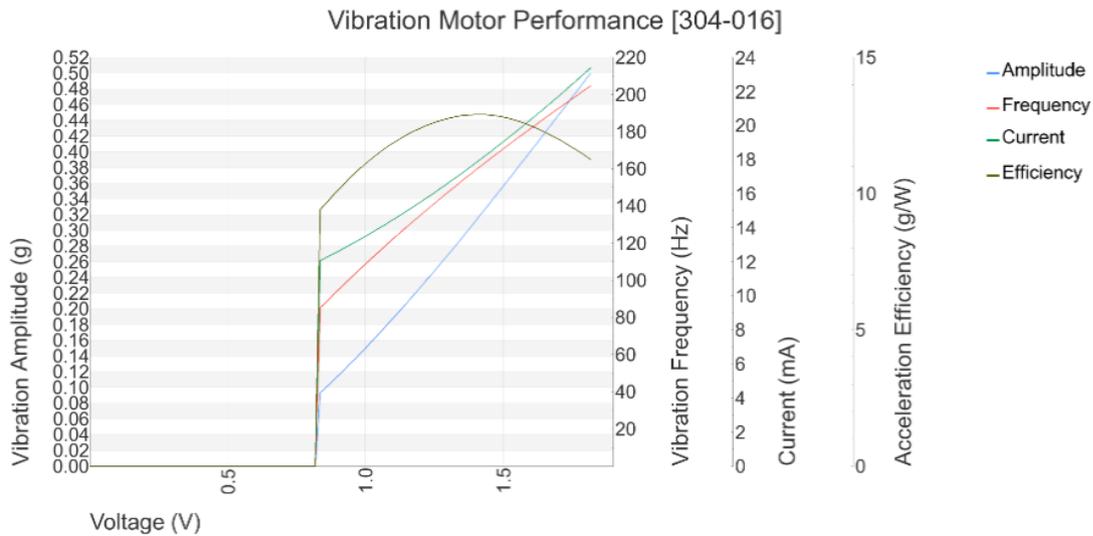
10. Bitte geben Sie zum Abschluss noch an, wie groß Ihr Wunsch ist, dass die Vorschläge in einem weiteren Experiment am realen Board getestet und ggf. umgesetzt werden.

	Sehr groß	Weder groß noch gering	Sehr gering
Darstellung des Maschinenstillstands	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darstellung des Mitarbeiters vor Ort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darstellung des Zustands „Einlauf leer“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darstellung des Zustands „Auslauf belegt“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darstellung einer allgemeinen Störung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darstellung eines werkzeugbedingten Stillstands	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wechselnde, aber „stehende“ Schrift in der Infozeile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

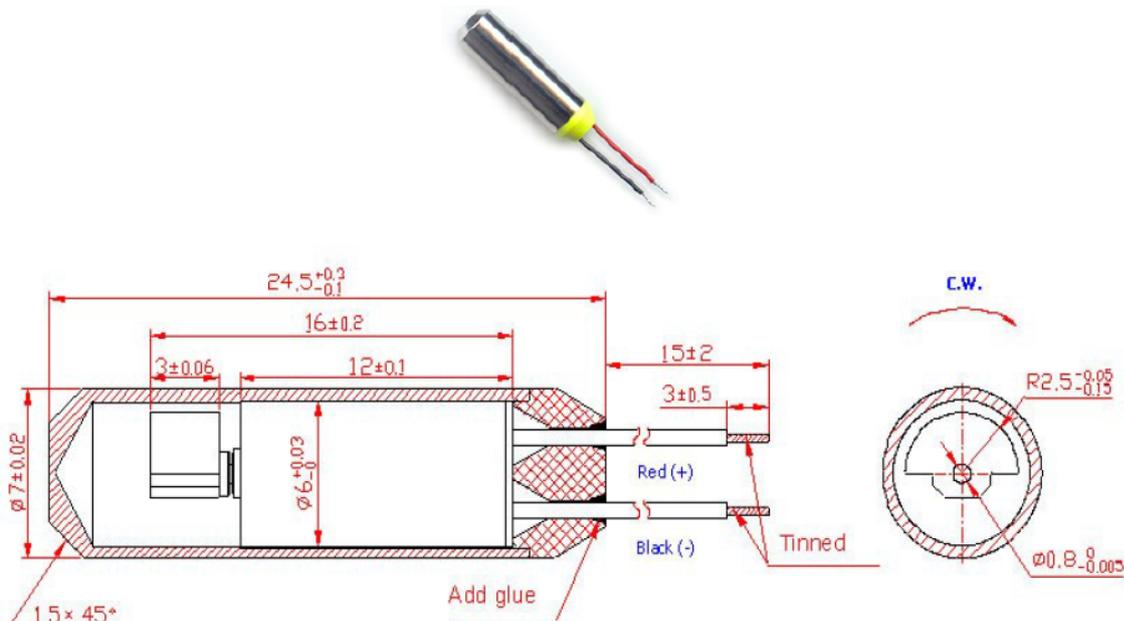
Anhang G

Typische Kennlinie eines Zylinder-ERM-Motors

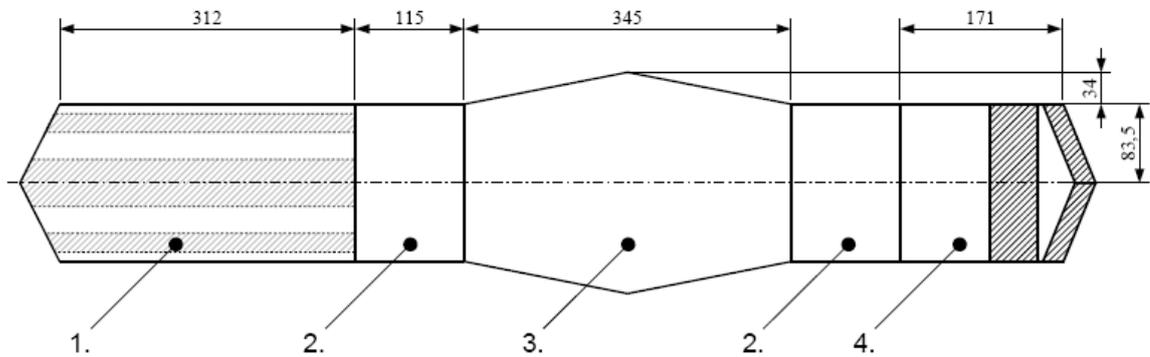
(Precision Microdrives™ Pico Vibe™ 5 mm Vibration Motor – 11 mm Type Nr. 304-016, Quelle Datenblatt unter <https://www.precisionmicrodrives.com/file/5996/download?token=KsZSs6f7>, abgerufen 25.10.2016)



Abmessungen des verwendeten Vibrationsmotors Z6DL2H0125212 (Fa. Jinlong Machinery & Electronics)



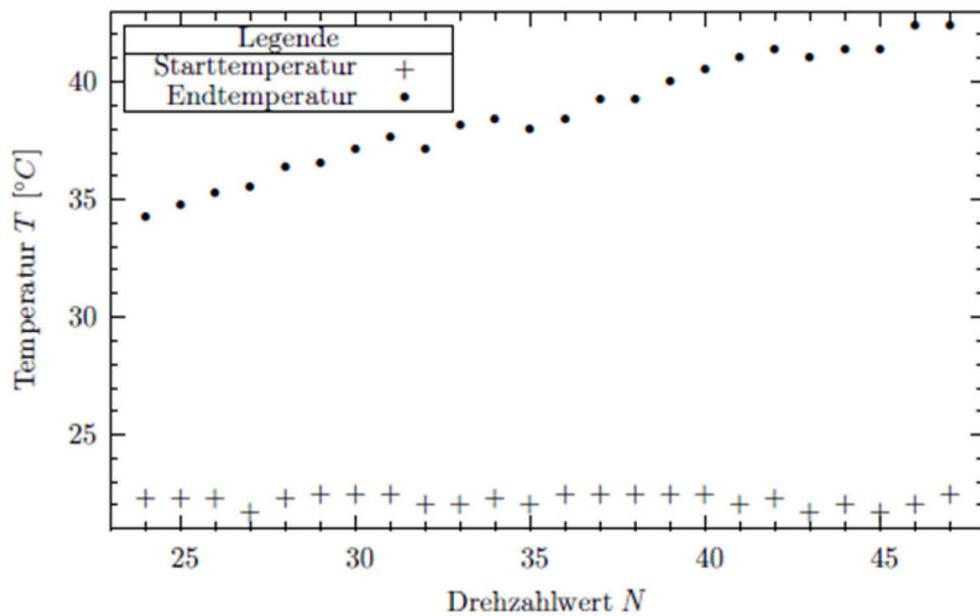
Skizze des verstellbaren Bauchgurtes



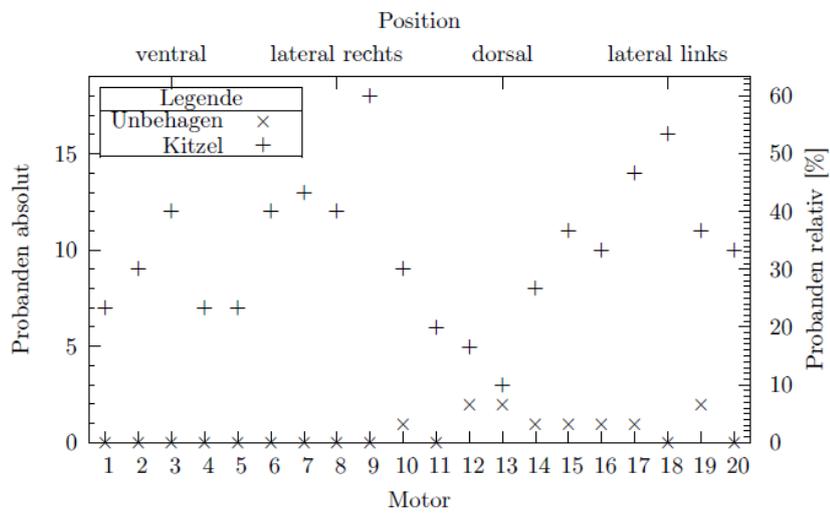
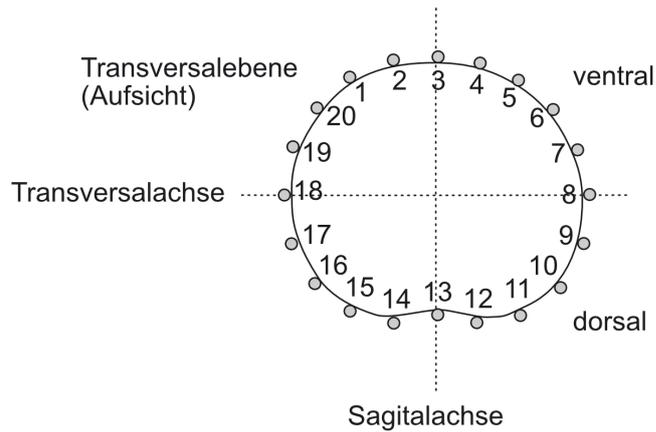
Verstellbarer Bauchgurt (Grundträger für Vibro-Gurt),
Material Polyamid (Nylon):

1. Verschluss Außenseite (Klettverschluss Schlaufen)
2. Dehnbarer Bereich
3. Mittelteil
4. Verschluss Innenseite (Klettverschluss Häkchen)

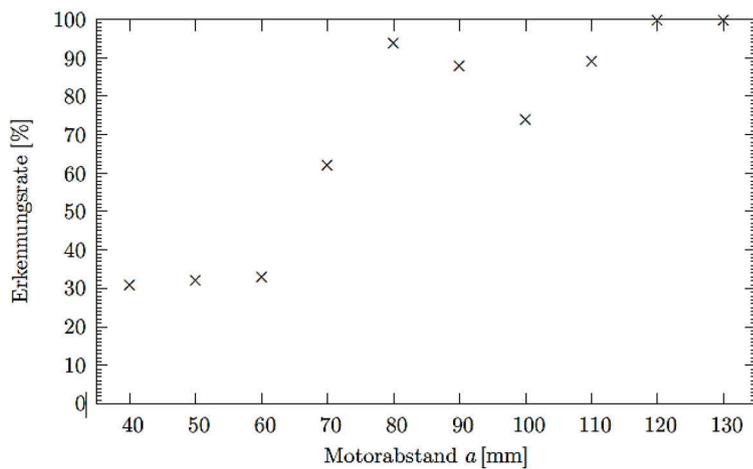
Aufgenommene Kennlinien der verwendeten Motoren



Überprüfung der Abhängigkeit der Temperatur von der Drehzahl für 300 s
Laufzeit



Überprüfung der Reizempfindung der Probanden in Abhängigkeit zur Motorposition



Überprüfung der Erkennungsrate in Abhängigkeit vom Motorabstand

