

C. Stöber, B. Williger, H. Meerkamm, F.R. Lang (Hrsg.)

LEITFADEN FÜR DIE ALTERNSGERECHTE PRODUKTENTWICKLUNG



FRAUNHOFER VERLAG

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

LEITFADEN FÜR DIE ALTERNSGERECHTE PRODUKTENTWICKLUNG

C. Stöber
B. Williger
H. Meerkamm
F.R. Lang (Hrsg.)

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Am Wolfsmantel 33
91058 Erlangen
Telefon +49 9131 7761065
Telefax +49 9131 7762099
E-Mail janina.heppner@iis.fraunhofer.de
URL www.iis.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN 978-3-8396-0416-8

Druck und Weiterverarbeitung:

IRB Mediendienstleistungen
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2012

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 800469, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-2500
Telefax 0711 970-2508
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Vorwort

In dem von der Bayerischen Forschungstiftung geförderten Forschungsverbund „Zukunftsorientierte Produkte und Dienstleistungen für die demographischen Herausforderungen“ (FitForAge) widmeten sich dreizehn Projektteams in drei Themenfeldern und zwei Querschnittsprojekten gemeinsam mit mehr als 20 Industrieunternehmen und Dienstleistern über eine Laufzeit von drei Jahren (01/2008 bis 03/2011) den Herausforderungen, die sich im Zusammenhang mit der demographischen Entwicklung hin zu einer älter werdenden Bevölkerung in den kommenden Jahrzehnten stellen. Dabei ging es im Forschungsverbund vor allem um technikbasierte Lösungen für älter werdende Menschen in der Lebenswelt der Zukunft, sowohl im häuslichen Bereich als auch in der Arbeitswelt und im Verkehr. Der Fokus des Projekts lag nicht nur auf der Unterstützung der Menschen durch neue Technik, sondern auch auf der Anpassung von bestehenden technischen Lösungen an die Anforderungen und Bedürfnisse der Zielgruppe.

Den beiden Querschnittsprojekten Fit4Use und Fit4Product kam im Verbund die zentrale Aufgabe zu, projektübergreifend die Akzeptanz und Nutzung altersgerechter Technik zu untersuchen und den Projektpartnern bewährte und neue Methoden und Ansätze zur Entwicklung von Produkten für eine ältere Zielgruppe zur Verfügung zu stellen. So war es Ziel des Querschnittsprojekts Fit4Use, die einzelnen Teilprojekte bei ihren Entwicklungsarbeiten hinsichtlich der Einbindung potentieller Endnutzer und im Hinblick auf die Evaluation der prototypischen Entwicklungen zu beraten und zu unterstützen. In diesem Zusammenhang wurde ein „Seniorenbeirat für die Produktentwicklung“ (SEN-PRO) eingerichtet, dessen Mitglieder die in FitForAge erarbeiteten technischen Lösungen in regelmäßigen Abständen auf Basis unterschiedlicher methodischer Zugänge kritisch bewerteten. Da das dritte Lebensalter wie keine andere Phase der menschlichen Entwicklung die gesamte Heterogenität von Fähigkeiten und Bedürfnissen abdeckt und damit äußerst hohe Anforderungen an die Differenziertheit der Produkte stellt, erarbeitete das Querschnittsprojekt Fit4Product mit den einzelnen Teilprojekten Lösungsansätze zur Individualisierung und Modularisierung altersgerechter Produkte. Ziel von Fit4Product war es, ausgehend von der präzisen Erfassung der Anforderungen, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die eine erforderliche Individualisierung von Produkten für ältere Erwachsene leicht und kostengünstig ermöglichen.

Der vorliegende „Leitfaden für die altersgerechte Produktentwicklung“ ist ein Ergebnis der Arbeiten der Querschnittsprojekte Fit4Use und Fit4Product. Der Erfolg der Projekte ist zu einem großen Anteil der besonderen interdisziplinären Zusammensetzung

des Verbundes aus Ingenieurwissenschaftlern unterschiedlicher Fachrichtungen, Informatikern, Wirtschaftswissenschaftlern, Psychologen, Medizinerinnen und Gerontologen geschuldet. Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle deshalb allen Projektpartnern für den fachlichen Austausch, Janina Heppner und Dr. Ulrich Wiese für ihre Anmerkungen zu früheren Versionen dieses Leitfadens und Prof. Heinz Gerhäuser für die fachliche wie auch finanzielle Unterstützung unseres Vorhabens. Darüber hinaus danken wir den Gutachtern für ihre stets kritischen Anmerkungen, den Mitgliedern des „Seniorenbeirats für die Produktentwicklung“ für ihre konstruktive und tatkräftige Teilnahme an den zahlreichen Studien und nicht zuletzt der Bayerischen Forschungstiftung für die Förderung dieses Projektvorhabens.

Erlangen, den 01.05.2012

Bettina Williger, Frieder R. Lang
Querschnittsprojekt Fit4Use

Christina Stöber, Harald Meerkamm
Querschnittsprojekt Fit4Product

Inhaltsverzeichnis

1. Bedeutung der altersgerechten Produktentwicklung	
<i>B. Williger, C. Stöber, F.R. Lang & H. Meerkamm</i>	9
2. Senioren als Zielgruppe der Produktentwicklung	
<i>B. Williger & F.R. Lang</i>	13
2.1. Was ist Alter(n)?.....	14
2.1.1. Sensorische Fähigkeiten.....	16
2.1.2. Motorische Fähigkeiten	17
2.1.3. Kognitive Fähigkeiten	17
2.1.4. Selbstregulative Fähigkeiten	19
2.2. Rahmenmodell zur Evaluation altersgerechter Produkte	21
3. Prozessmodell für die altersgerechte Produktentwicklung	
<i>C. Stöber & H. Meerkamm</i>	26
3.1. Mechatronische Systeme.....	27
3.1.1. Definition	27
3.1.2. Mechatronisches System als Regelkreis.....	29
3.2. Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung.....	31
3.2.1. Überblick über Vorgehensmodelle in der Mechatronik.....	32
3.2.2. Domänenspezifische Vorgehensmodelle	36
3.2.3. Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Entwicklungsmethoden	58
3.3. Aspekte der individualisierten Produktentwicklung für ältere Menschen.....	60
3.3.1. Umgang mit Leistungseinschränkungen	61
3.3.2. Modularisierung.....	70
3.3.3. Richtlinien und Katalog mit Leistungseinschränkungen.....	86
3.3.4. Prozessmodell für die Entwicklung von altersgerechten Produkten.....	97
4. Methoden der altersgerechten Produktentwicklung im Prozessmodell	
<i>C. Stöber, B. Williger, H. Meerkamm & F.R. Lang</i>	103

5. Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaften	
<i>C. Stöber & H. Meerkamm</i>	113
5.1. Kano-Modell.....	113
5.2. Quality Function Deployment (QFD).....	117
5.3. Modular Function Deployment.....	122
5.4. Integration Analysis of Product Decompositions	124
5.5. Richtlinienunterstützung.....	125
6. Methoden der Nutzereinbindung	
<i>B. Williger & F.R. Lang</i>	113
6.1. Fragebogen	138
6.2. Einzelinterview.....	141
6.3. Gruppeninterview (Fokusgruppe).....	145
6.4. Beobachtung.....	148
6.5. Lautes Denken.....	151
6.6. Eye-Tracking.....	154
6.7. Pilotierung.....	158
7. Altersgerechte Produktentwicklung am Beispiel „Fitnessbegleiter“	
<i>M. Rulsch, B. Williger, C. Stöber, F.R. Lang & H. Meerkamm</i>	162
7.1. Schritt 1: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.....	163
7.2. Schritt 2 und 3: Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen / Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	166
7.3. Schritt 4: Gesamtkonzept entwickeln	167
7.4. Schritt 5: Systemgestaltung	176
7.5. Schritt 6: Produktionsanlauf und -betreuung.....	181
8. Referenzen.....	182

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	Prozessmodell für nutzerzentrierte Produktentwicklung nach ISO EN 13407	10
Bild 2	Differenzierung von Mechanik und Pragmatik.....	18
Bild 3	Nutzerkompetenz und Technikanforderungen	22
Bild 4	Modell der Evaluation altersgerechter Technik aufgrund von Prinzipien der gelingenden Lebensgestaltung	24
Bild 5	Produkt 2020.....	26
Bild 6	Aufbau eines Regelkreises	29
Bild 7	Aufbau eines mechatronischen Systems	30
Bild 8	Rule of ten.....	32
Bild 9	V-Modell nach VDI 2206	33
Bild 10	Drei-Zyklen-Modell der Produktentstehung	34
Bild 11	FORFLOW-Prozessmodell.....	35
Bild 12	Vorgehensmodelle zum Konzipieren von technischen Produkten	36
Bild 13	Vorgehensmodell nach Pahl und Beitz.....	38
Bild 14	Y-Diagramm nach Gajski-Walker.....	42
Bild 15	Vorgehensmodell bei der Entwicklung digitaler Schaltungen.....	43
Bild 16	Qualitative Anforderungen an ein Softwareprodukt	48
Bild 17	Sequentielles Vorgehensmodell bei Softwareentwurf	50
Bild 18	Wasserfallmodell	52
Bild 19	V-Modell.....	53
Bild 20	Spiralmodell	54
Bild 21	Blockschaltbild eines Regelkreises in Zustandsform	55
Bild 22	Vorgehensmodell in der Regelungstechnik.....	57
Bild 23	Entwicklungsprozess von seniorengerechten Produkten	61
Bild 24	Situation der Produktentwicklung als Black-Box.....	62
Bild 25	Vorgehensweise zur Übersetzung von Leistungseinschränkungen in Anforderungen	63
Bild 26	Kategorisierung von Leistungseinschränkungen.....	64
Bild 27	Wechselwirkungen zwischen den Komponenten der ICF	65
Bild 28	Analyse alterstypischer Krankheiten: Beispiel Osteoporose.....	67

Bild 29	Anforderungserfassung der Kommunikationsschnittstelle	68
Bild 30	Anforderungen für Elemente im Gebrauch am Beispiel Sinne (Auszug).....	69
Bild 31	Aufbaustruktur eines Systems	71
Bild 32	Produktarchitektur nach Pahl und Kollegen	72
Bild 33	Verschiedene Systemstrukturen	73
Bild 34	Produktstruktur mit Individualisierungsgraden	76
Bild 35	Strukturplanungsprozess nach Lindemann und Kollegen	79
Bild 36	Einteilung von Modulen	80
Bild 37	Verknüpfung von Leistungseinschränkungen mit Funktionszuordnung	82
Bild 38	Zuordnung/Ableitung von Leistungseinschränkungen zu Anforderungen am Beispiel eines Rollators	83
Bild 39	Matrix nach Pimpler und Eppinger für einen Rollator	84
Bild 40	MIM nach Erixon für einen Rollator	84
Bild 41	Module eines Rollators	85
Bild 42	Handgriff und Unterarmauflage als Varianten des Moduls Griff	86
Bild 43	Gestaltungsrichtlinie für Bauteile aus Gusswerkstoffen	88
Bild 44	Datenbank mit Hilfestellungen für Produktentwickler	96
Bild 45	Übersicht über angezeigte Richtlinien	96
Bild 46	Aufbau des FORFLOW Prozessmodells	99
Bild 47	Einordnung der Methoden in das Prozessmodell	103
Bild 48	Übersetzung von Nutzerbedürfnissen in Anforderungen	105
Bild 49	Zuordnung von Funktionen zu Nutzerbedürfnissen.....	106
Bild 50	Bewertung von Lösungsprinzipien	107
Bild 51	Modularisierung.....	108
Bild 52	Evaluation des Gesamtsystems.....	109
Bild 53	Einbindung von Endnutzern zur summativen Evaluation	110
Bild 54	Produktionsanlauf und -betreuung.....	112
Bild 55	Kano-Modell.....	114
Bild 56	Phasen des QFD	118
Bild 57	Querschnitt eines House of Quality	119
Bild 58	Vorgehen beim Modular Function Deployment	122
Bild 59	MIM nach Erixon für einen Rollator	123
Bild 60	Matrix nach Pimpler und Eppinger für einen Rollator	125

Bild 61	Übersicht über Gestaltungsrichtlinien für barrierefreie Haushaltsgeräte	126
Bild 62	Auswahl der Greifartgruppen	130
Bild 63	Ablauf des Entwicklungsprozesses für den Fitnessbegleiter	162
Bild 64	Systemübersicht Fitnessbegleiter	164
Bild 65	Blockschaltbild des Gesamtsystems	166
Bild 66	Softwareseitiger modularer Aufbau des Fitnessbegleiters	172
Bild 67	Struktur des Menüs des Fitnessbegleiters	175

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht über Leistungseinschränkungen und resultierende Anforderungen an Bedienelemente	68
Tabelle 2	Potentiale und Gefahren modularer Strukturen.....	75
Tabelle 3	Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines schnurlosen Telefons.....	95
Tabelle 4	Modultreiber nach Erixon	123
Tabelle 5	Berücksichtigung sensorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers.....	127
Tabelle 6	Berücksichtigung motorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers	128
Tabelle 7	Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers	129
Tabelle 8	Übersicht über Methoden der Nutzereinbindung	136
Tabelle 9	Auszug aus Anforderungsliste für den Fitnessbegleiter	165
Tabelle 10	Komponentenanalyse des Fitnessbegleiters in tabellarischer Form.....	168
Tabelle 11	MIM Matrix nach Erixon	169
Tabelle 12	Interaktionsmatrix der Module	169
Tabelle 13	Matrix nach Pimmler und Eppinger für den Fitnessbegleiter	170
Tabelle 14	Berücksichtigung sensorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. Menüführung und Softwareergonomie.....	177
Tabelle 15	Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. Menüführung und Softwareergonomie.....	178

1. Bedeutung der altersgerechten Produktentwicklung

Bettina Williger, Christina Stöber, Frieder R. Lang & Harald Meerkamm

Ältere Personen gewinnen als Zielgruppe für Produktentwicklung und Marketing an Bedeutung. Aufgrund der stetig steigenden Lebenserwartung und dem Rückgang der Geburtenrate werden in 50 Jahren 34 Prozent der deutschen Bevölkerung über 65 Jahre alt sein und auch der Anteil der über 80-Jährigen wird weiter wachsen (Statistisches Bundesamt, 2009). Diese Entwicklung stellt besondere Anforderungen an die Gesellschaft, gerade was die gesundheitliche und finanzielle Versorgung angeht. Nichtsdestotrotz verfügt die Gruppe der über 65-Jährigen über eine hohe Wirtschaftskraft und lässt somit einen Markt für Produkte und Dienstleistungen entstehen, die bis ins hohe Alter oder insbesondere in dieser Lebensphase Anwendung finden (vgl. Gassmann & Reepmayer, 2007). Obwohl technische Lösungen für die Aufrechterhaltung der Mobilität und Selbständigkeit älterer Erwachsener mit zunehmenden Beschwerden an Bedeutung gewinnen, kann deren Verbreitung nicht zwangsläufig vorausgesetzt werden. So erfahren insbesondere neuere Entwicklungen aus dem Bereich Ambient Assisted Living nicht die Nachfrage und Nutzung, die auf Basis der implementierten Funktionalitäten zu erwarten wären (vgl. Meyer & Mollenkopf, 2010). Auch etablierte Kommunikationstechnik, wie Mobiltelefone, Computer und Internet, wird von Senioren bei Weitem noch nicht in demselben Ausmaß genutzt wie von einer jüngeren Vergleichsgruppe (z. B. Nonliner-Atlas, 2011). Theoretische Grundüberlegungen und spezifische wissenschaftliche Befunde, aber auch der Erfolg einzelner Produkte (z. B. SUV, iPhone), machen deutlich, dass Technik im Alter insbesondere dann Verwendung findet, wenn neue Technik den Fähigkeiten, Wünschen und Bedürfnissen einer älteren Zielgruppe gerecht werden (siehe Kapitel 2).

Die Akzeptanz und Nutzung neu entwickelter Produkte kann im Allgemeinen vor allem über Entwicklungsansätze gesteigert werden, die die Nutzer mit ihren Bedürfnissen und Wünschen fokussieren. Der traditionelle Produktentwicklungsprozess sieht vor, dass ein neues Produkt zunächst von einem Ingenieur entwickelt und nach (prototypischer) Fertigstellung durch den Endnutzer evaluiert wird (summative Evaluation). Dieses Vorgehen weist jedoch zahlreiche Schwachstellen auf, da Entwickler vor allem in der Analyse- und Anforderungsphase auf Ratschläge und Anregungen durch erfahrene Nutzer bzw. Nutzervertreter (z. B. Mediziner, Psychologen, Gerontologen) angewiesen sind. Mit der Erstellung des Pflichtenhefts und dem fortschreitenden Entwicklungsprozess lassen sich Änderungswünsche der Evaluatoren nur noch selten und meist mit viel Kosten und Aufwand umsetzen.

Neuere Ansätze gehen davon aus, dass die Einbeziehung von Nutzern in die Entwicklung und Evaluation von technischen Innovationen deren spätere Verbreitung und Nutzung steigert. Dieser Ansatz findet Verankerung in der ISO-Norm 13407 (DIN EN ISO 13407) zur „Benutzerorientierten Gestaltung interaktiver Systeme“, welche eine multidisziplinäre Zusammensetzung von Entwicklungsteams aus entwickelnden Ingenieuren und Informatikern, Designern, Usability Spezialisten sowie Nutzervertretern fordert (z. B. Senioren, Angehörige, Pflege- und Betreuungskräfte, Mediziner, Psychologen). Darüber hinaus sieht die Norm einen iterativen Entwicklungsprozess mit regelmäßigen Zwischenevaluationen vor, angefangen von der ersten Konzeption bis zur Einführung einer neuen Technik. Entwicklung sowie Gestaltung sollen dabei durch die Einbindung potentieller Endnutzer oder deren Vertreter begleitet werden (Bild 1).

Obwohl eine endgültige Definition des Begriffs fehlt, beschreibt Nutzereinbindung im Allgemeinen den indirekten oder direkten Kontakt zwischen Entwicklern und Endnutzern während des Entwicklungsprozesses. Nutzer werden in diesem Zusammenhang auch als Experten für ihre persönlichen Bedürfnisse, Aufgaben und Anforderungen gesehen. Dieses Vorgehen ist vor allem dann sinnvoll, wenn ein komplexes, vielschichtiges Produkt erstellt oder auf die Bedürfnisse eines speziellen Anwenderkreis, wie z. B. Kinder, ältere Personen, Menschen mit Behinderungen, zugeschnitten werden soll (vgl. Sarodnick & Brau, 2006).

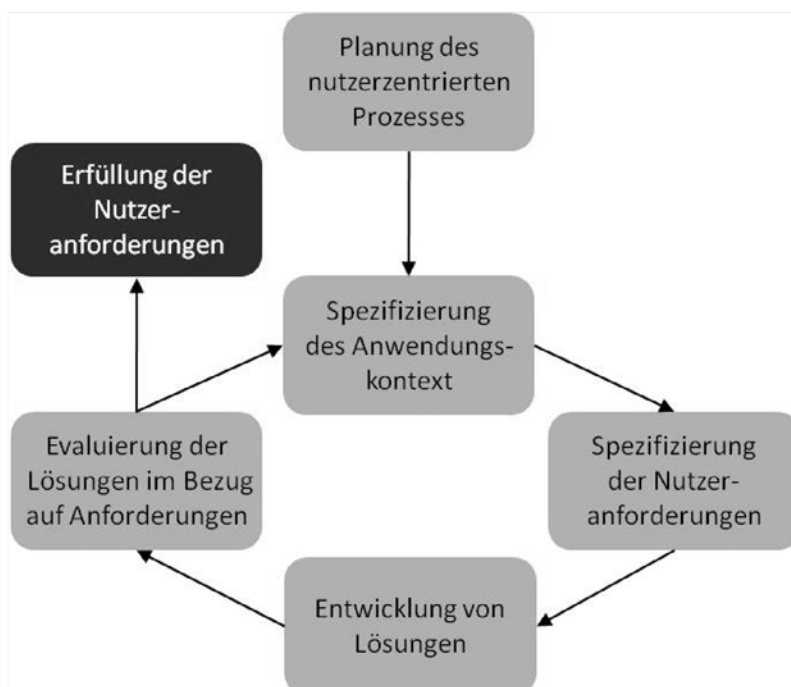


Bild 1 Prozessmodell für nutzerzentrierte Produktentwicklung nach ISO EN 13407

Aufschluss über die Auswirkungen der prozessbegleitenden Nutzereinbindung gibt eine Literaturanalyse von Kujala (2003). Danach hat die frühzeitige Einbindung von Nutzern bzw. Nutzervertretern Einfluss auf den Produktentwicklungsprozess sowie die Qualität der Anforderungsanalyse. Eine bessere Spezifizierung der Anforderungen führt wiederum zu höherer Systemqualität, wobei kostspielige (Zusatz-)Eigenschaften, die der Nutzer nicht oder fehlerhaft nutzt, entfallen (Damodaran, 1996). Im Allgemeinen erfahren Produkte, die auf Basis eines nutzerzentrierten Ansatzes entwickelt wurden, effektivere Nutzung und damit auch eine höhere Nutzerzufriedenheit. Dennoch finden sich bezüglich der Effizienz und Effektivität der nutzerzentrierten Produktentwicklung auch widersprüchliche Ergebnisse (z. B. Clement & van den Besselaar, 1993). So muss mit Mehrkosten für die Durchführung von Nutzerstudien sowie die Prüfung und Implementierung der Ergebnisse gerechnet werden. Zudem kann der nutzerzentrierte Entwicklungsansatz mit zunehmenden Konflikten, einer zeitlichen Verzögerung der Entscheidungen und Schwierigkeiten bei der Lokalisation von Entscheidungsfehlern verbunden sein. Des Weiteren birgt er das Risiko, dass der am Ende des Entwicklungsprozesses gefundene Kompromiss lediglich den kleinsten gemeinsamen Nenner von Produktentwicklern und Endnutzern darstellt und nicht die optimale Lösung (Kujala, 2003).

Inwieweit Endnutzer oder Nutzervertreter letztendlich in den Entwicklungs- wie auch Evaluationsprozess eingebunden werden, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dazu zählen die angestrebte Produktqualität, die zur Verfügung stehende Zeit, das angesetzte Budget und schließlich auch das aktuelle Entwicklungsstadium. Auf Basis des aktuellen Forschungsstandes ist es aber schwierig, Regeln für die Form und den Grad der Nutzereinbindung abzuleiten, da diese stark von den Eigenschaften der beteiligten Gruppen und dem zu entwickelnden Produkt abhängig sind. So ist das Wissen der Endnutzer aufgrund von Automatisierungsprozessen oft nur implizit vorhanden und nicht direkt artikulierbar, weswegen das methodische Vorgehen sorgfältig gewählt werden muss (Wood, 1997). Da in Studien zur nutzerzentrierten Produktentwicklung meist unterschiedliche Methoden der Nutzereinbindung angewendet werden, lässt sich nur begrenzt die Effektivität und Effizienz einzelner Maßnahmen evaluieren. Auch die ISO-Norm 13407 ist nicht weiter hinsichtlich der einzusetzenden Methoden ausdifferenziert und im Hinblick auf die Zielgruppe der Senioren existieren bislang keine standardisierten Methoden für die Entwicklung und Bewertung altersgerechter Technik (vgl. Gitlin, 2003).

Der vorliegende Leitfaden adressiert Ingenieure und Informatiker in Studium und Praxis, die in der altersgerechten Produktentwicklung tätig sind. Obwohl in Kapitel zwei und drei eine theoretische Einbettung erfolgt, liegt der Fokus des Leitfadens auf dem Einsatz der vorgestellten Ansätze und Methoden in der Praxis. Neben Hinweisen für

die Anwendung und Durchführung der Methoden, ergänzen Beispiele und Erfahrungen aus den Aktivitäten des Forschungsverbundes FitForAge die Ausführungen. Dabei gliedert sich der Leitfaden in sechs Hauptkapitel. Einleitend wurden die Chancen und Risiken einer nutzerzentrierten bzw. in diesem Fall altersgerechten Produktentwicklung zusammengefasst. Kapitel zwei beschreibt Senioren als Zielgruppe der Produktentwicklung sowie Einflussfaktoren für die Nutzung technischer Innovationen im Alter. In Kapitel drei wird das zugrunde liegende Prozessmodell eingeführt und die entsprechenden Methoden der Produktentwicklung und Nutzereinbindung werden in den Prozess eingeordnet (Kapitel vier). Eine detaillierte Erläuterung der einzelnen Methoden hinsichtlich deren Ziele für die Produktentwicklung, das methodische Vorgehen, zu erwartende Ergebnisse und Ergebnisdimensionen und entsprechende Stärken und Schwächen erfolgt in Kapitel fünf und sechs. Die Anwendung ausgewählter Methoden und Leitlinien der altersgerechten Produktentwicklung wird am Beispiel des „Fitnessbegleiters“, ein Teilprojekt aus dem FitForAge Verbund, skizziert (Kapitel sieben).

2. Senioren als Zielgruppe der Produktentwicklung

Bettina Williger & Frieder R. Lang

Um Senioren als Zielgruppe für Produkte und Dienstleistungen anzusprechen, ist es wichtig den Alternsprozess und die damit verbundenen Veränderungen zu verstehen. Typischerweise wird unter dem Begriff Alter vor allem das höhere und hohe Erwachsenenalter adressiert. Das höhere Alter beginnt mit der nachberuflichen Phase, also bei einem Lebensalter von etwa 60 Jahren, der Übergang ins hohe Erwachsenenalter wird bei circa 80 Jahren angesetzt. Diese Altersgrenzen erscheinen jedoch eher willkürlich, da die letzten Lebensdekaden wie keine andere Lebensphase durch Heterogenität gekennzeichnet sind. Dies wird deutlich am Beispiel von Fauja Singh, der den London Marathon 2006 im Alter von 92 Jahren in knapp sechs Stunden gelaufen ist – eine Leistung, die stellvertretend für die Potentiale aller Menschen dieses Alters steht. Ältere Menschen stellen somit keine Zielgruppe mit einheitlichen und gut strukturierten Bedürfnissen dar, was besondere Anforderungen an entsprechend konzipierte Produkte und Dienstleistungen stellt.

In der Vergangenheit sollten ältere Erwachsene insbesondere über sogenannte „Seniorenprodukte“ bedient werden (Wolter, 2007). Dabei wurde im Kontext eines stark vereinfachten Defizitmodells des Alterns davon ausgegangen, technische Lösungen müssten vor allem darin bestehen, die spezifischen Altersverluste und Alterserscheinungen maximal auszugleichen. Ein solcher Kompensationsansatz greift jedoch insbesondere deswegen zu kurz, weil das chronologische Alter allein kaum Rückschlüsse auf die tatsächlichen Fähigkeiten eines Menschen zulässt und diese in ihrer Heterogenität stellvertretend für die gesamte Lebensspanne stehen. Darüber hinaus sind auch im hohen Alter neben Verlusten Gewinne und Kompetenzen angelegt (siehe Kapitel 2.1). Entsprechend adressiert der vorliegende Methoden katalog die altersgerechte, d. h. lebenszyklusorientierte, Produktentwicklung – denn Produkte, die die vielfältigen Bedarfe des Alters decken, sind auch für andere Lebensphasen und Lebensumstände attraktiv.

Das folgende Kapitel fasst nun Befunde zum allgemeinen Alternsprozess sowie zur Nutzung technischer Innovationen im höheren und hohen Erwachsenenalter zusammen. Ausgehend von dem aktuellen Forschungsstand wird abschließend ein Rahmenmodell für die Evaluation altersgerechter Produkte skizziert.

2.1. Was ist Alter(n)?

Die medizinische, sozial- und verhaltenswissenschaftliche Altersforschung hat während der vergangenen Jahrzehnte eine Vielzahl von Erkenntnissen und Einsichten über die Bedingungen, Herausforderungen und Potenziale des menschlichen Alterns zu Tage gefördert, etwa im Hinblick auf eine stetig und unaufhaltsam steigende menschliche Lebenserwartung (Maier & Vaupel, 2003). So lassen sich auch in dieser Lebensphase besondere Kompetenzen und eine unverminderte Bereitschaft zur aktiven Teilhabe und Gestaltung des eigenen Lebens beobachten (Baltes, 1999). Nichtsdestotrotz sind Gesundheit und Funktionstüchtigkeit im höheren und insbesondere hohen Erwachsenenalter zunehmend bedroht.

Die Vielfalt des Alters kann stark vereinfacht an der Unterscheidung zwischen drittem und viertem Lebensalter (Laslett, 1991) verdeutlicht werden. Das dritte Lebensalter wird hierbei auf die gesunde und aktive Lebensphase älterer Erwachsener bezogen, welche meist durch die Kontinuität und Fortschreibung der Lebensgestaltung des mittleren Lebensalters geprägt ist. Dagegen beschreibt der Begriff des vierten Lebensalters die belastende und verlustbezogene Alterserfahrung, die von chronischen Erkrankungen und erhöhter Mortalität geprägt wird und oft erst in der achten oder neunten Lebensdekade beginnt.

Der vorliegende Leitfaden für die altersgerechte Produktentwicklung fokussiert explizit auf das dritte Lebensalter. Gerade diese Lebensphase ist durch enorme Vielfalt und Variabilität im Alternsprozess gekennzeichnet und eignet sich daher besonders dafür, solche Lösungen und Produkte zu entwickeln, die auch für das vierte Lebensalter passend gemacht werden können. Denn auch der gesunde Alternsprozess kann Verluste mit sich bringen, beispielsweise im Hinblick auf physiologische (z. B. Sehvermögen, Hörvermögen, Beweglichkeit, Kraft) und kognitive Fähigkeiten (z. B. Aufmerksamkeit, Merkfähigkeit, Informationsverarbeitung). Das vierte Lebensalter ist demnach bereits im dritten angelegt. Allerdings ist erkennbar, dass Krankheit und Multimorbidität das hohe Alter deutlich stärker prägen. So kommt es zu vermehrten gesundheitlichen Beschwerden wie Herz-Kreislauferkrankungen, Krebserkrankungen, muskuloskeletalen Erkrankungen und neurodegenerativen Erkrankungen (z. B. Demenz; vgl. Oswald et al., 2006). Auch in dieser Lebensphase müssen technische Lösungen jedoch nicht allein auf assistive Systeme begrenzt sein. Von Bedeutung werden hier in besonderer Weise technische Lösungen für Angehörige oder Betreuungspersonen der hochbetagten älteren Menschen (vgl. Heeg et al., 2007).

Neben der enormen Heterogenität älterer Menschen ist von besonderer Bedeutung, dass viele ältere Menschen weiterhin eine hohe Lern- und Anpassungsfähigkeit (Plastizität) besitzen. Diese erlaubt es nicht nur, Verluste auszugleichen, sondern bringt auch

Potenziale für Gewinne in einzelnen ausgewählten Lebens- oder Funktionsbereichen mit sich. So können ältere Menschen beispielsweise meist dann neue Informationen gut aufnehmen, wenn es sich hierbei um alltags- und gesundheitsrelevante Fragen und Aufgaben handelt. Individuelle Unterschiede (z. B. hinsichtlich der kognitiven Fähigkeiten) bestehen nicht nur zwischen älteren Personen. Auch die Variabilität solcher Merkmale innerhalb eines einzelnen älteren Individuums kann sehr groß sein (z. B. kognitive Leistungen schwanken von Situation zu Situation). Neuere Ansätze der altersgerechten Produktentwicklung müssen daher sowohl die Zielgruppe auf Basis unterschiedlicher persönlicher Kriterien unterscheiden, wie etwa das gefühlte Alter oder den Gesundheitszustand, als auch die besondere Variabilität des Verhaltens und Erlebens bei ein und derselben Person berücksichtigen.

Um den Alternsprozess für Produktentwickler greifbar zu machen, wird in der Literatur häufig der Versuch unternommen, ältere Menschen anhand unterschiedlicher Fähigkeiten zu klassifizieren (vgl. SENSI-Katalog; Biermann & Weißmantel, 1996). Dieses Unterfangen ist Gegenstand des interdisziplinären Forschungsfelds Human Factors, welches definiert wird als "the study of human beings and their interactions with products, environments and equipment in performing tasks and activities" (Czaja, 1997: 17). Die Forschung umfasst demnach zum einen die psychologischen und medizinischen Aspekte des Alterns, zum anderen aber auch deren Übersetzung in altersgerechte Produkte und Bedienschnittstellen. Den Arbeiten sind meist typische Fähigkeitsverläufe über die Lebensspanne zugrunde gelegt, welche versuchen die Zielgruppe der älteren Nutzer anhand der Gemeinsamkeiten in einzelnen Eigenschaften (z. B. Sehfähigkeit, Erfahrungswissen, Beweglichkeit) zu beschreiben. Die intraindividuelle Heterogenität und Plastizität erfährt bei diesem Ansatz nur eingeschränkt Berücksichtigung. Publikationen zum Thema Human Factors sind zahlreich, an dieser Stelle soll als weiterführende Literaturempfehlung vor allem auf die Arbeiten von Fisk und Kollegen (2009) sowie Pak und McLaughlin (2010) verwiesen werden. Im Folgenden werden exemplarische Befunde zur Entwicklung von sensorischen, motorischen, kognitiven und selbstregulativen Fähigkeiten im höheren und hohen Erwachsenenalter dargestellt. An einzelnen Stellen wird dabei auch auf alterskorrelierte Erkrankungen verwiesen, der Fokus des Kapitels liegt jedoch auf normalen, d. h. gesunden Alterungsprozessen.

2.1.1. Sensorische Fähigkeiten

Unter dem Stichwort sensorische Fähigkeiten erfährt insbesondere die visuelle und auditive Entwicklung über die Lebensspanne Betrachtung. Beim Hören und Sehen handelt es sich um Fähigkeiten, die Voraussetzung für die alltägliche Interaktion mit der (technischen) Umwelt und den Erhalt von Alltagskompetenz sind (Rott, Wahl, & Tesch-Römer, 1996). Der Berücksichtigung alterskorrelierter Veränderungen bei der Entwicklung neuer Produkte kommt demnach eine besondere Bedeutung zu.

Im Bereich des Sehens kommt es ab dem 40. Lebensjahr zu einer Abnahme von Sehschärfe und Kontrastsensitivität, die im Fachjargon als Presbyopie bezeichnet wird (z. B. Owsley et al., 1983). Ursächlich hierfür sind normale Altersveränderungen in verschiedenen Bereichen des visuellen Systems, wie z. B. eine verminderte Akkommodationsfähigkeit der Linse und eine Abnahme retinaler Photorezeptoren, aber auch pathologische Veränderungen wie Makuladegeneration oder Katarakt. Die Gelbtrübung der Linse führt zusätzlich zu einer veränderten Farbwahrnehmung, wobei insbesondere kurzwelliges Licht (d. h. Blautöne) schwieriger zu differenzieren ist. Kleine Symbole und Abbildungen, die wenig Farbkontrast beinhalten, sind demnach nur unter großer Anstrengung für das ältere Auge zu erkennen (Scialfa et al., 2004). Auch das funktionale visuelle Feld, also das Gesichtsfeld, in dem ein Stimulus ohne Augenbewegung erkannt werden kann, reduziert sich im Altersverlauf (vgl. Johnson, 1986), was zur Beeinträchtigung visueller Suchprozesse führen kann (Pak & McLaughlin, 2010).

Obwohl als Altersschwerhörigkeit betitelt, setzt die Presbyakusis bereits im mittleren Erwachsenenalter ein. Im fortgeschrittenen Alter berichten mindestens 30 % der über 60-Jährigen und 60 % der über 70-Jährigen über nachlassendes Hörvermögen (Deutsches Grünes Kreuz, 1985, Tesch-Römer, 2001). Die Erkrankung ist damit die zweithäufigste chronische Beeinträchtigung im Alter (National Center for Health Statistics, 1992). Der Hörverlust ist meist zurückzuführen auf die Beschädigung der inneren und äußeren Haarzellen in der Cochlea (Schallempfindungsschwerhörigkeit) und gerade in frühen Stadien auf hochfrequente Töne beschränkt. Daneben ist die Differenzierungsfähigkeit für Geräusche mit ähnlicher Frequenz oder Intensität negativ mit dem Alter korreliert. Dies hat beispielsweise Auswirkungen auf die Lokalisation von Geräuschen und das Sprachverständnis in Umwelten mit vielen Störgeräuschen (vgl. Schieber, 2003).

2.1.2. Motorische Fähigkeiten

Mit zunehmendem Lebensalter verringern sich die Genauigkeit und die Reaktionszeit bei der Ausführung von Bewegungen. Die Genauigkeit der Bewegungen betrifft insbesondere die Nutzung von indirekten Eingabemedien, wie beispielsweise die Mouse-Steuerung, und resultiert in einer verlängerten Reaktionszeit. Die Reaktionszeit, d. h. die Geschwindigkeit, mit der eine Bewegung ausgelöst wird, verringert sich bis zum Alter von 65 Jahren etwa um 25 %. Dabei sind die Unterschiede weniger auf die Ausführung der Handlung als auf deren Planung zurückzuführen. Für ältere Personen muss bei der Bearbeitung von motorischen Aufgaben demnach etwa 50 % mehr Bearbeitungszeit eingeplant werden (vgl. Pak & McLaughlin, 2010). Daneben beeinflussen alterskorrelierte Erkrankungen die Ausführung von Bewegungen. Parkinson hat bei den über 65-Jährigen eine Prävalenz von 1 % und ist insbesondere mit einer Beeinträchtigung der Bewegungsgenauigkeit verbunden. Auch Arthritis ist stark alterskorreliert und äußert sich in einer Abnutzung der Gelenke, welche Schmerzen bei der Bewegungsausführung verursacht.

2.1.3. Kognitive Fähigkeiten

Über viele Jahre war das Forschungsfeld Human Factors auf sensorische und motorische Fähigkeiten beschränkt (vgl. Pak & McLaughlin, 2010). Seit jüngster Zeit finden bei der Entwicklung altersgerechter Produkte auch kognitive Fähigkeiten Betrachtung. Die Kognitionswissenschaft unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen mechanischen und pragmatischen Fähigkeiten (siehe Bild 2).

Kognitive Mechanik bezeichnet Fähigkeiten, die in unbekanntem oder schnell wechselnden Situationen gebraucht werden, also beispielsweise Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, Aufmerksamkeit und räumliche Orientierung. Mechanische kognitive Fähigkeiten sind im Allgemeinen negativ alterskorreliert, weisen jedoch eine hohe Heterogenität innerhalb jeder Altersgruppe auf (Lindenberger, 2000). Vom angepassten Design technischer Lösungen profitieren demnach nicht ausschließlich ältere Nutzergruppen.

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit bezeichnet die Menge an Informationen, die eine Person in einer vordefinierten Zeiteinheit visuell, auditiv oder haptisch aufnehmen und verarbeiten kann. Im Allgemeinen zeigen ältere Personen eine Verlangsamung kognitiver Verarbeitung (Salthouse, 2000). Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beeinflusst die Menge an Informationen, die memoriert werden kann, während parallele Aufgaben durchgeführt werden, und ist im höheren Erwachsenenalter durchschnittlich auf vier Items begrenzt. Im Bezug auf die Aufmerksamkeitsleistung muss zwischen Dauer-

aufmerksamkeit (Vigilanz), selektiver und geteilter Aufmerksamkeit unterschieden werden. Während sich hinsichtlich der Vigilanz keine Alterseffekte zeigen, stellt die selektive bzw. geteilte Aufmerksamkeit, d. h. Fokussierung auf eine Aufgabe unter Störbedingungen bzw. zwei parallele Aufgaben, ältere Erwachsene vor größere Probleme (vgl. Schieber, 2003). Daraus ergeben sich insbesondere Anforderungen für die Gestaltung altersgerechter Benutzerschnittstellen (Informationsmenge, Multimodalität). Auch die räumliche Orientierung ist negativ alterskorreliert und beeinflusst die Nutzung von Benutzerschnittstellen (z. B. Browsen im Internet oder in einer Menühierarchie; vgl. Pak, Czaja, et al., 2008).

Kognitive Pragmatik wird über das Wissen einer Person definiert, das innerhalb der Lebenszeit über Lebenserfahrung oder formale Bildungsangebote gesammelt wurde. Pragmatische kognitive Fähigkeiten können Verluste in der kognitiven Mechanik kompensieren. Beispielsweise zeigen ältere Sekretärinnen beim Abtippen einzelner Buchstaben deutlich schlechtere Leistungen als ihre jüngeren Kolleginnen, da diese Aufgabe maßgeblich durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Werden die beiden Gruppen jedoch aufgefordert, einen Text unter realen Bedingungen abzutippen, profitieren ältere Sekretärinnen von ihrem Erfahrungswissen und zeigen gleich gute Leistungen wie die jüngere Vergleichsgruppe (Salthouse, 1984).

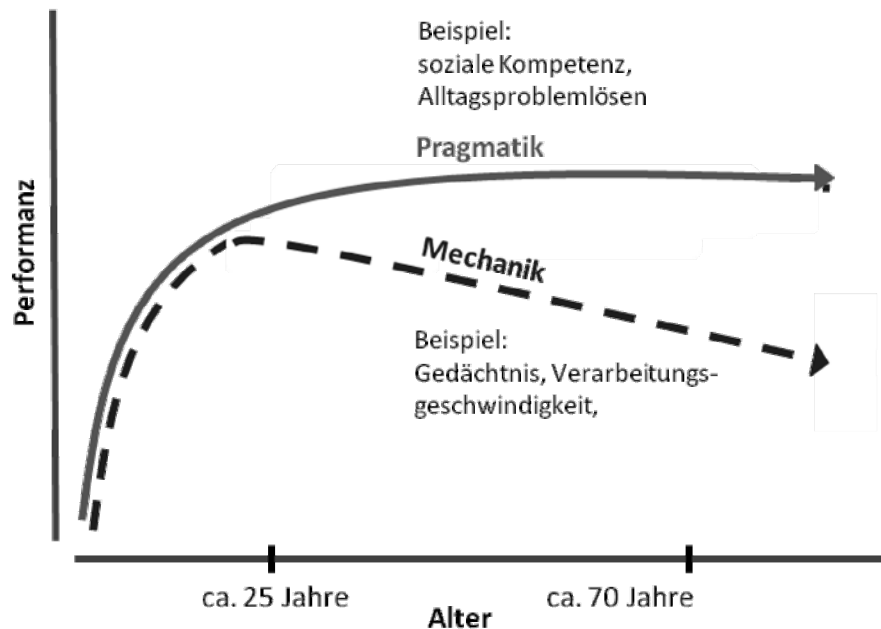


Bild 2 Differenzierung von Mechanik und Pragmatik (nach Lindenberger, 2000)

Erfahrungswissen ist allerdings domänenspezifisch, d. h. Wissen in einem Bereich lässt sich nicht ohne Probleme auf eine andere Domäne übertragen. Pragmatische kognitive Fähigkeiten sind nur schwer messbar und werden in der psychologischen Forschung häufig über das Sprachverständnis operationalisiert. Anders als mechanische kognitive Fähigkeiten ist dieses positiv mit dem Alter korreliert, zeigt aber ebenfalls eine hohe Variabilität innerhalb einzelner Altersgruppen. Eine weitere Möglichkeit, Erfahrungswissen zu operationalisieren, besteht in der Alltagsproblemlösefähigkeit (Allaire & Marsiske, 1999). Alltägliche Probleme zeichnen sich dadurch aus, dass sie wenig strukturiert sind und meist mehr als eine Lösung zulassen. Diese Definition trifft auch auf Probleme bei der Interaktion mit technischen Umwelten zu (Definition für nicht-strukturierte Probleme siehe *Problem Space Theory*; Simon, 1978). Im Gegensatz dazu stehen strukturierte Probleme mit nur einer richtigen Lösung (z. B. Mathematikaufgaben), bei deren Bearbeitung ältere Erwachsene aufgrund verringerter fluider kognitiver Fähigkeiten (Verarbeitungsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis) deutlich schlechter abschneiden als eine jüngere Vergleichsgruppe. Erfahrungen aus der Vergangenheit, veränderte Zielorientierung sowie verbesserte Emotionsregulation führen jedoch dazu, dass ältere Personen im Bezug auf wenig strukturierte Probleme des Alltags effizientere Lösungsstrategien generieren (vgl. Berg & Strough, 2011).

2.1.4. Selbstregulative Fähigkeiten

Die menschliche Entwicklung lässt sich neben den Dimensionen Sensorik, Motorik und Kognition auch auf der psychologischen Dimension der Selbstregulation beschreiben. Diese umfasst Prozesse und Mechanismen, die der Steuerung von Emotionen und Handlungen dienen. Wie in allen vorherigen Lebensphasen sind ältere und selbst hochbetagte Menschen in der Lage, ihre Umwelten und ihr Leben aktiv und im Einklang mit ihren Zielen und Fähigkeiten zu gestalten (Wahl, Oswald, & Zimprich, 1999). So zeigen ältere im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen trotz nachlassender körperlicher Leistungsfähigkeit ein ähnliches oder sogar höheres Wohlbefindensniveau (Charles & Carstensen, 2010). Begründet werden derartige Befunde über die Adaptivität der menschlichen Entwicklung und die daraus resultierende Veränderung in der Zielorientierung. Denn während im Kindes- und jungen Erwachsenenalter vor allem Wachstumsziele (d. h. Bildung, Beruf, Aufbau sozialer Netzwerke) im Vordergrund stehen, werden die physischen wie auch psychischen Ressourcen mit zunehmendem Alter insbesondere der Aufrechterhaltung von Kompetenzen und der Regulation von Verlusten gewidmet (Staudinger, Marsiske, & Baltes, 1995). An dieser Stelle soll auf zwei theoretische Modelle der Lebensspannenpsychologie eingegangen werden, die die Prozesse und Mechanismen für diese adaptive Ressourcenallokation beschreiben.

Das Modell der *Selektiven Optimierung durch Kompensation* verdeutlicht, dass die gelingende Lebensgestaltung im Alter nicht allein auf dem Prinzip der Kompensation von Verlusten beruht, sondern zumindest noch zwei weitere Prinzipien kennt (Baltes & Baltes, 1990; Lang, Rohr, & Williger, 2011). In allen Lebensphasen und auch unter widrigsten Lebensbedingungen sind Menschen in der Lage, über sich und ihr eigenes Handeln Entscheidungen zu treffen und eigene Ziele, Pläne und Wünsche zu verfolgen. Dieses Prinzip, das im Allgemeinen Selektion genannt wird, verdeutlicht, dass jede technische Lösung auch die Kompetenz des Menschen beachten muss, über das eigene Leben selbst zu bestimmen. Ein weiteres Prinzip beruht auf dem Gedanken, dass Menschen in allen Phasen des Lebens bis in das höchste Alter hinein noch über wichtige Ressourcen verfügen, die ungenutzt sind und aktiviert werden können. Dazu zählt die Fähigkeit Neues zu lernen wie auch die Fähigkeit von Übung zu profitieren. Es ist gut belegt, dass Menschen in allen Phasen des Lebens von Training, Lernen und Übung profitieren (vgl. Hertzog et al., 2009). Dieses Prinzip der gelingenden Lebensgestaltung, das im Allgemeinen Optimierung genannt wird, bedeutet, dass technische Lösungen immer auch die Freisetzung von Ressourcen im Blick haben müssen und sich nicht allein auf den Ausgleich verlorener Ressourcen beschränken darf. Das Prinzip der Kompensation orientiert sich schließlich an Verlusten und sieht die Adaption an Funktionsverluste beispielsweise durch substitutive Fähigkeiten, latente Reserven oder externe (technische) Hilfen vor.

Die *sozioemotionalen Selektivitätstheorie* adressiert insbesondere die Organisation von Zielen über die Lebensspanne. Danach führt die als begrenzt wahrgenommene verbleibende Lebenszeit im höheren und hohen Alter zu einer Priorisierung des emotionalen Wohlbefindens in der Gegenwart (Carstensen, Isaacowitz, & Charles, 1999). In experimentellen wie auch alltagsnahen Untersuchungen zeigt sich dies in einer Orientierung hin zu emotionalen und weg von instrumentellen Zielen und Reizen. Unter Zuhilfenahme von Eye-Tracking Verfahren konnte beispielsweise bestätigt werden, dass ältere im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen positive Reize (d. h. Bilder, Gesichter, Text) vor neutralen oder negativen Reizen verarbeiten und auch besser memorieren (*Positivity Effect*; Isaacowitz, Wadlinger, Goren, & Wilson, 2006; Mather & Carstensen, 2005).

Die dargestellten Befunde und Theorien sind von zentraler Bedeutung für die Entwicklung alternsgerechter Produkte, da der systematischen Berücksichtigung von emotionalen und motivationalen Prozessen in der Techniknutzung bislang kein Platz eingeräumt wird. Techniknutzung beschränkt sich jedoch nicht auf verhaltensspezifische Aspekte wie Funktionalität und Einfachheit der Bedienung, wie sie beispielsweise durch die Forschungsfelder Human Factors oder Usability Engineering adressiert werden. Auch das emotionale Erleben vor, während und nach der Interaktion mit Technik

spielt nach den dargestellten Theorien eine nicht unerhebliche Rolle in der Entscheidung, neue Produkte zu nutzen. Unter den Stichworten *Joy of Use* oder *User experience* finden diese Aspekte zunehmend Berücksichtigung in der Forschung (Hassenzahl & Tractinsky, 2006) – eine Ausweitung auf die Praxis und das Themenfeld der Gerotechnik steht allerdings noch aus.

2.2. Rahmenmodell zur Evaluation altersgerechter Produkte

Ausgehend von den beschriebenen Befunden soll im Folgenden ein Rahmenmodell für die Evaluation altersgerechter Produkte entwickelt werden. Dieses baut auf den Grundsätzen der Heterogenität und Plastizität des Alters auf und ordnet aktuelle Befunde der Gerotechnik vor dem Hintergrund der Lebensspannenpsychologie theoretisch und empirisch ein. Das Modell kann den Produktentwicklungsprozess insbesondere in der frühen Phase der Anforderungserhebung unterstützen. Darüber hinaus definiert es Evaluationskriterien, anhand derer die Auswirkungen technischer Lösungen auf den Alltag älterer Erwachsener ermittelt werden können.

Ein wichtiger Prädiktor für die Selbständigkeit und Lebensqualität besteht in der Alltagskompetenz einer Person, welche maßgeblich durch die in Kapitel 2.1 beschriebenen physischen und psychischen Fähigkeiten beeinflusst wird. Diese stehen nach Wahl (1998: 247) "in wechselhafter Verschränkung untereinander sowie im Wechselspiel mit Ressourcen und Barrieren der Umwelt [und führen] zu konkretem Erleben und Verhalten in relevanten Alltagskontexten". Zu den relevanten Alltagskontexten zählen zum einen Beruf und Freizeitgestaltung als auch die rein funktionalen Aktivitäten des täglichen Lebens, wie Selbstpflege, Nahrungsaufnahme, Haushaltsführung oder Regelung finanzieller Angelegenheiten. Allen Tätigkeiten ist gemeinsam, dass dabei ein Austausch mit der sozialen oder räumlichen-dinglichen Umwelt stattfindet, d. h. deren Erfolg ist nicht ausschließlich an die persönlichen Kompetenzen der ausführenden Person geknüpft, sondern wird maßgeblich durch das Zusammenspiel aus Person und Umwelt bestimmt (vgl. Wahl, 1998). Technische Produkte sind Teil des täglichen Umfelds älterer Menschen (vgl. Begriff der Alltagstechnik; Mollenkopf et al., 2001). Dies zeigen Ergebnisse einer Studie von O'Brian (2010), die Personen im Alter von 65 bis 75 Jahren über einen Zeitraum von zehn Tagen bat, Tagebuch über alle von ihnen verwendeten elektronischen Geräte (z. B. Radio, Mikrowelle, Computer, Anrufbeantworter) zu führen. Dabei berichteten selbst so genannte low technology user im Mittel über 190 Technikinteraktionen, während high technology user durchschnittlich 309 Technikinteraktionen hatten. Entsprechend sieht die ökologische Gerontologie in technischen Produkten das Potential, die Alltagskompetenz und damit auch die Le-

bensqualität und Selbständigkeit, gerade bei zunehmenden Beschwerden, zu fördern oder aufrecht zu erhalten (Wahl & Lang, 2006).

Das Zusammenspiel aus persönlichen Kompetenzen und Einstellungen mit den Anforderungen der (technischen) Umwelt kann in Anlehnung an ein von M. P. Lawton vorgeschlagenes Modell der Person-Umwelt-Passung beschrieben werden (Bild 3; Lawton, 1999; Lawton & Nahemow, 1973). Kernidee dieses Modells ist es, dass technische Lösungen nur dann einen maximalen Erfolg haben können, wenn sie die vorhandenen Fähigkeiten und Möglichkeiten eines Individuums sehr präzise ansprechen.

Werden vorhandene Ressourcen oder Kompetenzen beispielsweise nicht genutzt, so besteht ein hohes Risiko der Unterforderung, was schließlich dazu führt, dass ein Gerät keine Verwendung findet. Stellt ein technisches Produkt oder eine Dienstleistung hingegen zu hohe Anforderungen, so kann dies zu einer Überforderung und somit auch zu einer Nicht-Nutzung führen. Technische Lösungen treffen dann auf eine hohe Nutzungsbereitschaft und erzielen dabei optimale Ergebnisse, wenn sie die Kompetenzen einer Person so abrufen, dass dabei gerade keine Unter- oder Überforderung entsteht. Hier liegt die eigentliche Herausforderung in der Ermittlung von entwicklungsförderlichen Passungen, denn es geht darum ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen maximalem Komfort und maximaler Nutzeraktivierung zu finden.

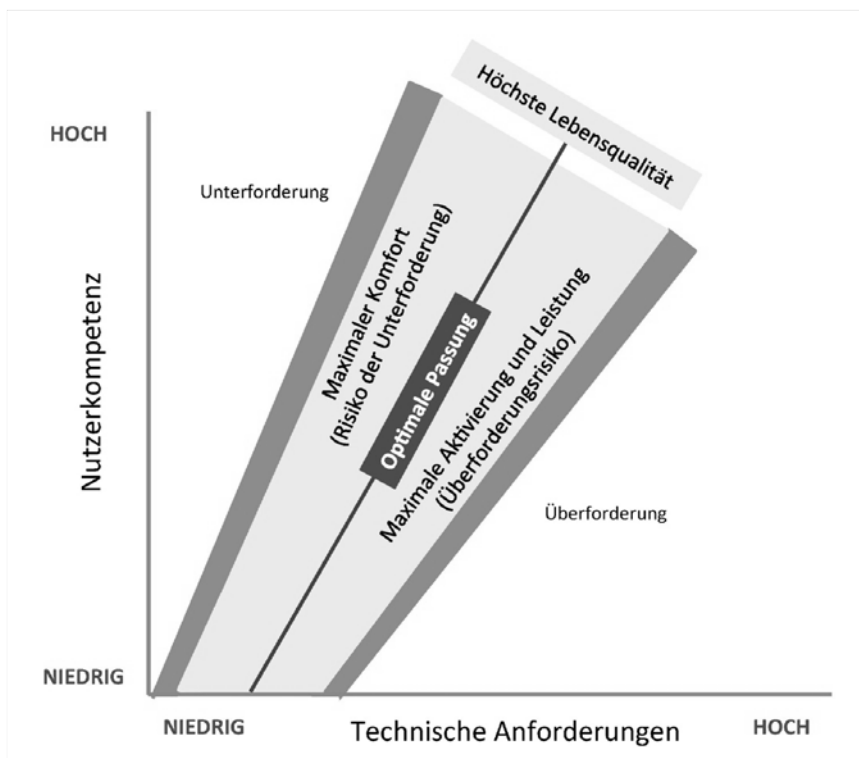


Bild 3 Nutzerkompetenz und Technikanforderungen (nach Lawton & Nahemow, 1973)

Technische Innovationen, die explizit auf die Bedürfnisse und Anforderungen älterer Menschen zugeschnitten sind, können demnach die Passung zwischen individuellen Kompetenzen und Anforderungen des alltäglichen Lebens entscheidend verbessern. Die Übersetzung dieses Modells in die Praxis ist allerdings an einige Hürden geknüpft, da insbesondere die Nutzerseite einer Mehrdimensionalität und Dynamik unterliegt (vgl. Kapitel 2.1). Bei der Ausgestaltung technischer Lösungen müssen demnach die vielgestaltigen Fähigkeitsverläufe hinsichtlich Sensorik, Motorik, Kognition und Selbstregulation Berücksichtigung finden. Darüber hinaus sollte das Prinzip der Plastizität Gültigkeit erfahren, denn Menschen können an die Nutzung eines technischen Geräts habituieren, wodurch sich beispielsweise die Erwartungen an das Gerät verändern (z. B. mehr Funktionen, höhere Performanz). Daneben können durch die Nutzung technischer Umwelten aber auch Abhängigkeiten entstehen, wie etwa eine verringerte räumliche Orientierung aufgrund der regelmäßigen Nutzung eines Navigationsgeräts. Die Beispiele zeigen auf, worin die Problematik der dynamischen Veränderungen in der Person-Umwelt-Passung liegt. Die meist statische Konfiguration technischer Lösungen begegnet diesen Anforderungen nur bedingt. Vielmehr ist die Nutzung technischer Lösungen von einer selbstbestimmten Entscheidung abhängig, inwieweit diese im Hinblick auf eine erhöhte Lebensqualität noch als vorteilhaft erlebt werden oder nicht.

Im Hinblick auf die Präferenzen älterer Menschen bei dieser Nutzungsentscheidung wurde argumentiert, dass hier vor allem emotionale Prozesse im Umgang mit der nur mehr geringen verfügbaren Lebenszeit eine Rolle spielen (Carstensen et al., 1999; siehe Kapitel 2.1.4). Danach haben ältere Menschen mit zunehmendem Lebensalter immer weniger Motivation, Ressourcen für Ziele in der Zukunft aufzuwenden, wie z. B. in dem Fall, dass sie erst ein Training absolvieren müssen, bevor sie technische Innovationen uneingeschränkt nutzen können. Melenhorst und Kollegen (2006) konnten in diesem Kontext empirisch belegen, dass Nutzungsentscheidungen auf Basis emotional relevanter Vorteile erfolgen, die ältere Menschen jeweils mit der Nutzung oder Nichtnutzung eines Produkts verbinden. Nachteile oder Risiken einer Nutzung wie auch Nicht-Nutzung waren hingegen deutlich weniger ausschlaggebend. Beispielsweise werden konkrete Vorteile von Smart-Home Lösungen von potentiellen Endnutzern in einer Erhöhung der Sicherheit und in einer Erleichterung des Alltags gesehen (Becker, Böhm, Röhrig, Stuhler, & Wurm, 2007). Vorteile der Nichtnutzung könnten in der Kostenersparnis und in der Kontinuität im häuslichen Umfeld liegen.

Um nun auf Grundlage dieser theoretischen Überlegungen und empirischen Befunde Empfehlungen für die Gestaltung und Evaluation altersgerechter Technik ableiten zu können, müssen die Möglichkeiten des effektiven Zusammenspiels zwischen Alter und technischen Umwelten betrachtet werden. Lindenberger und Kollegen (2008) bauen dabei auf dem Modell der *Selektiven Optimierung durch Kompensation* (vgl. Kapitel

2.1.4) auf und schlagen drei ressourcentheoretisch begründete Kriterien für altersgerechte Produkte vor (siehe Bild 4).

Da technische Neuerungen meist mit psychologischen Kosten verbunden sind, die beispielsweise Training, Zeit oder auch finanzielle Investitionen erfordern, argumentieren die Autoren, dass deren alltägliche Nutzung in Summe mehr Ressourcen freisetzen sollte als gebunden werden (*net resource release*). Die Freisetzung von Ressourcen wird zum einen unterstützt durch die Generierung bislang ungenutzter Ressourcen (Optimierung; beispielsweise über ein Trainingsprogramm zur Förderung der kognitiven oder motorischen Leistungsfähigkeit). Daneben kann technische Unterstützung verlorene Ressourcen ausgleichen (Kompensation; z. B. Gehstock zur Unterstützung des Gleichgewichts).

Nach einem zweiten Evaluationskriterium sollten sich technische Umwelten automatisch an aktuelle Bedürfnisse oder Gewohnheiten der Nutzer anpassen (*person specificity*). Diese Forderung wird darüber begründet, dass die menschliche Entwicklung insbesondere im höheren und hohen Erwachsenenalter einer enormen Heterogenität und Dynamik unterliegt.

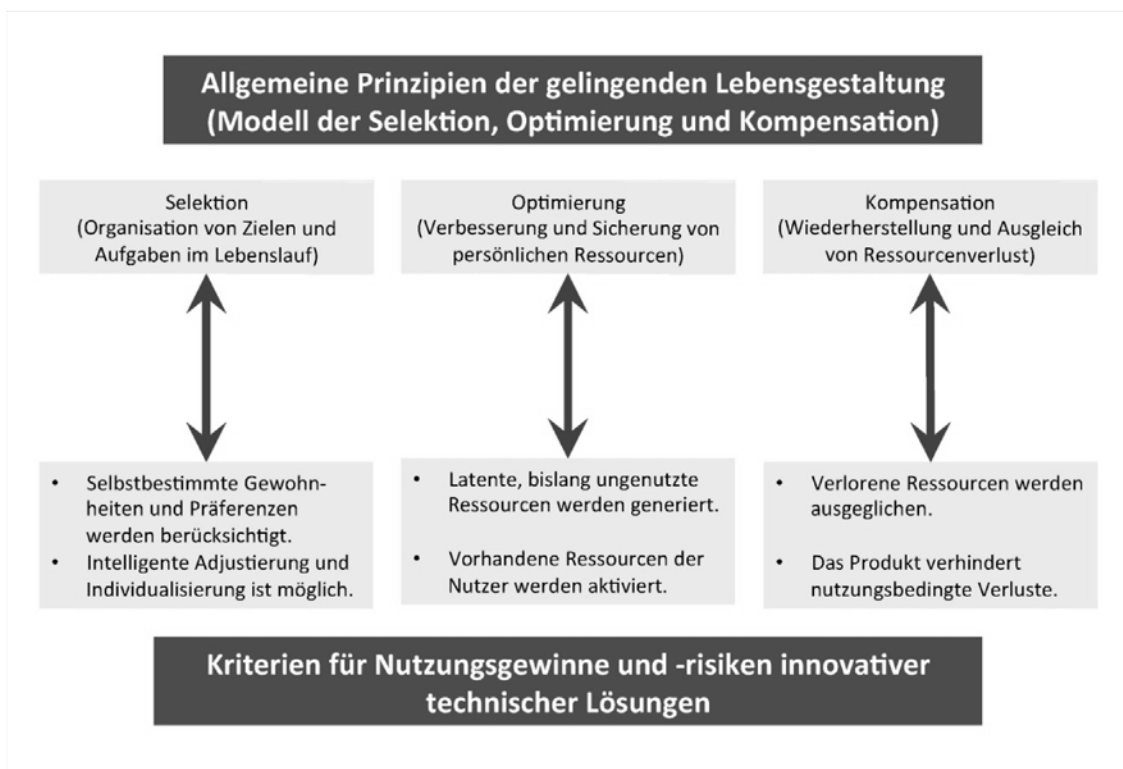


Bild 4 Modell der Evaluation alternsgerechter Technik aufgrund von Prinzipien der gelingenden Lebensgestaltung (adaptiert nach Lindenberger et al., 2008)

Bei der Bewertung altersgerechter Technik steht nicht nur der unmittelbare Nutzen der technischen Lösung, sondern auch deren Nachhaltigkeit im Fokus (*proximal versus distal frames of evaluation*). Eine unbegrenzte Vereinfachung des täglichen Lebens, z. B. durch die automatische Steuerung von Haustechnik und -geräten, könnte zu Abhängigkeiten führen und damit einer selbständigen Lebensführung entgegenwirken. Es bleibt deshalb im Einzelfall abzuwägen, welche Funktionen in welchem Kontext automatisiert oder manuell durchgeführt werden sollten, was sich vor allem durch die Adaptierbarkeit und Adaptivität der Geräte fördern lässt (Lindenberger et al., 2008).

Die skizzierten Überlegungen erlauben es zu verstehen, warum viele technische Geräte (z. B. Hörgeräte) auch dann nicht genutzt werden, obwohl sie weder zu einer Über- noch zu einer Unterforderung des älteren Menschen führen. Denn eine gute technische Passung erhöht die Nutzungsbereitschaft nur dann, wenn durch das entsprechende Produkt zugleich die Präferenzen angesprochen und noch verfügbare Fähigkeiten genutzt werden.

3. Prozessmodell für die altersgerechte Produktentwicklung

Christina Stöber & Harald Meerkamm

Die Entwicklung moderner technischer Systeme sieht sich einer Vielzahl immer weiter steigender Anforderungen z. B. hinsichtlich Kosten, Funktionalität sowie ästhetischer oder ökologischer Aspekte gegenübergestellt. Aber nicht nur bei der Umsetzung von Anforderungen aus dem Produktlebenszyklus werden Produktentwickler bei zukünftigen Entwicklungsaufgaben vor Herausforderungen gestellt. Die Produkte der Zukunft werden nicht mehr wie bisher nur aus einem reinen mechatronischen System bestehen, sondern es werden immer mehr Disziplinen wie beispielsweise die Psychologie, die Biologie oder die Medizin, an Bedeutung gewinnen (Bild 5). Daraus leiten sich neue Schwerpunkte ab, die frühzeitig in der Produktentwicklung beachtet werden müssen. Aspekte wie Individualisierung der Produkte und die Fokussierung auf den Menschen und spezielle Nutzergruppen werden vor allem bei Produkten für ältere Menschen zunehmend in den Vordergrund rücken. Somit müssen neue Materialien, Fertigungsverfahren und Produktionsstrategien entwickelt werden, um eine kostengünstige Herstellung zu ermöglichen und der zunehmenden Ressourcenknappheit Rechnung zu tragen.

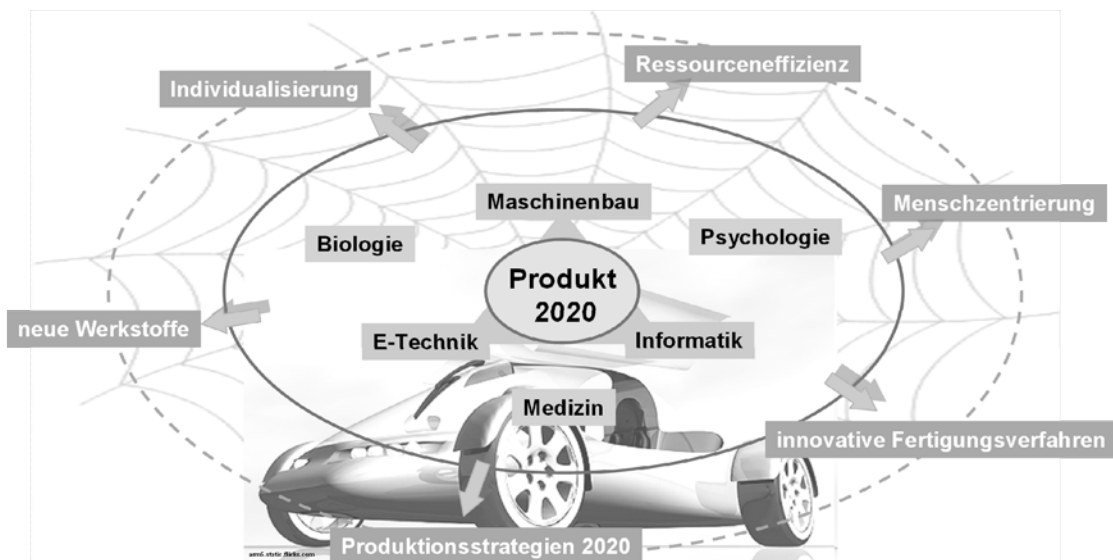


Bild 5 Produkt 2020

Im Forschungsverbund FitForAge sollte diesen Herausforderungen begegnet werden. Ziel des Forschungsverbundes war es, technische Lösungsansätze zu finden, die der alternden Gesellschaft in Wohnung und Haus, im Arbeitsleben wie in der Kommunikation mit der Umwelt und im Verkehr ein aktives und bezahlbares Leben erhalten. Dabei sollen nicht nur ältere Menschen, sondern alle Altersgruppen der Gesellschaft von den entwickelten Lösungen profitieren. Im Forschungsverbund wurden konkrete Ergebnisse (z. B. Fitnessbegleiter, siehe Kapitel 7) erzielt, aber auch ein Instrumentarium an Methoden entwickelt, das über die realisierten Lösungen und Nutzerkreise hinaus Anwendung finden kann.

In den folgenden Kapiteln werden aus Produktentwicklungssicht die notwendigen Grundlagen vorgestellt, die Produktentwickler benötigt, um kostengünstig für Kunden und Unternehmen Produkte für ältere Menschen zu entwickeln. Im Folgenden werden die Methoden und Hilfsmittel näher beschrieben, die in den hier vorgestellten Produktentwicklungsprozess eingeordnet werden (Kapitel 4).

3.1. Mechatronische Systeme

Zum besseren Verständnis der weiteren Ausführungen über Vorgehensmodelle und individualisierbare Produkte wird im Folgenden kurz auf die Definition und die Grundzüge von mechatronischen Systemen eingegangen.

3.1.1. Definition

Die Suche nach neuen und innovativen Produkten ließ Mitte des letzten Jahrhunderts erkennen, dass der Vielfalt von Lösungsmöglichkeiten einer Domäne wie dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Informationsverarbeitung Grenzen gesetzt sind. Durch das Erreichen eines hohen Standards auf allen Gebieten, das die Voraussetzung für die Entwicklung neuer Ideen darstellt, wurde es möglich, dass im Jahre 1969 die japanische Firma Yaskawa Electronic Cooperation als erste den Begriff „Mechatronik“ prägte. Dieses Kunstwort lässt sich etymologisch auf die Gebiete „Mechanik“ und „Elektronik“ zurückführen. Anfänglich wurde der Begriff Mechatronik im Bereich Robotik für mechanische Systeme verwendet, die durch die Elektronik ergänzt wurden (Heimann, Gerth, & Popp, 2001; Roddeck, 1997).

Heute wird mit Mechatronik eine Ingenieurdisziplin bezeichnet, die sich die Synergieeffekte der Domänen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik zunutze macht und die Entwicklung von innovativen Systemen wie Fahrerassistenzsysteme, X-by-Wire-Systeme und autonome Roboter ermöglicht. Durch die Ergänzung der Informations-

verarbeitung ist es möglich, sogenannte intelligente Systeme zu verwirklichen, die eigenständig auf Umwelteinflüsse reagieren und sich diesen anpassen können (Gausemeyer & Möhringer, 2003). Dies erschließt neue Potentiale für die Produktentwicklung und ermöglicht die Realisierung einer neuen Generation von Systemen.

Obwohl für diese junge Ingenieurdisziplin viele Definitionen in der Literatur zu finden sind, wird der Begriff „Mechatronik“ in den verschiedenen Quellen sehr ähnlich erläutert. Die Entwicklung eines mechatronischen Systems ist ein interdisziplinäres Zusammenspiel der einzelnen Domänen, wobei kein Gebiet benachteiligt oder überbetont werden sollte. Der Maschinenbau ist mit der Mechanik, wie beispielsweise bei dem Gehäuse, dem statisch/dynamischen Aufbau und nicht zuletzt mit den Berechnungen der technischen Mechanik, maßgeblich an der Konstruktion und dem Gesamtdesign beteiligt. Durch die Mikroelektronik werden Steuerungen umgesetzt, die Leistungselektronik sorgt für die Energieversorgung der einzelnen Komponenten. Das Herz eines jeden technischen Produktes ist der Antrieb, der neben seinen mechanischen Komponenten auch über elektrische und informationstechnische Bausteine verfügt. Ferner wird die Informationsverarbeitung in der Mess- und Regeltechnik verwendet, um über Sensoren den aktuellen Zustand zu erfassen und diesen gemäß der Bedingungen des intelligenten Systems zu beeinflussen (Heimann et al., 2001).

Nach VDI-Richtlinie 2206 wird Mechatronik wie folgt definiert: „Mechatronics is a synergetic integration of mechanical engineering with electronic and intelligent computer control in the design and manufacturing of industrial products and processes.“ Bei einem mechatronischen System handelt es sich damit nicht nur um die Aneinanderreihung von domänenspezifischen Einzelteilen zu einem Ganzen. Vielmehr ist man bemüht, Synergieeffekte durch die Verknüpfung der einzelnen Domänen aufzuzeigen und zu nutzen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den einzelnen Domänen, die an der Entwicklung eines mechatronischen Systems beteiligt sind. Gerade dieses Zusammenspiel aus Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik macht den Entwicklungsprozess sehr komplex. Die Komplexität eines Systems wird durch die verschiedenartige Verknüpfung vieler Komponenten hervorgerufen, die sich alle gegenseitig beeinflussen (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grothe, 2003). Aber auch die Interdisziplinarität trägt dazu bei, dass die Ermittlung des Zusammenwirkens und der Beeinflussungen der einzelnen Domänen bzw. Komponenten, die durch die Domänen umgesetzt werden, untereinander erschwert wird. Wie dies im Einzelnen vonstattengeht und wie zusätzlich Anforderungen an Produkte für ältere Menschen umgesetzt werden können, wird in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

3.1.2. Mechatronisches System als Regelkreis

Die Klärung des detaillierten Aufbaus eines mechatronischen Systems ist für die Entwicklung einer Methodik für mechatronische Systeme von großer Bedeutung. Dies ermöglicht die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten aufzudecken und als Parameter, die für die Entwicklung eingesetzt werden, festzuhalten. Ein mechatronisches System kann durch das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten als Regelkreis verstanden werden.

Ein Regelkreis besteht aus einer Regeleinrichtung und dem zu regelnden System, der Regelstrecke. Die dynamische Ausgangsgröße x (Regelgröße) der Regelstrecke wird über geeignete Messeinrichtungen erfasst. Das Signal für den erfassten Istwert der Regelgröße r (Rückführgröße) wird nun mit der vorgegebenen Sollgröße w (Führungsgröße) verglichen. Weichen Soll- und Istwert durch eventuell vorhandene Störungen voneinander ab, erhält man die Regeldifferenz $e = w - r$. Im Regler wird die Regeldifferenz gemäß vorhandener Regelgesetze verarbeitet, so dass ein Signal y (Stellgröße) generiert wird, das die Abweichung der Regelgröße x kompensiert (Bernstein, 2002; Heimann et al., 2001; Roddeck, 1997). Führungsgröße wird als Rückkopplung bezeichnet und es ermöglicht, Störungen entgegenzuwirken. Bild 6 zeigt den Signalflussplan für einen Regelkreis (Bernstein, 2002).

Um einen stabilen Wert für die Regelgröße x zu erreichen, muss sie fortlaufend erfasst werden, um eventuellen Abweichungen entsprechend entgegen zu wirken. Dieses Prinzip des Vergleichs der gemessenen Ausgangsgröße mit der vorgegebenen Führungsgröße wird als Rückkopplung bezeichnet und es ermöglicht, Störungen entgegenzuwirken. Bild 6 zeigt den Signalflussplan für einen Regelkreis (Bernstein, 2002).

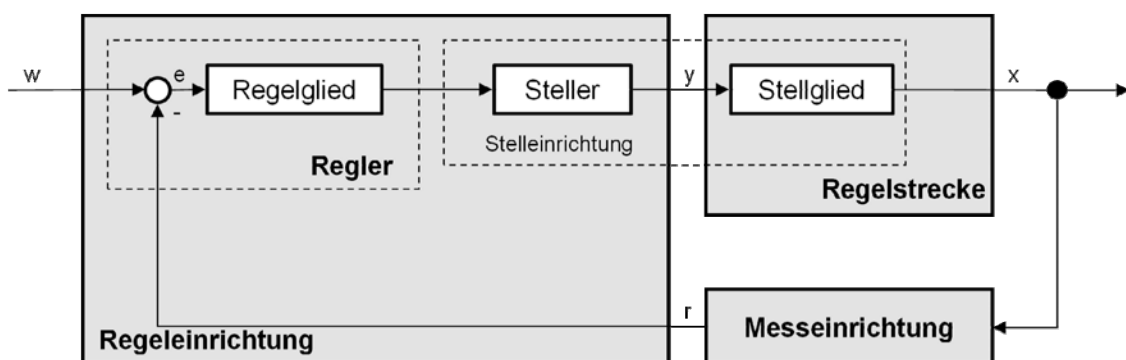


Bild 6 Aufbau eines Regelkreises (Bernstein, 2002)

Der mechatronische Regelkreis ist aus folgenden Komponenten zusammengesetzt: Grundsystem, Sensorik, Informationsverarbeitung, Aktorik. Ein Bestandteil des mechatronischen Systems ist das Grundsystem, das meist mechanisch realisiert ist. Es liefert die zu überwachenden Ausgangsgrößen des Systems. Die Erfassung des Istwerts erfolgt über geeignete Messtechnik und Sensoren. Eventuelle Abweichungen werden beim Ist-/Sollvergleich in der informationsverarbeitenden Komponente festgestellt. Um Differenzen zwischen Soll- und Ist-Zustand entgegen zu wirken, werden entsprechende Signale generiert, die an die Aktorik weitergegeben werden. Diese hat zur Aufgabe, über die erhaltenen Signale das System so zu beeinflussen, dass die Regelabweichungen ausgeglichen werden. Vergleicht man die Funktionsweise der Aktorik im Gesamtsystem mit der in einem menschlichen Körper, so ist diese am ehesten der Muskulatur zuzuordnen, die durch das Gehirn (informationstechnische Komponente) angesteuert wird (Heimann et al., 2001).

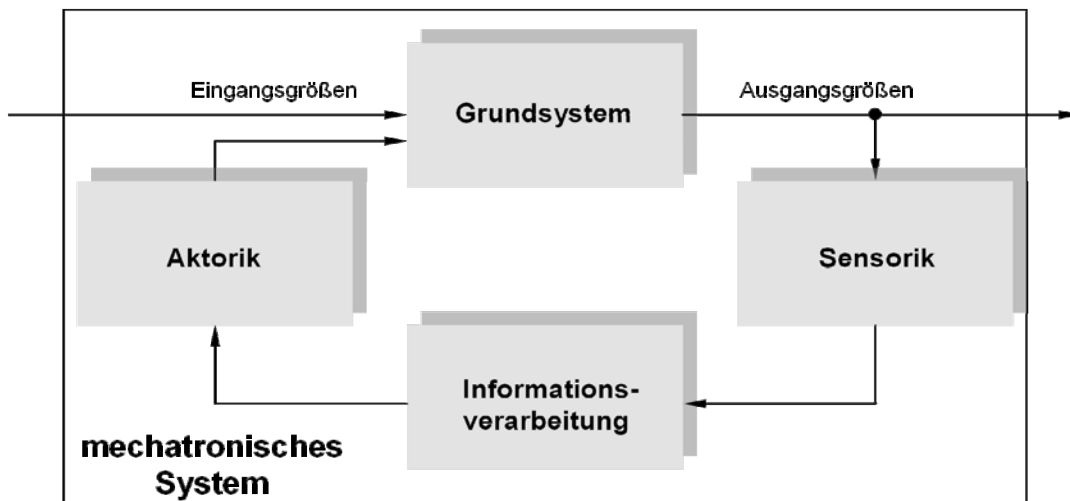


Bild 7 Aufbau eines mechatronischen Systems (Bernstein, 2002; Heimann et al., 2001; Roddeck, 1997)

3.2. Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung

Für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ist eine effiziente Produktentwicklung von größter Wichtigkeit. Diese muss in immer kürzerer Zeit neue und innovative Produkte entwickeln, um den stetig steigenden Ansprüchen der Kunden gerecht zu werden. Dazu leistet der Einsatz von Methodik in der Produktentwicklung einen erheblichen Beitrag. Am Anfang eines jeden Produktentstehungsprozesses besteht für die Produktentwickler die Möglichkeit, die Kosten, die für ein Produkt vom Entstehungsprozess bis zum Recycling anfallen, bis zu siebzig Prozent zu beeinflussen (Bild 8; Hessenberger, 2002). Deswegen ist es notwendig, die Entwickler im Entwicklungsprozess bei ihrer Tätigkeit zu unterstützen. Ein methodisches, systematisches Vorgehen soll Ingenieuren die einfachere und schnellere Realisierung neuer Produkte durch konkrete Vorgehensweisen für das Entwerfen von Systemen erleichtern und die Zusammenarbeit im Team regeln. Eine geeignete Methodik muss unter anderem folgende Anforderungen erfüllen (vgl. Pahl et al., 2003; Habermann et al., 2002):

- Lehr- und Erlernbarkeit
- Förderung der Kreativität
- Beinhaltung der Erkenntnisse der Psychologie und Arbeitswissenschaft
 - Arbeitserleichterung
 - Zeitersparnis
 - Vermeidung von Fehlentscheidungen
- problemorientiertes Vorgehen
- Branchenunabhängigkeit
- Planung und Steuerung von Teamarbeit

Die Anwendung einer Methodik soll zur schnellen Erarbeitung guter Ergebnisse beitragen. Die im folgenden Kapiteln beschriebenen Vorgehensweisen stellen keine starr zu befolgende Anleitung zum Entwickeln von Systemen dar, sondern sollen vielmehr als Leitfaden zur Lösung von Problemen verstanden werden. Die Verwendung einer Methodik kann nicht die Fähigkeiten, das Fachwissen, die Situationskenntnis und die Begabung von Ingenieuren ersetzen. Ihre Kreativität und Intuition stehen nicht im Gegensatz zu dem Einsatz einer Methodik, sondern diese soll die kreativen Eigenschaften von Entwicklern stimulieren und fördern. Es soll die Grundidee des methodisch, systematischen Vorgehens vermittelt werden und zur Anwendung anregen. Ferner ist die Einhaltung eines allgemeinen Charakters bei der Beschreibung einer Vorgehensweise wichtig, um eine offene Sicht auf andere Domänen oder Gedankengänge zu ermöglichen, die die eigene Entwicklungsarbeit bereichern können. Zur Unterstützung von speziellen Aufgabenstellungen - wie im vorliegenden Fall die Entwicklung von Produkten für

leistungseingeschränkte Personen - ist die allgemeine Vorgehensweise um spezifische Hilfestellungen zu ergänzen.

Um für Leser, die mit Vorgehensmodellen nicht vertraut sind, einen Einblick in die unterschiedlichen Herangehensweisen in der Produktentwicklung zu verschaffen, wird im Folgenden ein kurzer Überblick über vorherrschend eingesetzte Vorgehensmodelle in der Mechatronik (Kapitel 3.2.1) und der domänenspezifischen Entwicklung (Kapitel 3.2.2) gegeben. Die aufgeführten Quellen sind für ein eingehendes Studium der Ansätze zu empfehlen. Im Anschluss wird ein detailliertes Prozessmodell für die Entwicklung von Produkten für ältere Menschen beschrieben (Kapitel 3.3), in das die spezifischen Hilfestellungen eingeordnet sind.

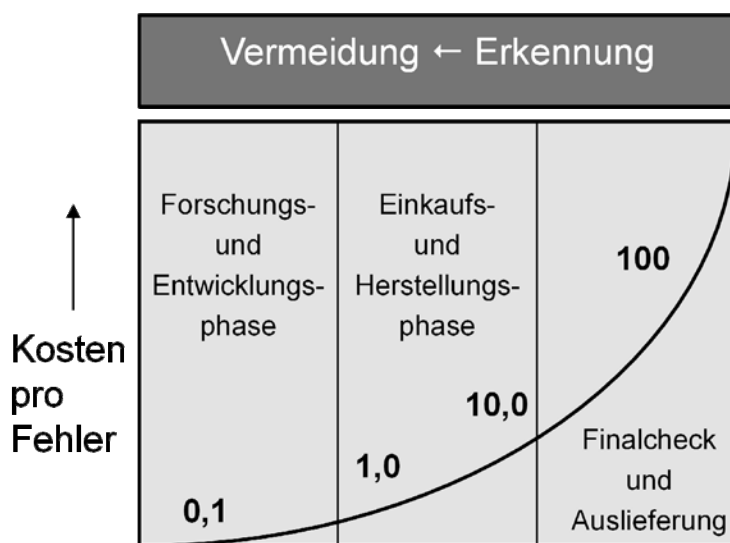


Bild 8 Rule of ten (Pahl et al., 2003)

3.2.1. Überblick über Vorgehensmodelle in der Mechatronik

Die Berücksichtigung und Umsetzung der Anforderungen aus den verschiedensten Domänen stellt Produktentwickler bei der Entwicklung mechatronischer Systeme vor eine Herausforderung. Die damit verbundene erhöhte Produktkomplexität bedingt, dass Schnittstellen zwischen zeitlich parallel entwickelten Baugruppen häufig auch Schnittstellen im zugehörigen Entwicklungsprozess benötigen. Dies schlägt sich in einer steigenden Komplexität der Entwicklungsprozesse nieder. Diese Komplexität ist in zunehmend kürzeren Innovationszyklen und bei steigenden Qualitätsanforderungen in global verteilten Netzwerken von interdisziplinären Entwicklungsteams zu bewerkstelligen.

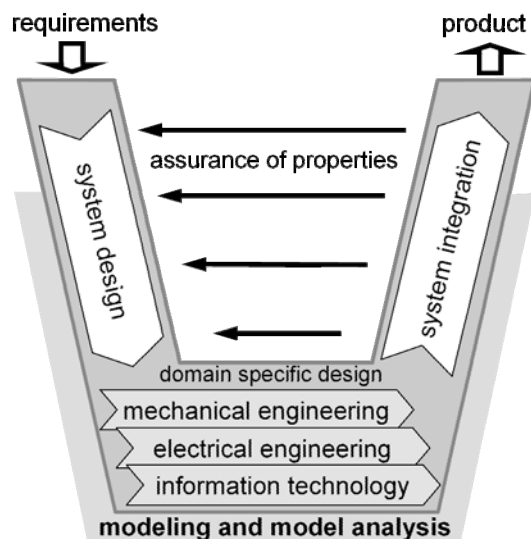


Bild 9 V-Modell nach VDI 2206

Das von der VDI 2206 vorgeschlagene **V-Modell** für die Entwicklung mechatronischer Systeme (Bild 9), besteht aus drei Hauptschritten. Im linken Arm ist der Systementwurf verankert, in dem nach der Klärung der Anforderungen die Aufgabe in Teilprobleme herunter gebrochen wird. Die Lösungsfindung für die Teilprobleme erfolgt im interdisziplinären Team. Am Grund des V-Modells erfolgt der domänenspezifische Entwurf, in dem die domänenspezifischen Entwicklungsmethodiken ihren Einsatz finden. Zu Beginn des rechten Arms werden die parallel entwickelten Teilkomponenten zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Die für die Systemintegration notwendigen Schnittstellen müssen bereits im Systementwurf angelegt werden. Während der Systemintegration erfolgt eine ständige Absicherung der Eigenschaften des realen Systems mit den zu Beginn des Produktentwicklungsprozesses geforderten Eigenschaften. Der Systementwurf, die Systemintegration und die Absicherung der Eigenschaften des Systems werden durch Modellbildung und Simulationen unterstützt.

Beim Hardware/Software-Codesign wird eine integrative Entwicklung von Hardware und Software auf abstrakter Ebene in den frühen Phasen angestrebt, der einen schnellen und einfachen Wechsel zwischen den beiden Bereichen ermöglicht. Die Systemanforderungen werden abstrakt beschrieben und dienen als Grundlage für die Realisierung der Funktionen. Die Systembeschreibung wird in Komponenten aufgeteilt, die anschließend entwickelt und über definierte Schnittstellen integriert werden. Sind Rücksprünge durch nicht gewollte Abweichungen erforderlich, ist durch die erfolgte Partitionierung keine Änderung in der Systembeschreibung notwendig, da diese unabhängig von der Partitionierung erstellt wurde. Dieser Vorteil spart Zeit und Kosten bei Änderungstätigkeiten (Kallmeyer, 1998).

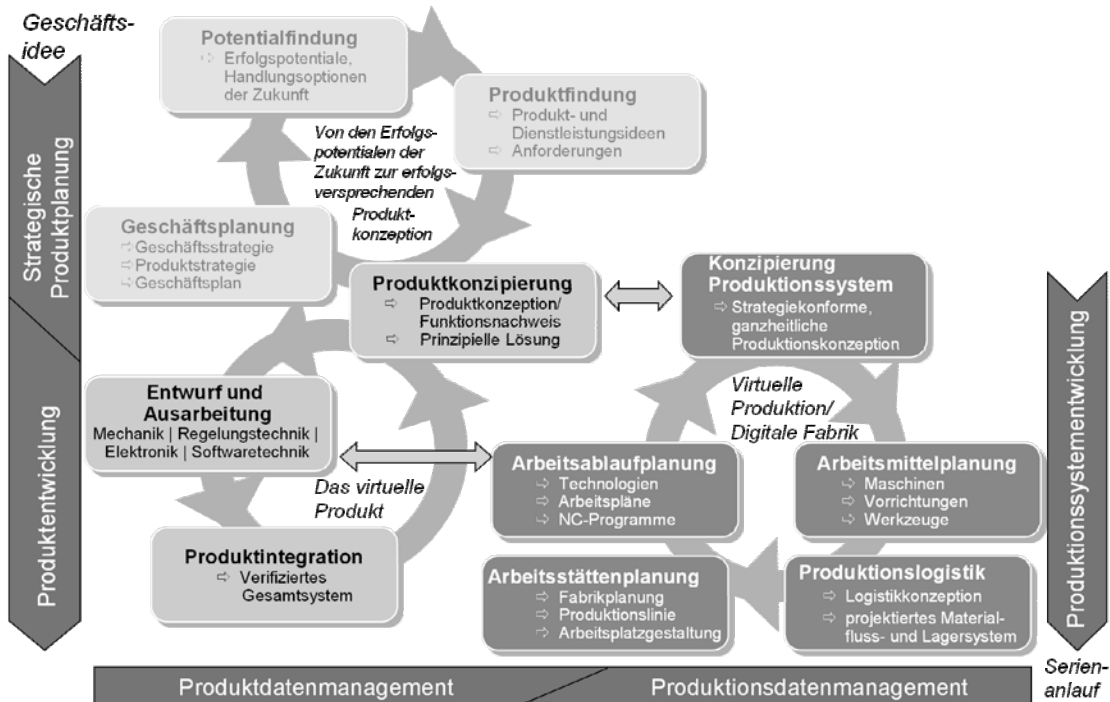


Bild 10 Drei-Zyklen-Modell der Produktentstehung (Gausemeier et al., 2006)

Ein weiteres Vorgehensmodell stellt das **Drei-Zyklen-Modell der Produktentstehung** (Gausemeier et al., 2006) bereit. Hier wird der Produktentstehungsprozess von der Geschäftsidee bis zum Serienanlauf abgebildet (Bild 10). Der Prozess wird als Wechselspiel verschiedener Aufgaben in Zyklen verstanden, der keine strikte Folge von Prozessschritten aufweist. Die Aufgabenbereiche erstrecken sich von der strategischen Produktplanung über die Produktentwicklung hin zu der Entwicklung des Produktionssystems. Eine Zusammenarbeit von Fachleuten aus der Produktplanung, der Entwicklung und der Fertigungsplanung im interdisziplinären Team ist notwendig (kooperatives Produktengineering; Gausemeier et al., 2000). Das vorliegende Modell weist drei Zyklen auf: Der erste Zyklus (von den Erfolgspotentialen der Zukunft zur erfolgversprechenden Produktkonzeption) umfasst Aufgaben von der Potentialfindung bis zur Konzipierung des Produkts. Ziel dieses Zyklus ist das Erstellen der prinzipiellen Lösung. Ferner wird die Produktstrategie festgelegt, die die Gestaltung des Produktprogramms beinhaltet. Ausgehend von der Produktkonzipierung startet im zweiten Zyklus (das virtuelle Produkt) der domänenspezifischen Entwurf der Teillösungen, die am Ende dieses Zyklus zu einer Gesamtlösung integriert werden. Zur Unterstützung und Absicherung dieses Zyklus werden virtuelle Modelle eingesetzt. Das Produktkonzept ist ebenfalls die Initialisierung des dritten Zyklus (Produktionssystem / Digitale Fabrik), das für die Konzipierung des Produktionssystems vorgesehen ist. Aus der parallelen Entwicklung des Produktionssystems zur Erarbeitung der Gesamtlösung werden Syner-

gieeffekte nutzbar. Zum Austausch der entstehenden Partialmodelle wird ein geeignetes Datenmanagementsystem benötigt.

Das **FORFLOW-Prozessmodell** (Krehmer et al., 2009, Krehmer et al., 2010) stellt eine universell einsetzbare Abbildung eines modernen Produktentwicklungsprozesses dar, das den vielfältigen Aspekten der multidisziplinären Produktentwicklung begegnet. Das FORFLOW-Prozessmodell bietet den Entwicklern eine vielfältige Unterstützung bei der Bewältigung der multidisziplinären Produktentwicklung. Der Produktentwicklungsprozess stellt einen nicht vorhersehbaren und iterativ ablaufenden Prozess dar, für den starre und unflexible Prozessmodelle schnell an ihre Grenzen stoßen (Paetzold, 2004). Darüber hinaus werden in diesem Prozessmodell die Entwickler bei Fragestellungen hinsichtlich der „Integration mechatronischer Aspekte,“ „Situationsspezifische Prozessplanung“, „Integration von Iterationen und Lessons Learned“, „DfXUnterstützung“, „Integration von CAx-Werkzeugen“, „Absicherung auf mehreren Ebenen“ sowie „Integration von Simultaneous und Concurrent Engineering“ sowie beim Einsatz von rechnergestützten Werkzeugen (CAx) unterstützt. Für die einzelnen Themen werden entsprechende Ansätze bereitgestellt, die in dem Prozessmodell verankert sind (Krehmer et al., 2009). Das Prozessmodell ist in drei Ebenen gegliedert (vgl. Bild 11).

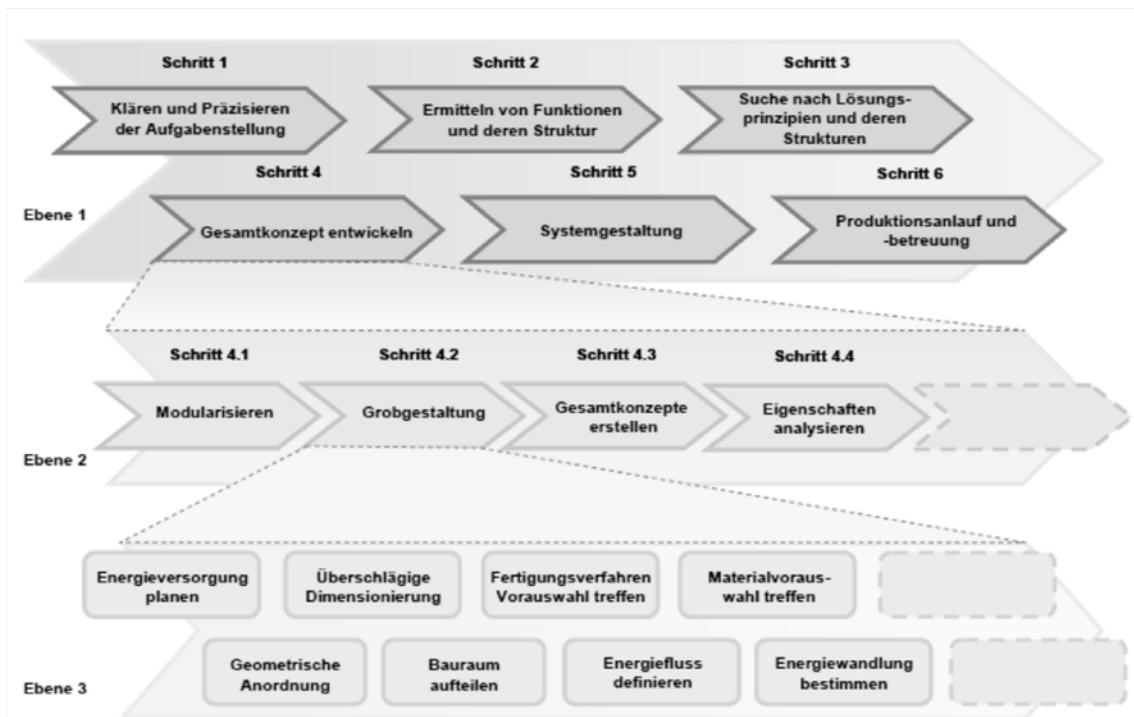


Bild 11 FORFLOW-Prozessmodell (Krehmer et al., 2009)

Die erste Ebene enthält sechs Hauptschritte, welche die gesamte Entwicklung vom „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ bis hin zum „Produktionsanlauf und -betreuung“ abdecken. In der zweiten Ebene werden diese Hauptschritte in detailliertere Schritte aufgegliedert, die in der dritten Ebene in 86 Schritte unterteilt zu werden. Um die Kreativität der Entwickler zu fördern und nicht einzuschränken, wird für die Schritte auf der untersten Ebene keine bestimmte Reihenfolge der Abarbeitung vorgeschrieben. Diese Schritte können somit auch simultan abgearbeitet werden.

3.2.2. Domänenspezifische Vorgehensmodelle

Für den domänenspezifischen Entwurf sind typische Vorgehensmodelle, die auf die jeweiligen Belange des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informatik abgestimmt sind, einzusetzen.

3.2.2.1. Maschinenbau

Im deutschsprachigen Raum sind unter anderem Rodenacker, Pahl/Beitz, Koller und Roth mit ihren Schulen die wichtigsten Vertreter der Konstruktionsmethodik (Bild 12).

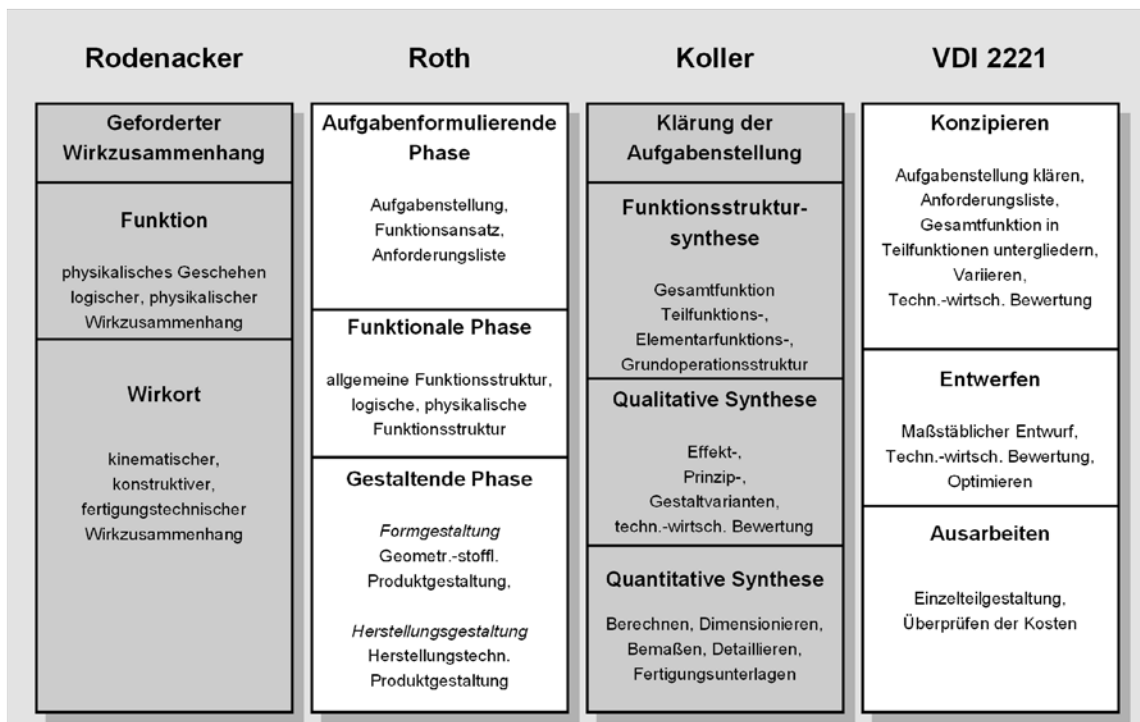


Bild 12 Vorgehensmodelle zum Konzipieren von technischen Produkten (Kallmeyer, 1998; Pahl et al., 2003; Schön, 2000)

Die Vorgehensweisen unterscheiden sich nicht grundsätzlich, allerdings benutzen die verschiedenen Schulen jeweils eine für sie spezifische Nomenklatur. Die methodischen Arbeitsschritte sind nicht als starr zu betrachten, sondern haben einen iterativen Charakter, der aus der Konstruktionspraxis durch Vor- und Zurückspringen zwischen den einzelnen Phasen bekannt ist. In der VDI-Richtlinie 2222 sind ein Vorgehensplan und Methoden zum Konzipieren von technischen Produkten festgehalten.

Die Methodik von Rodenacker (1970) richtet ihr Augenmerk auf die physikalischen Zusammenhänge in einem Produkt. Die durch die Aufgabenstellung bedingten Wirkzusammenhänge werden stufenweise durch logische, physikalische und konstruktive Wirkzusammenhänge umgesetzt. Für die Lösungssuche werden bekannte physikalische Effekte betrachtet und je nach Vorgaben ausgewählt. Dieses Vorgehen ist besonders für die Findung neuer Lösungen geeignet. Die Schritte der Vorstudie bis zur Detailstudie werden bei diesem Ansatz stark betont und konkretisiert.

Die Produktentwickler werden bei Roth bei der Lösungsfindung durch die Verwendung von Konstruktionskatalogen unterstützt. Es werden Modelle von dem Produkt im Rechner erschaffen (Pahl et al., 2003). Die domänenspezifischen Methoden können als Ergänzung bzw. verfeinertes Vorgehen, das auf die Belange der einzelnen Domänen abgestimmt ist, gesehen werden. Der Rechneinsatz spielt ebenfalls bei dem methodisch, algorithmischen Vorgehen von Koller (1985) eine große Rolle. Es werden die Hauptfunktionen in Einzelschritte unterteilt, wobei die Untergliederung jedoch nur soweit erfolgt, bis algorithmierbare Regeln für deren Durchführung definierbar sind (Pahl et al., 2003). Es werden physikalische Eingangs- und Ausgangsgrößen des Systems definiert und logische, physikalische Grundoperationen zu einer Funktionsstruktur miteinander verknüpft. Die Funktionen sind Eigenschaften und Zustände von Energie-, Stoff- und Signalflüssen in einem System, die in ihrer Größe und Richtung verändert werden können.

Das bekannteste Prozessmodell im Maschinenbau ist die Konstruktionsmethodik von Pahl und Beitz (Pahl et al., 2003), deren prinzipieller Aufbau im Folgenden näher erklärt wird. Wie in Bild 13 zu sehen, gliedern Pahl und Beitz den Produktentwicklungsprozess in vier Konstruktionsphasen. Die Hauptphasen lauten:

- Planen (informative Festlegung)
- Konzipieren (prinzipielle Festlegung)
- Entwerfen (gestalterische Festlegung)
- Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung)

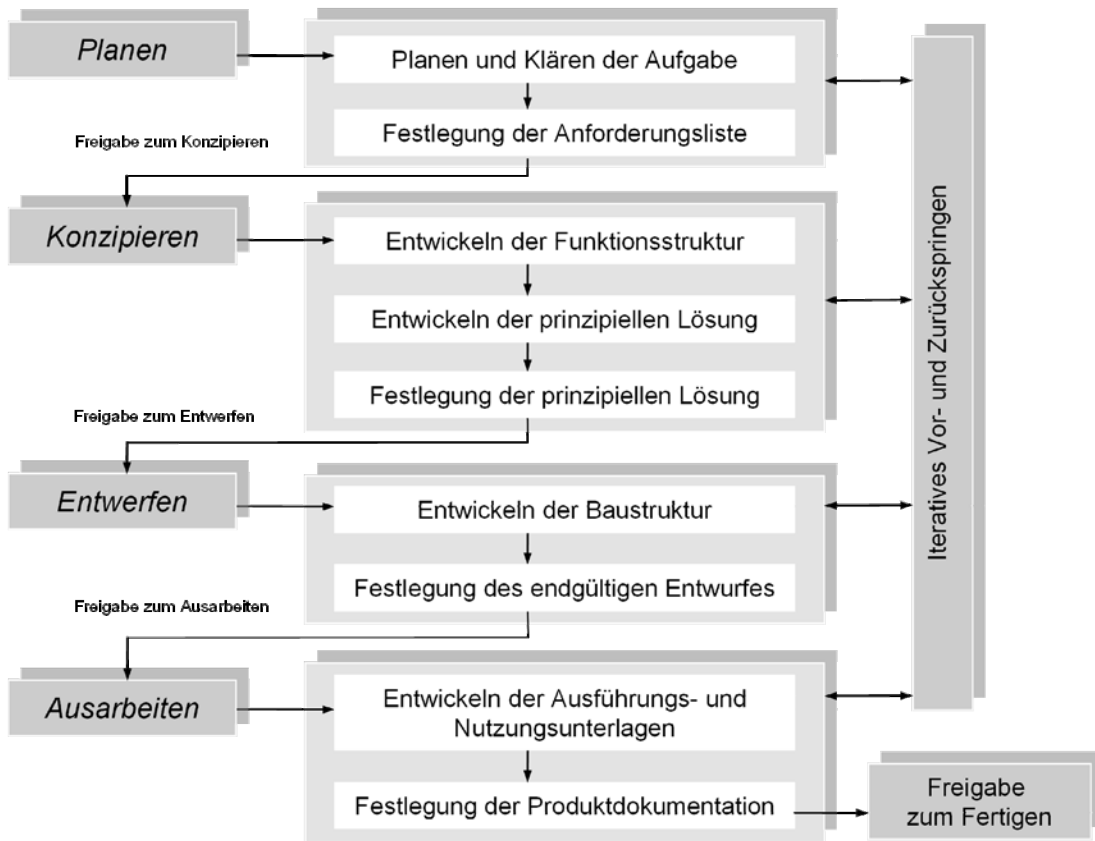


Bild 13 Vorgehensmodell nach Pahl und Beitz (Pahl et al., 2003)

Die Phase der Planung ist sehr kreativitätsbetont, wohingegen die Kreativität bei jeder weiteren Phase immer mehr in den Hintergrund und das strukturierte Vorgehen in den Vordergrund tritt. Die einzelnen Phasen sind in der Praxis nicht immer genau zu trennen, da bereits in früheren Phasen Informationen von nachfolgenden gebraucht werden. So ist es wichtig, dass die Methodik nicht als Aneinanderreihung von starren Arbeitsschritten konzipiert ist, sondern die nötige Flexibilität für ein iteratives Vor- und Zurückspringen mit sich bringt. Die Hauptphasen sind in weitere Arbeitsanweisungen unterteilt, die Tätigkeiten wie Informieren, Recherchieren, Berechnen, Kontrollieren und Besprechen beinhalten.

Bevor ein Produkt geplant werden kann, muss zuerst eine Produktidee vorliegen, die sich zu verfolgen lohnt. Das kann zum Beispiel durch einen Kundenauftrag oder durch einen konkreten Vorschlag der Produktplanung im Unternehmen erfolgen. Dabei ist immer der derzeitige Markt, die vorherrschende Unternehmenssituation und das Umfeld zu beachten. Der ausgewählte Produktvorschlag ist durch die Klärung der Aufgabenstellung näher zu bestimmen. Dabei werden Informationen über die an das Produkt gestellten Anforderungen beschafft und in einer Anforderungsliste dokumentiert. In dieser wird ebenfalls die Bewertung und Einstufung der verschiedenen Anforderungen

in Forderungen und Wünschen festgehalten. Die Hauptmerkmale einer Anforderungsliste beinhalten alle wichtigen Eigenschaften eines Produktes wie die Geometrie, Kinematik, Sicherheit, Fertigung, Montage und das Recycling. Dieses Dokument fasst alle Anforderungen und Festlegungen, die das zu entwickelnde System betreffen, in sich zusammen und dient als Maßstab für die Bewertung des entstehenden Produktes. Deswegen ist es von größter Wichtigkeit, die Anforderungsliste stets auf dem aktuellen Stand der Entwicklung zu halten. Die Freigabe zum Konzipieren ist der letzte Schritt im Planungsschritt (Kallmeyer, 1998; Pahl et al., 2003).

In der Konzeptionsphase wird die Aufgabenstellung bzw. das zu entwickelnde Produkt auf die wesentlichen Probleme abstrahiert. So erhält man die Gesamtfunktion des Systems, das den allgemeinen Zusammenhang zwischen den Ein- und Ausgängen des Systems beschreibt. Anschließend wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen untergliedert, die über Energie-, Stoff- und Signalflüsse zur Funktionsstruktur verbunden sind. Für die einzelnen Funktionen werden geeignete Wirkprinzipien in Abhängigkeit der geforderten Energie-, Stoff- und Signalflüsse gesucht. Die Kombinationen der Wirkprinzipien für die Teilfunktionen ergeben zusammen die prinzipiellen Lösungen für das Produkt, die durch die Kopplung der Energie-, Stoff- und Signalflüsse der Einzelsysteme die Forderungen der Energie-, Stoff- und Signalflüsse des Gesamtsystems erfüllen. Um die bestmögliche Lösung auswählen zu können, ist es nötig, sich auch über die Werkstoffauswahl, grobe Dimensionierung sowie über die technische Realisierung des Produktes Gedanken zu machen. Der Arbeitsschritt Konzipieren muss mit großer Sorgfalt durchgeführt werden, da grundlegende Fehler und Mängel im Entwurf und der Ausarbeitung kaum oder nur schwer auszugleichen sind. Deswegen ist es sinnvoll, diesen Schritt der Konzipierung für ein mechatronisches System von einem interdisziplinären Expertenteam durchführen zu lassen. So gilt es, die bestmögliche prinzipielle Lösung für das vorliegende System auszuwählen. Die Lösungsprinzipien werden nach festgelegten technischen Gesichtspunkten beurteilt. Die ausgewählte prinzipielle Lösung wird anschließend beim Entwerfen weiter konkretisiert (Kallmeyer, 1998; Pahl et al., 2003).

Nach der prinzipiellen Festlegung des Produktes folgt der gestalterische Entwurf. Ausgehend von den Wirkstrukturen in der prinzipiellen Lösung wird im Entwurf die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, die stark von den zu erreichenden Zielen und der Einsatzdomäne abhängen, erarbeitet und festgelegt. Die Gestaltgebung erfolgt vom Groben, wie der Festlegung der Abmessungen und Anordnungen, ins Feine, wobei die einzelnen Teile konkretisiert werden. Die vorliegenden Entwürfe werden gemäß ihrer Vor- und Nachteile bewertet. Wichtig ist, dass die beste Variante nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten ausgewählt wird. Dabei können und sollen die nicht favorisierten Lösungsmöglichkeiten mit ihren Teilsystemen als

Anregung für die Verbesserung der gewünschten Lösung dienen. Durch Kombination von Teillösungen ist es möglich, Schwachstellen entgegenzuwirken und so den bestmöglichen Entwurf für das Produkt zu erhalten. Der endgültige Gesamtentwurf gestattet eine Begutachtung von den in der Anforderungsliste definierten Produkteigenschaften wie Funktion, Sicherheit, Haltbarkeit, Dimensionierung von einzelnen Komponenten und die Einhaltung des festgelegten Bauraums. Sind alle Forderungen aus der Anforderungsliste erfüllt, erfolgt die Freigabe zum Ausarbeiten (Kallmeyer, 1998; Pahl et al., 2003).

Der endgültige Entwurf wird beim Ausarbeiten weiter detailliert und konkretisiert, indem alle herstellungstechnischen Forderungen berücksichtigt werden. Es wird bindend festgelegt, welche Form, Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheit die einzelnen Komponenten des Produktes besitzen, aus welchem Werkstoff sie realisiert werden und welche Kosten für das Produkt anfallen. Erst in der Ausarbeitung ist es möglich die letzten Fehler und Mängel mit ihrer gegenseitigen Wechselbeziehung zu erkennen und zu versuchen, diesen entgegenzuwirken, oder diese durch Zurückspringen zwischen den Stufen auszubessern. Außerdem werden Details wie Toleranzen, Passungen, Form festgelegt und optimiert. Eine weitere wichtige Aufgabe der Ausarbeitung besteht in der Erstellung der Fertigungs-, Montage- und Transportvorschriften, -unterlagen und -daten, die durch CAD-Systeme unterstützt wird (z.B. Ableiten von CNC-Daten aus CAD-System). Die Dokumentationen müssen auf Richtigkeit, Vollständigkeit und Normenkonformität geprüft werden. Wenn die Kontrolle frei von Beanstandungen ist, erfolgt die Freigabe zur Fertigung (Kallmeyer, 1998; Pahl et al., 2003).

Im domänenspezifischen Entwurf Maschinenbau werden mechanische Teilsysteme und Komponenten entworfen und ausgearbeitet. Die Schnittstellendefinition zu den anderen Domänen muss frühzeitig erfolgen.

3.2.2.2. Elektrotechnik

In der Elektrotechnik wie im Maschinenbau versteht man unter einem Bauelement eine einzelne Komponente in der Entwicklung und Konstruktion, die eine grundlegende Aufgabe ausführt. Im Gegensatz zu Schrauben oder Nieten, die zur Verbindung von Bauelementen dienen, führt ein elektronisches Bauelement seine Funktion durch die in ihm fließende elektrische Energie aus. Es werden verschiedene Arten von elektronischen Bauelementen unterschieden: diskrete Bauelemente (passiv, aktiv) und integrierte Bauelemente (Hanke & Fabian, 1975).

Unter einem diskreten Bauelement versteht man ein Element, das nur eine einzelne bauteilspezifische Funktion ausübt. Passive Bauelemente wie Widerstände, Kondensa-

toren und Induktivitäten, die einen festen oder veränderbaren elektrischen Wert besitzen, werden für die Strombegrenzung, zur Glättung von Spannungen oder zur Stabilisierung von Gleichstromquellen eingesetzt. Dioden, die zur Gleichrichtung und Vorbeugung von Verpolungen eingesetzt werden, Transistoren, Thyristoren und optoelektronische Komponenten wie Sensoren gehören zu den aktiven Bauelementen. Der Vorteil von diskreten Bauelementen liegt in ihrer Preisgünstigkeit und Genauigkeit bei den elektrischen Parametern (Beitz, Grote, & Dubbel, 1997; Linse & Fischer, 2000).

Um komplexere Anforderungen zu realisieren, werden mehrere gleichartige oder verschiedene Komponenten zusammengeschaltet. Wird diese entstehende Schaltung in einem Element vereinigt, entsteht ein neues integriertes Bauelement, das wiederum mehrfach zusammengeschaltet und zu einer Komponente vereinigt eine Baugruppe ergibt (Hanke & Fabian, 1975). Im Zuge der Miniaturisierung und Funktionsintegration ist es immer von Vorteil, wenn so wenig Bauraum wie möglich für die Realisierung von bestimmten Aufgaben verwendet wird. Dies ermöglichte 1958 Jack Kilby von Texas Instruments mit seiner Erfindung der integrierten Schaltung (IC: Integrated Circuit; Lau). Auf einem einkristallinen Siliziumplättchen (Chip) werden in mehreren Fertigungsschritten durch Leitfähigkeitsänderung verschiedene diskrete Bauteile mit unterschiedlichen elektrischen Funktionen integriert und deren Verbindung realisiert. Versieht man diese Verschaltung von vielen einzelnen Bauelementen auf einem einzigen kleinen Plättchen mit Anschlüssen und einem Gehäuse, entsteht ein integriertes Bauelement, das sehr komplex ist (Hanke & Fabian, 1975; Linse & Fischer, 2000).

Die Entwicklung von integrierten Schaltungen ist sehr aufwändig und zieht hohe Kosten nach sich. Im Gegensatz zu der Auswahl und Dimensionierung von diskreten Bauelementen ist für die kostenintensive Entwicklung der komplexen integrierten Bauelemente der Einsatz von Methodik erstrebenswert. Um Randbedingungen wie die bestmögliche Größe, Ausbeute, Zuverlässigkeit, Schaltgeschwindigkeit und Leistungsaufnahme des Chips sowie einer Kostenoptimierung gerecht zu werden, ist es nicht von Vorteil, die Anforderungen direkt auf der sehr konkreten Transistorebene (Schaltkreisebene) umzusetzen, da die Komplexität der Aufgabenstellung besser auf abstrakteren Ebenen zu bewältigen ist. Die methodisch strukturierte Vorgehensweise beim Entwurf digitaler Schaltungen erfolgt ähnlich wie im Maschinenbau bzw. in der Systemtheorie nach dem Top-Down-Prinzip durch schrittweise Verfeinerung vom Allgemeinen zum Konkreten. Es herrschen drei verschiedene Sichtweisen bzw. Beschreibungsmöglichkeiten bei der Entwicklung digitaler Schaltungen vor: Verhalten, Struktur und Geometrie (Schön, 2000; Thomas, 2001).

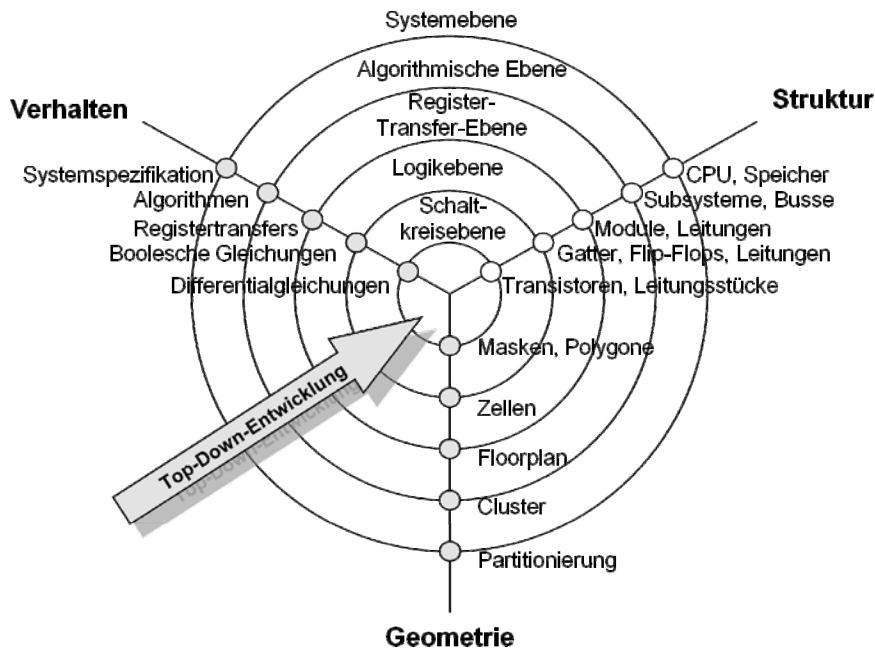


Bild 14 Y-Diagramm nach Gajski-Walker (Schön, 2000; Thomas, 2001)

In dem Y-Diagramm von Gajski-Walker werden die unterschiedlichen Sichtweisen veranschaulicht (Bild 14). Die Kreise mit den verschiedenen Radien symbolisieren die unterschiedlichen Abstraktionsebenen, die im Laufe einer Entwicklung durchschritten werden. Die Synthese erfolgt auf Bild 14 bezogen von außen nach innen, wobei die äußerste Ebene die abstrakteste darstellt. Die digitale Schaltung wird durch den Verhaltenszweig, der Auskunft über das Reaktionsverhalten einer Schaltung gibt, und durch die Struktur beschrieben, die gemäß der Abstraktionsebenen die Realisierungsebenen schildert. Die Umsetzung der Schaltung auf die Chipoberfläche wird durch die Geometrie festgelegt. Zu diesen Beschreibungsarten sind auch im Maschinenbau Parallelen zu finden. Es interessieren bei der Entwicklung von Maschinenbauprodukten auch das Verhalten des Systems, die Umsetzung durch Bauteile und die geometrische Anordnung, wobei die Vorgehensweisen in den einzelnen Domänen sehr spezifisch sind. Vom Start auf dem Verhaltenszweig bis zum Layoutentwurf auf dem geometrischen Zweig wird der Entwurf für die digitale Schaltung zunehmend konkretisiert. Ähnlich wie bei anderen Methodiken ist der Ablauf nicht streng einzuhalten, sondern je nach Begebenheit durchzuführen. Ebenso sind iterative Schritte für die Beseitigung von Fehlern notwendig.

Beim Entwurf digitaler Schaltungen in der Elektrotechnik ist keine einheitliche Vorgehensweise und Nomenklatur zu finden. Die Anzahl der Abstraktionsebenen sowie deren Inhalte variieren je nach Quelle. In Bild 15 sind die meist verwendeten Ebenen zu

sehen. In der Reihenfolge ihres fallenden Abstraktionsgrades lauten sie: Systemebene, algorithmische Ebene, Register-Transfer-Ebene, Logikebene und Schaltkreisebene. Die Abstraktionsebenen an sich geben bereits ein Vorgehensmodell vor. Jede Entwicklungsphase mit ihren spezifischen Tätigkeiten liefert bei ihrer Beendigung Ergebnisse, die als Resultate einer Stufe des Entwurfes die Grundlage für die folgende liefern (Kallmeyer, 1998).

Für die Beschreibung der folgenden Methodik ist zu sagen, dass die verwendeten Begriffe wie Funktion und System nach der allgemeinen systemtheoretischen Sichtweise verwendet werden. Unter Architektur werden die Anordnungen der einzelnen Blöcke und deren Verknüpfung verstanden. Blöcke stellen die Oberfunktionen wie Speicher dar. Im Vergleich mit der Systemtheorie sind darunter die Oberbegriffe der Teilsysteme zu verstehen. Ein Algorithmus beschreibt eine Vorgehensweise, wie ein Ziel erreicht werden kann, wobei nebenläufige Algorithmen voneinander abhängige Prozesse beschreiben.

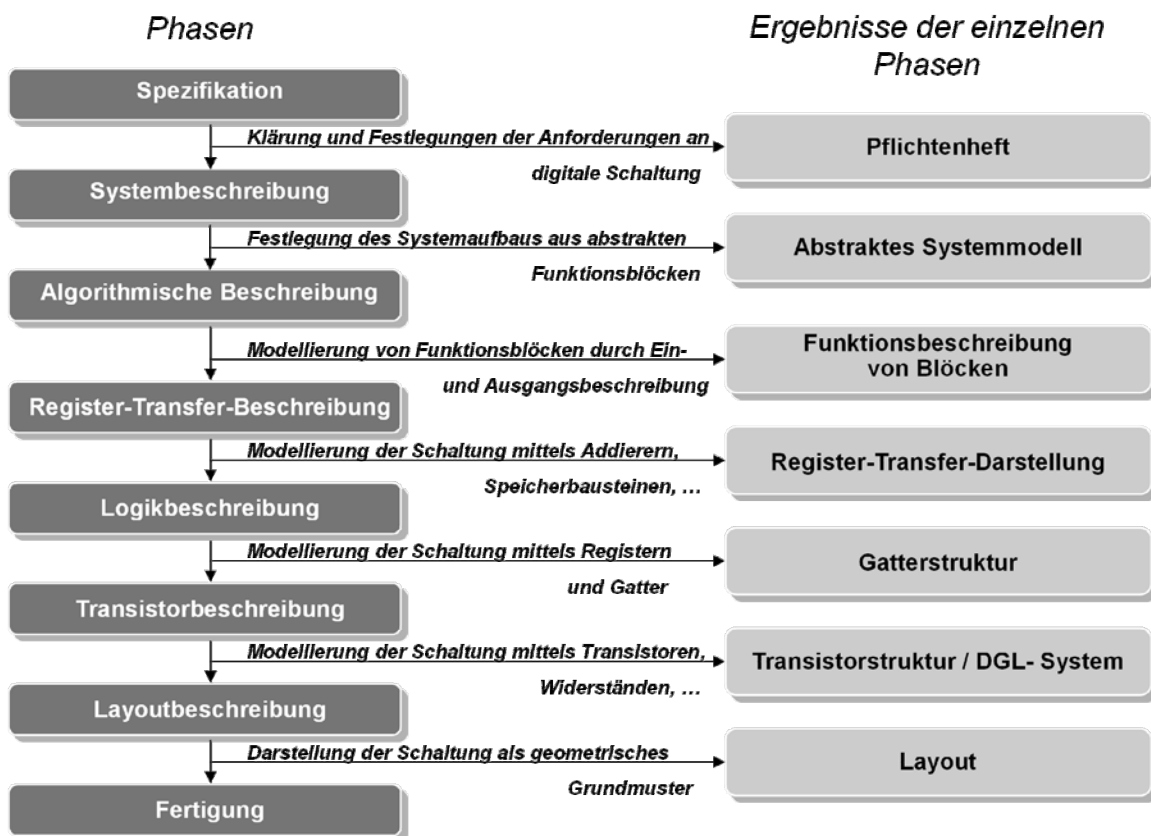


Bild 15 Vorgehensmodell bei der Entwicklung digitaler Schaltungen (Kallmeyer, 1998)

Bei der Spezifikation werden die Anforderungen an die digitale Schaltung wie zum Beispiel die gewünschte Funktion und die Leistungsmerkmale, die entstehenden Kosten und die für den Entwurf benötigte Entwicklungszeit mit dem Kunden geklärt und festgelegt. Diese Festlegungen werden im Pflichtenheft wie im Maschinenbau bzw. im Phasenmodell fixiert, das als Grundlage und Richtlinie für den gesamten Schaltungsentwurf dient (Kallmeyer, 1998).

Die Systemebene, deren Entwurf den nächsten Schritt darstellt, beschreibt allgemein und abstrakt die Gesamtschaltungsfunktion, die in einzelne grundlegende Blöcke aufgeteilt wird. Anschließend werden diese näher durch ihre Funktion charakterisiert. Ferner ist das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten, die durch Instruktionssätze (Befehlssätze) und Verhaltensspezifikationen beschrieben werden, von Interesse, das über die Schnittstellen, sogenannte Funktionselemente, zwischen den Blöcken modelliert wird, um Aussagen über die Gewährleistung der Gesamtfunktion zu erhalten.

Für die Beschreibung des Verhaltens werden abstrakte Datentypen definiert bzw. verwendet, die nur die wesentlichen Informationen beinhalten, die in der Systemebene benötigt werden. Diese haben den Vorteil, dass sie für den Entwickler leicht lesbar sind. Das zeitliche Verhalten wird auf dieser Stufe der Entwicklung noch nicht spezifiziert. Als Beschreibungssprache dienen zum Beispiel Petrinetze und Statecharts. Im geometrischen Zweig des Entwurfes geschehen die ersten groben Einteilungen der Chipoberfläche. Nach der Bestimmung der Systemkomponenten, Instruktionssätze, Verhaltensspezifikationen und Datentypen sollte ein Abgleich mit dem Kunden erfolgen, da grundsätzliche Änderungen zu diesem Zeitpunkt noch ohne großen Aufwand zu realisieren sind (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Die Festlegung des Ein- und Ausgangsverhaltens der digitalen Schaltung und der einzelnen Systemkomponenten erfolgt in der algorithmischen Ebene. Es werden Funktionen und Strukturen allgemeiner Blöcke, Prozeduren, Prozesse und Kontrollstrukturen durch nebenläufig notierte, also parallel ablaufende Algorithmen beschrieben. Da Verzögerungszeiten in digitalen Schaltungen eine wichtige Rolle spielen, werden diese ebenfalls modelliert. Diese Stufe des Entwicklungsprozesses macht keine Angaben über das zeitliche Verhalten durch Takt- und Rücksetzsignale, wobei auch noch kein Bezug auf die Endstruktur des Chips genommen wird. Die Funktionsbeschreibung der einzelnen Systemkomponenten in algorithmischer Darstellung stellt das Ergebnis dieser Entwicklungsphase dar. Zur Beschreibung dienen Hardwarebeschreibungssprachen wie VHDL, die ebenfalls in den nächsten beiden Phasen Verwendung finden (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Zur Realisierung der in der algorithmischen Ebene festgelegten, nebenläufig notierten Algorithmen, werden fest vorgegebene digitale Elemente wie Register, Codierer, Multiplexer, Addierer und Zähler eingesetzt. Die Eigenschaften der digitalen Schaltung werden durch Operationen und durch den Transfer der zu verarbeitenden Daten zwischen den Registern in der Register-Transfer-Ebene spezifiziert. Dazu werden auch Takt- und Rücksetzsignale verwendet und Werte bestimmten Operationen zugeordnet. So sind zeitliche Eigenschaften gut beschreibbar. Das Verhalten der einzelnen Elemente ist reaktiv, da sie auf Eingangsänderungen im anliegenden Takt reagieren. Ziel ist der Erhalt einer Synchronisation der Takte der Einzelemente zu einem gemeinsamen Takt. Im Floorplan wird die geometrische Struktur der Chipoberfläche weiter konkretisiert, wozu verschiedene computergestützte Werkzeuge einsetzbar sind. Das Resultat dieser Phase ist die Modellierung der digitalen Schaltung in der Register-Transfer-Darstellung (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Die Logikebene im digitalen Schaltungsentwurf dient zur Modellierung der Schaltung mittels Registern und Gattern. Diese Ebene stellt den Schwerpunkt der Modellierung in der Industrie dar, wobei Modellierungen mit höherer Abstraktheit angestrebt werden. Die Angaben der Register-Transfer-Ebene werden durch Boolesche Gleichungen umgesetzt. Besonders wird in dieser Phase das zeitliche Verhalten und seine Eigenschaften wie zum Beispiel Verzögerungszeiten zwischen Ein- und Ausgangssignalen durch entsprechende Modellierungen und Simulationen betrachtet. Die Signalverläufe sind wertdiskret, da sie nur bestimmte definierte Logikwerte annehmen. Die strukturelle Gestaltung erfolgt über die logische Verknüpfung von Grundelementen, die in Bibliotheken bereit gestellt werden. Hierzu werden logische Gatter wie NAND-, OR-, XOR-Gatter und Flip-Flops als bistabile Speicherelemente miteinander verknüpft (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Auch in der Schaltkreisebene, die meist noch in Transistor- und Layoutebene unterteilt wird, werden Elemente miteinander verknüpft. Allerdings kommen statt der logischen Gatter in der Logikebene die realisierten Logikbausteine wie Transistoren, Kapazitäten und Widerstände zum Einsatz. Zur Beschreibung der zeit- und wertkontinuierlichen Signale werden Differentialgleichungen verwendet, die eine Simulation unterstützen. Durch computerunterstützte Werkzeuge ist eine Schaltungsoptimierung anhand der Simulationsergebnisse möglich. Das geometrische Grundmuster einer digitalen Schaltung wird in der Layoutebene festgelegt. Die geometrische Struktur wird über Polygonzüge definiert, die beispielsweise unterschiedliche Dotierungsschichten auf dem Halbleiter repräsentieren. Benötigte Simulationen erfolgen über die Maxwell-Gleichungen (Analogie zur Modellierung im Maschinenbau), damit auch die räumliche Ausdehnung in der Simulation genügend Berücksichtigung findet. Auch in dieser Phase sind bis zum Erhalt eines zufriedenstellenden Verhaltens Optimierungen durchzuführen.

ren. Nach Abschluss der Layoutebene liegt das vollständige Schaltungslayout für die zu entwickelnde digitale Schaltung vor, die die Grundlage für die Fertigung bildet (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Ferner sind neben der Betrachtung des Vorgehensmodells für den Entwurf digitaler Schaltungen auch die vorherrschenden Entwurfstile zu berücksichtigen, die durch ihre Beschaffenheit Einfluss auf den Entwurf und das Vorgehen haben. Bei der Entwicklung von digitalen Schaltungen können zwei Richtungen unterschieden werden: Full-Custom-Entwurf und Semi-Custom-Entwurf (Zellen, maskenprogrammierbare Schaltungen, rekonfigurierbare maskenprogrammierbare Schaltung; Kallmeyer, 1998).

Der Full-Custom-Entwurf beinhaltet das Durchlaufen aller Entwicklungsphasen, da eine neue Schaltung geschaffen wird. Bei diesem aufwändigen und teuren Unterfangen, das hauptsächlich für Standardkomponenten mit hoher Stückzahlen angewendet wird, ist es allerdings möglich, höhere Geschwindigkeiten bei der Signalverarbeitung, eine geringere Größe des fertigen Chips, Einsparung von Material und die Realisierung neuer Funktionen zu erreichen. Der Full-Custom-Entwurf kann im Vergleich mit dem Maschinenbau als Neukonstruktion gesehen werden, wohingegen der Semi-Custom-Entwurf mit seinen Varianten die Änderungs- und Anpassungskonstruktion repräsentiert. Beim Semi-Custom-Entwurf lassen sich die drei Arten, Entwurf mit Zellen, Entwurf mit maskenprogrammierbaren Schaltungen und Entwurf mit rekonfigurierbaren maskenprogrammierbaren Schaltungen differenzieren. Wird auf einer der Semi-Custom-Entwurfsarten zurückgegriffen, ist das gesamte Durchlaufen der methodischen Vorgehensweise nicht nötig. Bei der Entwicklung mit Zellen werden Zellen wie UND-Gatter, ODER-Gatter und Register für den Schaltungsentwurf verwendet, die in Bibliotheken bereits definiert sind. Bei der Verwendung von Standardzellen ist durch Computerunterstützung eine automatische Platzierung und Verdrahtung möglich, die den Entwickler entlastet. Der maskenprogrammierbare Entwurf von Schaltungen wie bei Gate-Arrays und Festwertspeichern (ROM: Read Only Memory) verwendet die Zellen, die sich bereits auf dem vorgefertigten Chip befinden. Die Entwickler entscheiden, welche Zellen eingesetzt werden und wie die Verdrahtung untereinander ausfallen soll. Von Nachteil bei dieser Entwurfsart ist, dass die Chipoberfläche nicht optimal ausgenutzt wird, da nicht alle auf dem Silizium befindlichen Zellen zum Einsatz kommen. Die meiste Flexibilität zeigt der Entwurf rekonfigurierbarer maskenprogrammierbarer Schaltungen. Es ist eine Umprogrammierung der Chips möglich, da die Verdrahtungen der einzelnen Zellen nicht permanent ist. Vertreter dieser Gattung sind Chips des Typs FPGA (Field Programmable Gate Arrays), EPLD (Erasable Programmable Logic Devices) und EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory; Kallmeyer, 1998).

3.2.2.3. Softwareentwurf

Zur Umsetzung neuer innovativer Produkte ist der Einsatz von Software unumgänglich. Durch die Verwendung von Softwarekomponenten entstehen bei der gesamten Produktkonzipierung Möglichkeiten wie die Verwirklichung neuer Funktionen, die durch herkömmliche Maßnahmen nicht zu realisieren wären, so auch Gewichtseinsparung oder Erhöhung der Sicherheit. So hat sich aus der Informatik ein Teilgebiet herausgebildet, das in Anlehnung an methodische Maßnahmen aus den Ingenieurwissenschaften Methodiken für den Softwareentwurf entwickelt hat. Um den methodischen Charakter dieses Gebietes bereits in der Nomenklatur Ausdruck zu verleihen, entstand der Begriff des Softwareengineering. Unter dem ganzheitlichen methodischen Konzept des Softwareengineering versteht man nach IEEE Standard Glossary von 1994 (Dumke, 2001): „The application of a systematic, disciplined, quantifiable approach to development, operation and maintenance of software; that is the application of engineering to software.“

Auch hier sei darauf hingewiesen, dass die Begriffe wie Funktion und System nach der allgemeinen systemtheoretischen Sichtweise verwendet werden. Ein Prozess wird von der CPU (central processing unit) als eigenständiges Programm oder Programmteil abgearbeitet. Wie in allen Bereichen der Entwicklung von neuen Produkten müssen vor Beginn des Entwurfes die Aufgabe und die an das Produkt gestellten Anforderungen geklärt werden. Bei der Softwareentwicklung umfassen die gestellten Anforderungen folgende Bereiche:

- funktionale Anforderungen
- systembezogene Anforderungen
- prozessspezifische Anforderungen
- qualitative Anforderungen (Dumke, 2001)

Die funktionalen Anforderungen beschreiben die grundlegende Arbeitsweise und Eigenschaften des Softwareproduktes. Es wird festgelegt, welche Funktionen dieses Produkt besitzen soll, das je nach Einsatzgebiet und Verwendungszweck variiert. Die festgelegten Funktionen wie Berechnungen durchführen, Verwalten, Speichern oder graphisches Darstellen haben erheblichen Einfluss auf das zu veranschlagende Datenvolumen und die benötigten Schnittstellen zu anderen Komponenten beim Softwareentwurf. Die an das Produkt gestellten Qualitätsmerkmale sind in den qualitativen Anforderungen zusammengefasst, die wie später erläutert in der Leistungsbeschreibung zu finden sind. Der Kunde möchte eine auf seine Bedürfnisse zugeschnittene Software erwerben, die durch ihre Stabilität und Zuverlässigkeit erfreut. Die Benutzung des Produktes sollte einfach zu erlernen sein. Ferner muss sie durch ihre Leistungsfähigkeit, Wartungsfreundlichkeit und Kompatibilität zu anderen Elementen überzeugen.

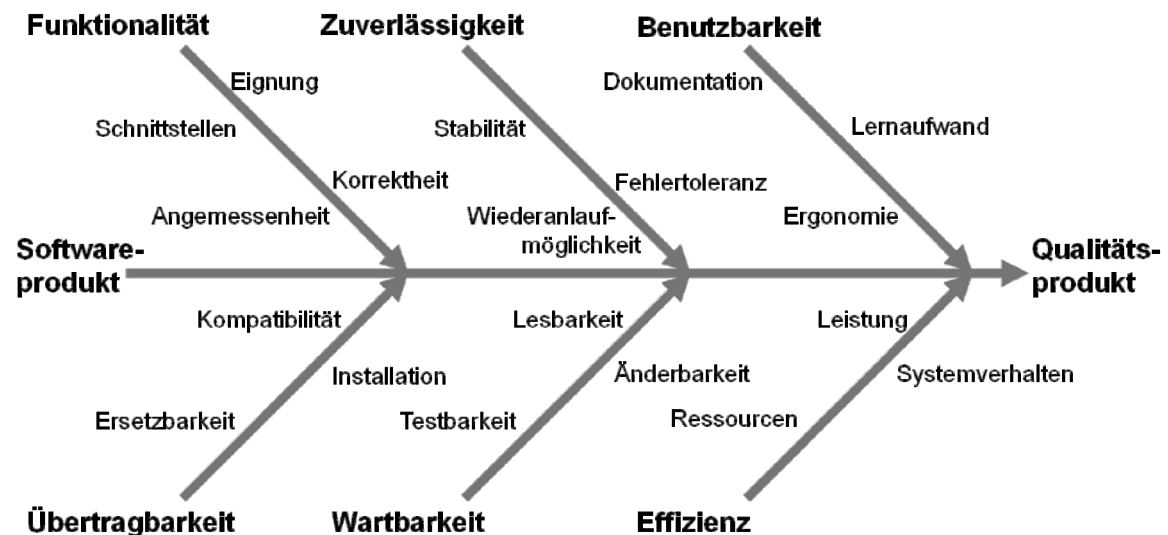


Bild 16 qualitative Anforderungen an ein Softwareprodukt (Dumke, 2001)

In Bild 16 sind die qualitativen Anforderungen im sogenannten Fischgrätendiagramm im Überblick zu finden. Diese Anforderungen können bei dem Softwareentwurf als Parameter verwendet werden, die umzusetzen sind. Mit den systembezogenen Anforderungen, die im Zusammenhang mit der Softwareentwicklung für beispielsweise autonome Roboter immer vorhanden sind, werden die spezifischen Eigenschaften des Systems, die der Kunde fordert, berücksichtigt. Es werden die Hardware und somit die verbundene und benötigte Software beschrieben. Man erhält die zu berücksichtigenden Vorgaben zu der bestehenden Plattform und der zu verwendenden Programmiersprache, die stark von der Rechnerarchitektur des Kunden abhängen. Prozessspezifische Merkmale von dem Softwareentwurf wie Entwicklungszeit, Kontrollpunkte, personelle und finanzielle Ressourcen werden beispielsweise über die Bestimmung des Gesamtentwicklungsablaufs und der Festlegung von Terminen erläutert. Ferner muss der finanzielle Rahmen, die Gesamtkosten und die für das Entwicklungsteam anfallende Kosten mit dem Kunden abgestimmt werden (Dumke, 2001).

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist der Einsatz eines methodisch, systematischen Vorgehens vorteilhaft, der als Leitfaden für die Bewältigung des komplexen Softwareentwicklungsprozesses dient. Der Schwerpunkt des Softwareentwurfes liegt bei der Realisierung der Anforderungen, indem diese mit Hilfe von einer Programmiersprache in Quellcode umgesetzt werden, der wiederum über einen Compiler in Maschinencode übersetzt wird. Hier ist eine Parallele zu den Entwicklungsschritten vom Entwurf im Maschinenbau zu ziehen, in dem die an das Produkt gestellten Anforderungen umgesetzt werden. Im Ablauf des gesamten Entwicklungsprozesses beispiels-

weise eines mechatronischen Systems wird der Softwareentwurf erst gestartet, wenn die notwendigen Informationen von den anderen Domänen vorhanden sind.

Es sind eine Vielzahl von verschiedenen Vorgehensmodellen in der Literatur zu finden. Allgemein lassen sich zwei Grundarten bei dem Vorgehensprozess unterscheiden, das sequentielle und nicht sequentielle Vorgehensmodell. Das sequentielle Modell (sequential life-cycle models) besitzt im Gegensatz zum nicht sequentiellen Vorgehensmodell (nonsequential life-cycle models) einen strengen Ablaufplan zur Bearbeitung der einzelnen Phasen. Bei dem nicht sequentiellen Modell, das auch zyklisches Modell genannt wird, sind Iterationsschritte erwünscht. In der Praxis werden allerdings auch bei sequentiellen Modellen Rücksprünge durchgeführt. Obwohl sich unterschiedliche Vorgehensmodelle herausgebildet haben, sind die inhaltlichen Differenzen nicht allzu groß, da aus der Betrachtung des Lebenszyklus des Softwareproduktes direkt die einzelnen Phasen des Entwurfs abzuleiten sind (Dumke, 2001). Die einzelnen Phasen der Softwareentwicklung lauten:

- Problemdefinition
- Anforderungsanalyse
- Definition
- Design
- Implementierung mit Komponententest
- Integration und a-Test
- b-Test
- Betrieb und Wartung (Kallmeyer, 1998)

Anhand eines sequentiellen Vorgehensmodells (Bild 17) werden die einzelnen Produktentwicklungsschritte näher erläutert. Bevor es zum Auftrag einer Entwicklungsarbeit kommt, muss der Kunde zuerst seine Ausgangssituation klären, ob sich die Entwicklung eines für ihn zurechtgeschnittenen Produktes lohnt. Der Kunde analysiert die Anwendungsdomäne hinsichtlich technologischer Trends, Produkt- und Prozesstechnik, indem er sowohl seine Ziele und Strategien unter Einbeziehung des Marktes festlegt. Im Rahmen eines mechatronischen Entwicklungsprozesses übernimmt das Entwicklungsteam, das für den Softwareentwurf zuständig ist, die Rolle des Kunden. Die vom Kunden festgehaltene Problemerkennung ist der Ausgangspunkt für die Problemanalyse des Softwareentwicklers. Er bespricht zusammen mit dem Kunden die Problemstellung mit den von ihm gestellten Produkthanforderungen auf ihre Umsetzbarkeit. Diese werden in der Anforderungsliste festgehalten, die das Ergebnis der Istanalyse in der Problemdefinitionsphase darstellt (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

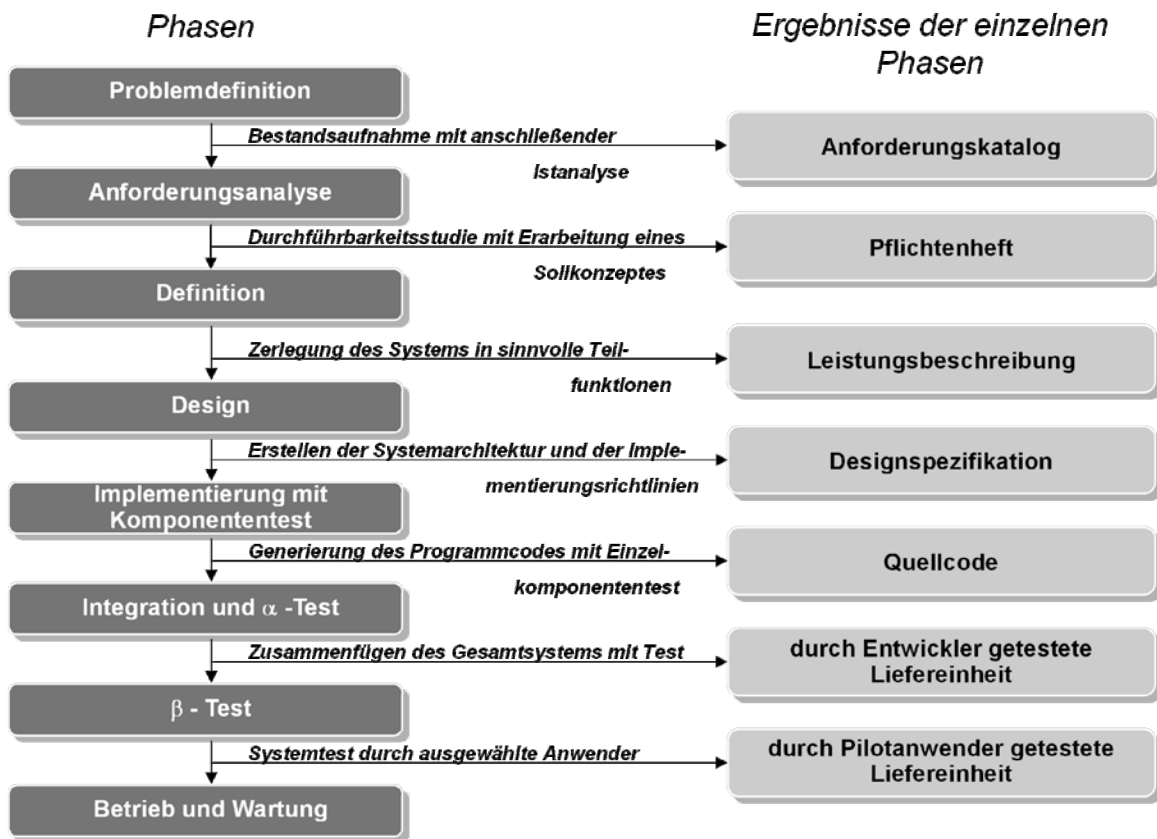


Bild 17 Sequentielles Vorgehensmodell bei Softwareentwurf (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000)

Der nächste Schritt ist die Erstellung einer Durchführbarkeitsstudie. Hierbei spielen die benötigte Zeit, das zu veranschlagende Personal, die Wirtschaftlichkeit und die entstehenden Kosten eine Rolle. Ferner werden noch die vorhandenen Risiken abgeschätzt. Als Resultat der Anforderungsanalyse ist das Pflichtenheft entstanden, das das Sollkonzept des Produktes mit seinen funktionalen, qualitativen, finanziellen und zeitlichen Merkmalen beinhaltet (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Bei der Definition des Softwareproduktes wird die Gesamtstruktur in Teilfunktionen aufgeteilt. Es werden zum Beispiel die Einsatzbedingungen, Schnittstellen und Benutzeroberfläche festgelegt. Auch diese Phase benötigt die enge Zusammenarbeit mit dem Kunden bzw. mit den Anwendern, die Aufschluss über die gewünschten Funktionen, Daten und die erwartete Dynamik, die Abläufe beschreibt, gibt. Als Beschreibungsmittel dienen Text und Graphiken. Am Ende dieser Phase liegen vollständige, eindeutige und durchführbare Produkthanforderungen vor, die in der Leistungsbeschreibung festgehalten werden und das Pflichtenheft ersetzen. Sie gilt als Grundlage für die Abnahme des Produktes vom Kunden, weswegen sie mit dem Kunden abzusprechen ist (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Wie bereits darauf hingewiesen, haben auch in diesem Zusammenhang der Softwareentwicklung Begriffe wie Funktion und System ihre systemtheoretische Bedeutung beibehalten. Auch die Struktur beinhaltet in der Software den Aufbau des Systems bzw. des Programms, das aus verschiedenen Modulen besteht. Module sind abgeschlossene Einheiten, die je nach verwendeter Programmiersprache als Klasse oder Objekt bezeichnet werden. Die Anordnung von mehreren Funktionen erfasst der Begriff Baustein, der ein größeres Modul darstellt. Ein größerer Baustein wird wiederum als Komponente bezeichnet.

Die wichtigste Aufgabe in der Designphase ist das Erstellen der Softwarearchitektur. Es wird die Struktur des Systems mit ihren einzelnen Komponenten, Bausteinen und Modulen festgelegt, wobei die Anforderungen aus den vorhergegangenen Schritten auf der Computerplattform umgesetzt werden. Anschließend erfolgt die Definition von der Art und Funktionalität der einzelnen Komponenten sowie ihres Zusammenwirkens. Die Realisierung der Funktionen wird beispielsweise durch Algorithmen erreicht. Als Ergebnis dieses Abschnittes erhält man die Designspezifikation, die die Ergebnisse der Systemarchitektur sowie die festgelegten Implementierungsrichtlinien enthält (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Die in der Designphase definierten Komponenten werden bei der Implementierung in eine vom Computer verarbeitbare Form umgesetzt. In diesem Schritt erfolgt die eigentliche Programmierarbeit, bei der die Algorithmen in Programmcode umgesetzt werden. Der Entwurf erfolgt in einer Programmiersprache, die den Quellcode darstellt. Dieser wird wiederum über einen Compiler in Maschinencode übersetzt. Da die Programmierung stark von der Programmiersprache geprägt ist, ist die Designphase ein sehr spezifischer Schritt. Im Anschluss an die Entwicklung der einzelnen Komponenten werden diese im Einzelnen getestet (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Ist dieser Test erfolgreich verlaufen, werden die Einzelteile zu einem Ganzen integriert. Wichtig für die spätere Funktionalität des Gesamtsystems ist das richtige Zusammenspiel der einzelnen Komponenten. Deswegen wird das zusammengefügte Gesamtsystem vom Entwickler anhand ausgewählter Testdaten im a-Test erprobt (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Im Folgenden b-Test prüfen Pilotanwender das Softwareprodukt auf seine Tauglichkeit hin. Es können so weitere Fehler aufgedeckt werden, die vor der Auslieferung an den Kunden noch behoben werden können (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Nach der Beendigung der Systemtests erfolgt die Abnahme der Software vom Kunden nach der festgelegten Leistungsbeschreibung. Im Anschluss wird das Produkt bei dem Kunden installiert und für den Betrieb freigegeben. Durch den täglichen Gebrauch können eventuell Fehler auftreten, die im Zuge der Wartung und des Kundendienstes

beseitigt werden. Ferner können vom Entwickler noch gewünschte Erweiterungen in das System eingebaut werden (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Auch im Softwareentwurf dienen Methoden als Richtlinie und Hilfsmittel und stellen keine starr zu befolgenden Vorschriften dar. So obliegt es jedem selbst, in welcher Weise sie eingehalten werden. In der Praxis ist es oft erforderlich, Iterationen zwischen den einzelnen Schritten durchzuführen. Als Ergänzung des vorgestellten sequentiellen Vorgehensmodells werden noch weitere Methoden betrachtet. Obwohl die Nomenklatur an manchen Stellen variiert, ändert sich der Inhalt der einzelnen Schritte im Großen und Ganzen nicht (Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998)

Das Wasserfallmodell (Bild 18) ist das älteste systematische Vorgehensmodell in der Softwareentwicklung, das durch sein inkrementelles Vorgehen zwischen zwei aufeinander folgenden Phasen besteht. Es wird zuerst eine Phase grob ausgearbeitet und die Ergebnisse an die nachfolgende weitergegeben, damit diese bereits mit den groben Arbeiten beginnen kann. Die Erkenntnisse aus dieser Phase fließen wiederum in den Endentwurf des vorhergehenden Schrittes mit ein. Wie die Praxis der Softwareentwicklung zeigt, sind eingeführte Iterationsschritte von großem Vorteil. Allerdings sind bei diesem Vorgehensmodell nur Rückschritte zwischen zwei benachbarten Phasen möglich (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Schön, 2000; Winkelmann, 1996).

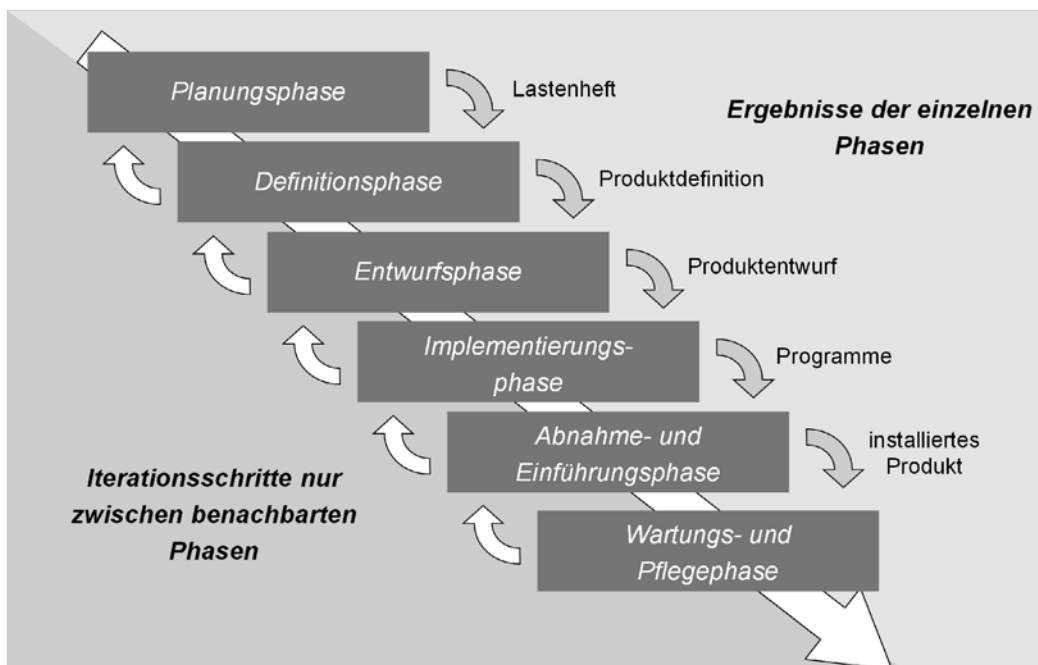


Bild 18 Wasserfallmodell (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Winkelmann, 1996)

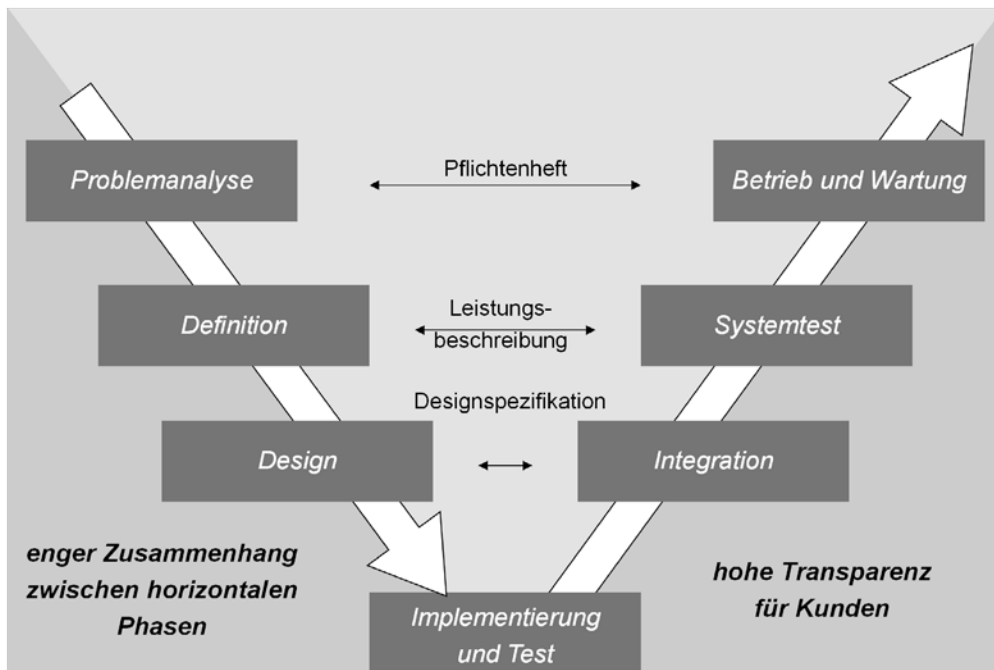


Bild 19 V-Modell (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998)

Um die personelle Organisation mit in einen Softwareentwicklungsprozess einzubeziehen, wurde das V-Modell geschaffen (Bild 19). Die einzelnen Phasen werden Personen wie zum Beispiel dem Softwaredesigner zugeordnet, der in seiner Phase bestimmte Ergebnisse liefert. Der absteigende Ast symbolisiert den steigenden Detaillierungsgrad in der Entwicklung, wohingegen der aufsteigende Ast für das schrittweise Zusammenfügen der Einzelteile zu einem Ganzen steht. Die Resultate des absteigenden Astes dienen für die Phasen des aufsteigenden Astes als Vorgaben für die Ziele, wie beispielsweise die Leistungsbeschreibung der Definitionsphase als Abnahmebedingung nach dem Systemtest fungiert. Dieser enge horizontale Zusammenhang unterstützt die Schaffung einer Transparenz in der Entwicklung (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998).

Die Wirklichkeit der Softwareentwicklung wird in dem Spiralmodell abgebildet (Bild 20). Als erweitertes evolutionäres Modell wird berücksichtigt, dass eine Entwicklung nicht auf einmal umgesetzt werden kann, sondern Rückwirkungen über mehrere Phasen von Nöten sind. Neben der Entwicklung müssen auch die Ziele, Alternativen und Bedingungen der Entwicklung bestimmt und diese anschließend in einer Risikoanalyse bewertet werden. So ist es möglich die folgenden Phasen wirtschaftlich zu planen. Die Anordnung der Eckpunkte in Quadranten lässt beim Durchschreiten der einzelnen Punkte pro Phase eine Spirale entstehen. Je nach Fortschritt befindet man sich weiter innen oder außen auf der Spirale. Für den eigentlichen Schritt der Entwicklung können

andere Modelle verwendet werden wie zum Beispiel das Wasserfallmodell. Dies verleiht dem Spiralmodell eine große Flexibilität. Das Hauptanliegen dieser Vorgehensweise ist die Risikominimierung, die durch die eng zusammenliegenden Windungen der Spirale mit ihren kleinen Teilentwicklungsschritten erzielt wird. Die periodische Überprüfung ermöglicht ein frühzeitiges Korrigieren von Fehlern. Allerdings ist mit diesem Modell ein hoher Managementaufwand verbunden, der sich nur bei der Durchführung von großen Projekten lohnt (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Winkelmann, 1996).

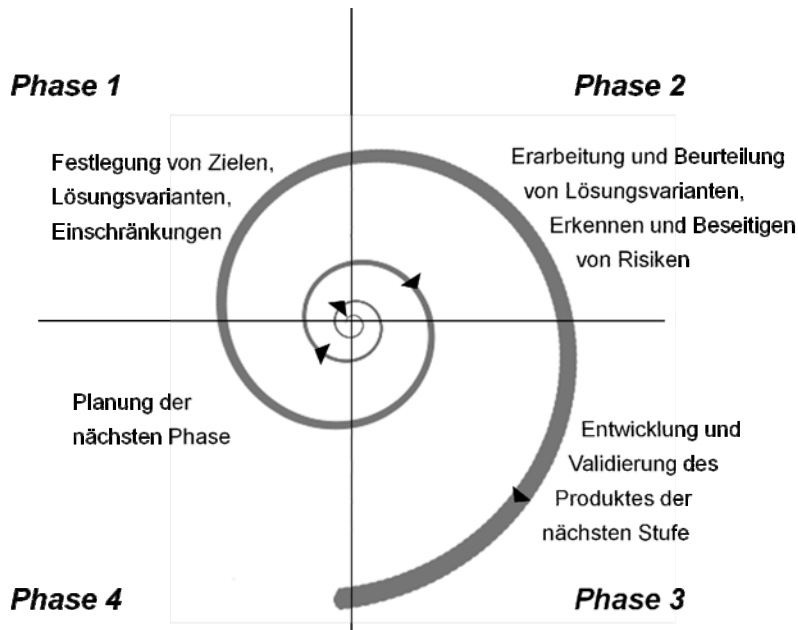


Bild 20 Spiralmodell (Buhl, 2004; Dumke, 2001; Kallmeyer, 1998; Winkelmann, 1996)

3.2.2.4. Regelungstechnik

Die Regelungstechnik ist eine Wissenschaft, die zur dynamischen Beeinflussung von Systemen dient. Eine Regelung wird nach DIN 19226 „als Vorgang bezeichnet, bei dem eine physikalische Größe – die Regelgröße x – fortlaufend erfasst und durch Vergleich mit einer anderen Größe – der Führungsgröße w – im Sinne einer Angleichung an diese beeinflusst wird.“

In der Steuer- und Regeltechnik werden keine eigenständigen Elemente wie im Maschinenbau oder der Elektrotechnik geschaffen, sondern sie ermöglicht Funktionen eines Grundsystems zu unterstützen, das ein Teilsystem des gesamten Produktes darstellt. Die Regelung wird als Regelungsalgorithmus in elektronischen Schaltungen oder durch Software umgesetzt. Es sind verschiedene Konzepte für Regelungen zu finden wie zum Beispiel Regelungen, die auf neuronalen Netzen basieren oder die Fuzzy-Logik als Grundlage haben. In Kapitel 0 wurde die Ein- und Ausgangsregelung erklärt, bei der

das Übertragungsverhalten zwischen den Komponenten von Interesse ist. Eine weitere Regelungsart ist die Zustandsregelung, die neben der Ein- und Ausgangsregelung die meiste Anwendung bei Regelaufgaben findet. In Bild 21 ist der allgemeine Aufbau einer Zustandsregelung abgebildet (Heimann et al., 2001; Kallmeyer, 1998).

Die Zustandsregelung legt ihren Schwerpunkt auf die Betrachtung von inneren Systemzuständen, die beispielweise durch die Modellierung des dynamischen Verhaltens aufgedeckt werden. Aufgrund der Vielzahl von freien Systemparametern ist die Zustandsregelung zwar komplexer als die Ein- und Ausgangsregelung, aber ermöglicht auch nichtlineare zeitvariante Systeme zu betrachten. Neben Vorteilen wie die zusätzliche Gewinnung von Einsichten in das Grundsystem und das Vorhandensein von geeigneten Entwurfsverfahren für Mehrgrößenregelungen ist bei der Zustandsregelung die Möglichkeit gegeben, rationelle numerische Berechnungen am Digitalrechner durchzuführen. Dies eröffnet die Nutzung von Simulationswerkzeugen zur frühzeitigen Gewinnung von Erkenntnissen. Da das System in der Zustandsform betrachtet wird, ist das Aufstellen von Gleichungssystemen, die das Verhalten des Systems beschreiben, sowie der dafür benötigten Zustandvektoren und der Matrizen mit den Parametern durchführbar. Die anschließenden Berechnungen können beispielsweise Aufschluss über die Stabilität der Regelstrecke geben. Da allerdings nicht alle Zustandsgrößen messbar sind, muss entschieden werden, welche Größen durch Sensoren gemessen und welche durch Näherungen abgeschätzt werden (Heimann et al., 2001; Kallmeyer, 1998).

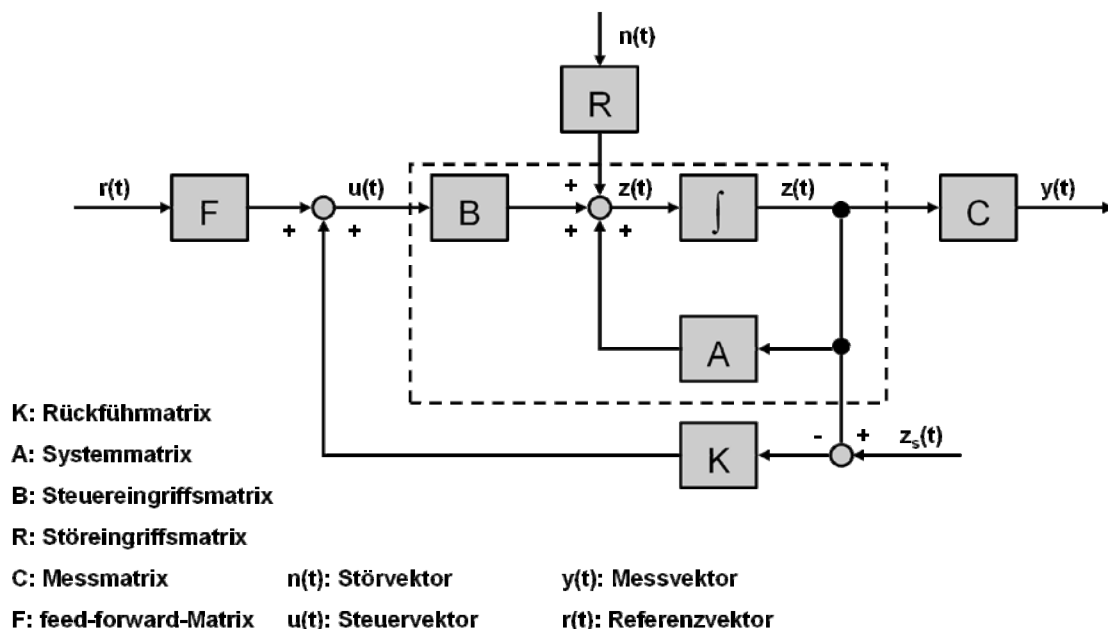


Bild 21 Blockschaltbild eines Regelkreises in Zustandsform (Heimann et al., 2001; Kallmeyer, 1998)

Auch bei mechatronischen Produkten wird hauptsächlich die Zustandsregelung für die Auslegung von Reglern verwendet, da diese Berechnungen und Simulationen erleichtern. Da allerdings für diese Arbeit weniger die detaillierte Auslegung der einzelnen Komponenten, sondern das Zusammenspiel der verschiedenen Teile sowie ihr Parameteraustausch von Interesse ist, wird als Darstellung weiter die Ein- und Ausgangsregelung verwendet. Für den Entwurf der einzelnen Komponenten ist der Wechsel zur Zustandsregelung anzuraten, weil diese einen Austausch bei Berechnungen und Simulationen erleichtert (Heimann et al., 2001; Kallmeyer, 1998).

Die Umsetzung einer Regelaufgabe hängt von den jeweiligen Anforderungen ab, die an den Regelkreis gestellt werden. Es müssen neben der Dynamik des Systems auch der Raumbedarf für die benötigten Elemente berücksichtigt werden. Um auch der geforderten Leistungsfähigkeit und den veranschlagten Kosten gerecht zu werden, ist die Zuhilfenahme einer systematischen, methodischen Vorgehensweise von Vorteil. Je nachdem welches Regelkonzept verwendet wird, unterscheiden sich die Methoden ein wenig. Da bei der Regelungsentwicklung von mechatronischen Produkten in der Praxis zumeist Zustandsregler eingesetzt werden, wird hier das Vorgehensmodell eines Zustandsregelkreises betrachtet, der durch einen starken iterativen Charakter geprägt ist (Bild 22; Kallmeyer, 1998).

Wie bei den anderen Domänen stellen die Klärung und die Spezifikation der Regelaufgabe den Beginn der Entwicklungsarbeit dar. Da die Regelung nur eine Teilaufgabe in einem Supersystem darstellt, ist die Bestimmung der Systemgrenzen für die Regelaufgabe von großer Bedeutung, die nicht mit der Systemgrenze des Gesamtsystems übereinstimmen müssen. Diese Festlegung bestimmt das zu regelnde Grundsystem. Ferner müssen die Grundanforderungen, die qualitativen und quantitativen Anforderungen an das dynamische Verhalten des Grundsystems definiert werden, wobei auftretende Störgrößen hinreichend berücksichtigt werden müssen (Kallmeyer, 1998).

Bei der Verwendung einer Zustandsregelung sind alle Zustandsgrößen in einem System zu berücksichtigen. Allerdings kann nicht jede Größe physikalisch erfasst bzw. gemessen werden. Daher ist es nötig, festzulegen, welche Zustandsgrößen durch Sensoren erfasst und welche durch eine Modellbildung angenähert werden sollen. Neben der Bestimmung der Sensoren gemäß ihres Einsatzzwecks wird in diesem Schritt auch die Aktorik ausgewählt, die zur Änderung der Zustandsgrößen aktiv das Grundsystem beeinflusst (Kallmeyer, 1998).

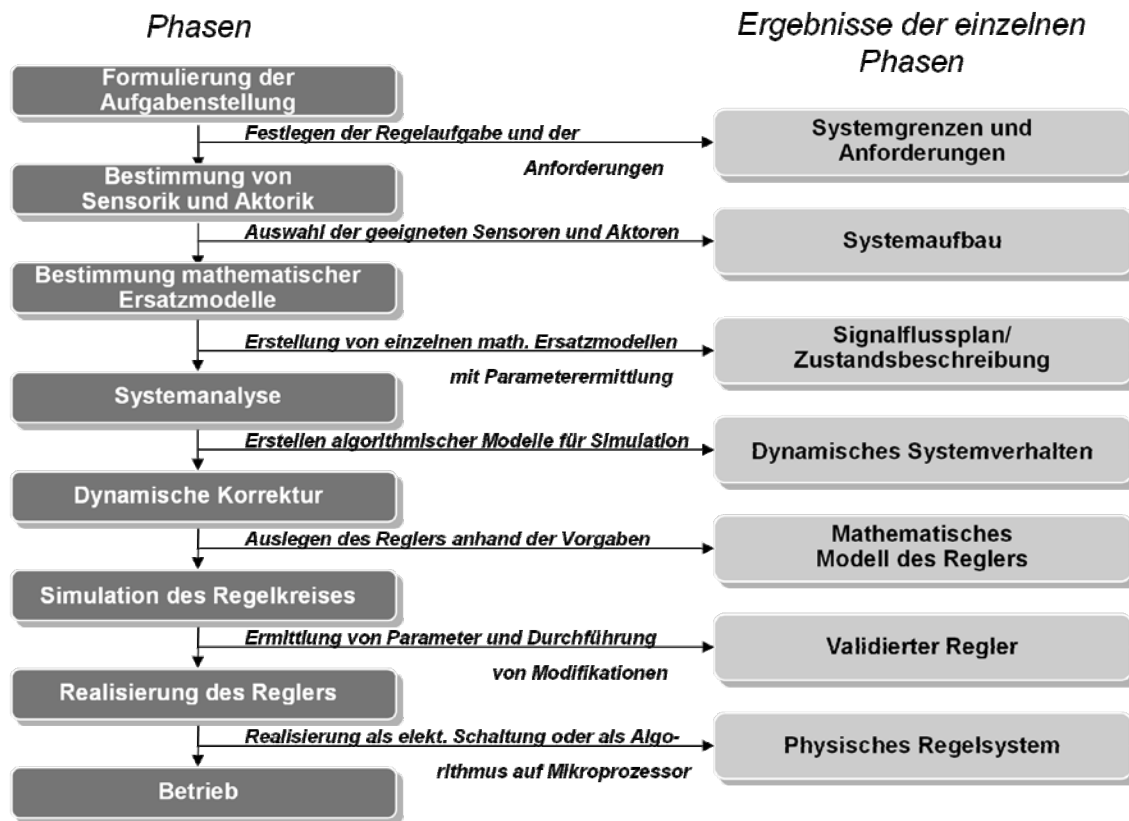


Bild 22 Vorgehensmodell in der Regelungstechnik (Kallmeyer, 1998)

Die nächste Phase in der Entwicklungsmethodik beinhaltet die mathematische Bildung eines Ersatzmodells für das Grundsystem. Dazu sind das dynamische Verhalten des Grundsystems und ebenso die Sensorik und Aktorik zu berücksichtigen. Wichtig ist eine ausreichend genaue Beschreibung der einzelnen Komponenten hinsichtlich der physikalischen Effekte und der gegebenen Einflüsse, die von der jeweiligen Aufgabenstellung abhängen. Anschließend werden die realen Werte für die physikalischen Größen hinreichend genau ermittelt. Als Beschreibungssprache verwendet der Entwickler einer Regelung die Zustandsdarstellung (siehe Bild 21; Kallmeyer, 1998).

Bei der Systemanalyse erfolgt die Bestimmung der dynamischen Eigenschaften des Grundsystems mit den Aktoren und den Sensoren, wozu das Modell aus letzter Phase in ein algorithmisches Modell umgewandelt wird. Das hat zum Vorteil, dass dies durch Simulation auf einem Rechner erfolgen kann. Das Grundsystem wird durch charakteristische Anregungsfunktionen angeregt. Die erhaltenen Ergebnisse der Ausgangsgrößen dienen zum Vergleich mit dem realen System. Bei zu großen Abweichungen der gewünschten Soll-Größen mit den Ist-Größen der Simulation sind entsprechende Änderungen vorzunehmen (Kallmeyer, 1998).

Die Auslegung des Reglers erfolgt in der Phase der dynamischen Korrektur. Die Struktur des Reglers ist so zu bestimmen, dass sich das gewünschte dynamische Verhalten des Grundsystems einstellt. Die Beschreibung des Reglers wird über ein mathematisches Modell realisiert. Parameter, die noch nicht bestimmt sind, werden anhand der Anforderungen aus der ersten Phase der Entwicklung festgelegt (Kallmeyer, 1998).

Um die Eignung des erstellten Modells zu überprüfen und die noch freien Regelparameter festzulegen, wird der Regelkreis im Gesamten simuliert. Es werden alle Modelle der einzelnen Komponenten als Einheit in Bezug auf ihr dynamisches Verhalten simuliert. Beim Auftreten von Mängeln muss man in frühere Phasen zurückgehen, um diese zu verbessern. Bei einer fehlerhaften Modellbildung ist die Korrektur einfach umzusetzen. Ist allerdings das Regelkonzept an sich nicht geeignet, entstehen zeit- und kostenintensive Änderungen, die den gesamten Entwicklungsablauf beeinflussen. Dies kann Auswirkungen von der Abschwächung der Anforderungen bis zum Verwerfen des Entwurfs haben (Kallmeyer, 1998).

Bei Erhalt von zufriedenstellenden Ergebnissen in der Simulation wird der Regler als physisches Subsystem realisiert. Der Regler wird als elektrische Schaltung oder als Algorithmus auf einem Mikroprozessor umgesetzt. Zusammen mit der Sensorik, Aktorik und dem Grundsystem ergibt sich das Regelsystem (Kallmeyer, 1998). Diese Phase kann mit dem Übergang in die Entwurfsphase bei Entwicklungsmethodiken aus dem Maschinenbau verglichen werden.

Am Anfang des Betriebes müssen möglicherweise noch Anpassungen der Regelparameter vorgenommen werden. Dies hat zur Folge, dass der Regelungsentwurf nur anhand eines Modells realisiert wird, das nahezu die Realität wiedergibt. Ferner stehen die Regelparameter direkt mit den Streckenparametern in Beziehung, was in der Modellbildung nicht nachgebildet wird (Kallmeyer, 1998).

3.2.3. Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Entwicklungsmethoden

Bei der Betrachtung der Methoden in den unterschiedlichen Domänen ist festzustellen, dass es neben den bereichsspezifischen Unterschieden auch Gemeinsamkeiten beim Vorgehen und der Problembehandlung gibt. Der Entwurf eines Bauteils, einer Schaltung, eines Programms oder einer Regelung erfolgt nicht in einem Schritt, sondern ist in mehrere Abschnitte aufgeteilt. Es wird auf einer hohen Abstraktionsebene gestartet, die sich in den nachfolgenden Entwicklungsphasen immer weiter konkretisiert. Je nach angewendeter Methodik wird ein iteratives Verhalten mit in den Prozess einbezogen. In der Praxis ist ein Vor- und Zurückspringen zwischen den einzelnen sich zunehmend verfeinernden Phasen unvermeidbar, da zumeist in den späteren Phasen

Erkenntnisse gewonnen werden, die die früheren Schritte beeinflussen. Am Anfang jeder Entwicklung stehen die Klärung der Aufgabenstellung und die dadurch entstehenden Anforderungen, die umgesetzt werden sollen. Eine durchgängige Dokumentation wie beispielsweise das Festhalten der Anforderungen in der Anforderungsliste ist für die einzelnen Schritte bei allen Domänen vorhanden. Daraufhin wird das Gesamtsystem geplant. Dabei wird dies in kleinere Untergruppen mit entsprechenden Funktionen zerlegt und auf ihr Zusammenwirken untersucht. Einen Unterschied in dieser Vorgehensweise lässt die Regelungstechnik erkennen, da die Funktion an sich die Aufgabe der Regelung darstellt. Allerdings wird diese auch durch einzelne Komponenten realisiert. Das Ergebnis des Zusammenspiels der einzelnen Teilfunktionen der ersten funktionsbestimmenden Schritte in einer Entwicklung, die auf relativ abstrakten Niveau erfolgen, sind in der Mechanik die Wirkstruktur, das Systemmodell beim Schaltungsentwurf, in der Regelungstechnik ist dies der Aufbau des Grundsystems und in der Softwareentwicklung die Systemarchitektur. Im Anschluss wird versucht, das System mit seinen Teilfunktionen zu realisieren, wozu verschiedene Lösungen gesucht werden. Die Verwirklichung der Systeme läuft nun sehr domänenspezifisch ab. So genügt es beim Schaltungsentwurf die abstrakten Ebenen zu durchschreiten, da die restlichen automatisch durch Computerunterstützung ablaufen. Ferner sind für die Bestimmung der Geometrie wie im Maschinenbau keine Pendanten in den anderen Domänen zu finden. Die Phase der Wartung bei der Entwicklung von Softwareprodukten beinhaltet die Fehlerbehebung noch während des Betriebes, da davon ausgegangen wird, dass im täglichen Gebrauch noch nicht erkannte Mängel auftreten. Dies ist im Vergleich der Domänen einmalig, da im Betrieb beispielsweise an Maschinen keine überraschenden Fehler auftreten dürfen (Kallmeyer, 1998; Schön, 2000).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Vorgehensweisen in den frühen Phasen der unterschiedlichen Domänen Gemeinsamkeiten in ihrem Vorgehen aufweisen, aber in den späteren Phasen, in denen die Konkretisierung der einzelnen Systeme stattfindet, die Vorgehensweisen stark domänenspezifisch geprägt sind und voneinander abweichen. Es erfolgt eine schrittweise Verfeinerung eines abstrakten Systems durch ähnliche aufgeteilte Vorgehensabschnitte, die allerdings ab dem Bereich der Lösungssuche durch jede Domäne anders verfolgt werden.

Zukünftige Produkte für ältere Personen werden mechatronische Systeme darstellen, die weit mehr Anforderungen in sich vereinen müssen als solche aus den einzelnen Domänen Maschinenbau, Informatik und Elektrotechnik. Weitere Anforderungen sind beispielsweise aus den Bereichen Medizin, Psychologie und Sportwissenschaften abzuleiten. Wichtig ist, dass dieses Vorgehen durch ein geeignetes Vorgehensmodell unterstützt wird. Eine Analyse der Vorgehensmodelle hat gezeigt, dass das ForFlow-Prozessmodell die meisten positiven Aspekte in sich vereint. Es stellt eine universell

einsetzbare Abbildung eines modernen Produktentwicklungsprozesses dar, die den vielfältigen Aspekten der multidisziplinären Produktentwicklung begegnet. Da allerdings die Aspekte bei der Entwicklung von Produkten für ältere Menschen fehlt, wird im Folgenden aufbauend auf dem ForFlow-Prozessmodell ein Vorgehensmodell beschrieben, das zur Entwicklung von Produkten für ältere Personen eingesetzt werden kann.

3.3. Aspekte der individualisierten Produktentwicklung für ältere Menschen

Wie aus Kapitel 0 ersichtlich, ist eine Vielzahl an Vorgehensmodellen vorhanden, die die Entwicklung von mechatronischen Produkten unterstützt. Auch für den domänen-spezifischen Entwurf sind methodische Herangehensweisen vorhanden.

Für die Entwicklung des Produkts 2020 (siehe Kapitel 3) wird ein Vorgehensmodell benötigt, das die Belange der zukünftigen Produkte in sich vereint. Über die Unterstützung der mechatronischen Produktentwicklung hinaus müssen Aspekte der Biologie, Psychologie und Medizin, die das vorliegende Produkt betreffen, in ein Vorgehensmodell integriert werden. Die Produkte der Zukunft müssen wegen der stetigen Überalterung der Gesellschaft von immer mehr älteren Personen bedient werden können. Produkte zur Kompensation von Leistungseinschränkungen werden ebenfalls vermehrt entwickelt werden. Da herkömmliche Prozessmodelle diese Aspekte nicht beinhalten, wird im Folgenden ein Vorgehensmodell beschrieben, das zur Entwicklung von Produkten für ältere Personen eingesetzt werden kann.

Das Ziel des Querschnittsprojekts Fit4Product war, ausgehend von der präzisen Erfassung der Anforderungen, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die eine erforderliche Individualisierung von Produkten für leistungseingeschränkte Menschen leicht und kostengünstig ermöglichen.

Dazu wurden drei Themenbereiche in der Produktentwicklung als Schwerpunkt betrachtet: Das Bereitstellen eines Katalogs mit Leistungseinschränkungen, das Einbeziehen von Methoden der Nutzerpartizipation und das Verankern einer Individualisierungsstrategie in dem Produktentwicklungsprozess (Bild 23). Die Anpassungsmöglichkeit von Produkten auf Leistungseinschränkungen muss bereits in der Produktstruktur vorgesehen werden. Dazu wird ein entsprechender Modularisierungsansatz zur Verfügung gestellt. Um die Akzeptanz des Produktnutzers frühzeitig in der Entwicklung von individualisierten Produkten für leistungseingeschränkte Personen zu erfassen und abzusichern, werden Methoden der Nutzerpartizipation bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung eingebunden. Außerdem werden die Produktentwickler bei

der Ausgestaltung der Produkte mit entsprechenden Richtlinien zur Umsetzung von Leistungseinschränkungen unterstützt.

Diese oben genannten Aspekte wie die Möglichkeiten der Individualisierung und eine Fokussierung auf den Menschen und spezielle Nutzergruppen, die zunehmend in den Vordergrund rücken, müssen zur Unterstützung der Produktentwickler in einem Produktentwicklungsprozess verankert werden. Diese Themenbereiche werden im folgenden Kapitel vertieft.

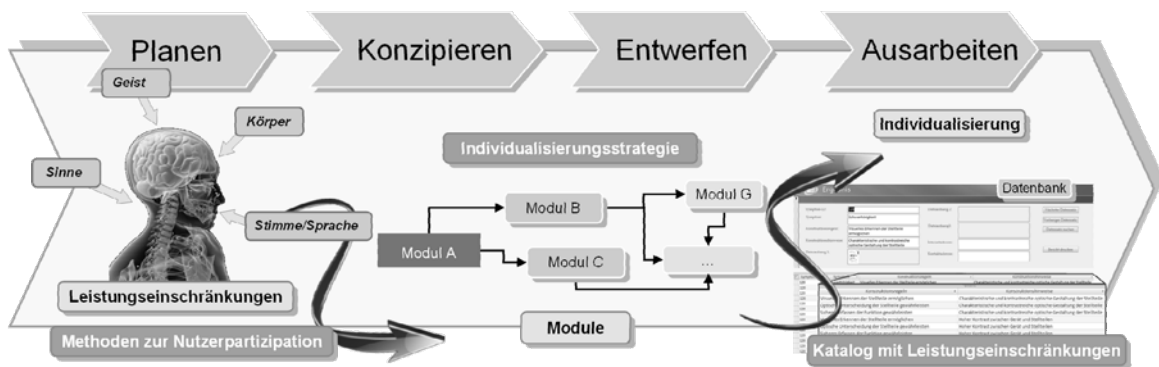


Bild 23 Entwicklungsprozess von seniorengerechten Produkten

3.3.1. Umgang mit Leistungseinschränkungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung altersgerechter Produkte ist es, typische Leistungseinschränkungen infolge des Alters und infolge altersbedingter Krankheiten beschreiben zu können. Dazu bedarf es einer Übersetzungsmöglichkeit, um die im medizinischen und gerontologischen Sprachgebrauch benutzten Beschreibungen so aufzubereiten, dass Ingenieure diese im Sinne einer Spezifikation für technische Systeme interpretieren und somit letztlich die Leistungseinschränkungen durch geeignete Lösungsansätze kompensieren können. Die Beschreibung und Klassifikation von Leistungseinschränkungen und den daraus resultierenden Anforderungen unterstützt die Produktentwicklung in zweierlei Richtung:

- Einerseits lassen sich neue Produktideen ableiten, die ursächlich eine Kompensation von Leistungseinschränkungen beinhalten.
- Andererseits werden kritische Teilfunktionen erkennbar, die infolge der Leistungseinschränkungen neuartiger Lösungsansätze bedürfen.

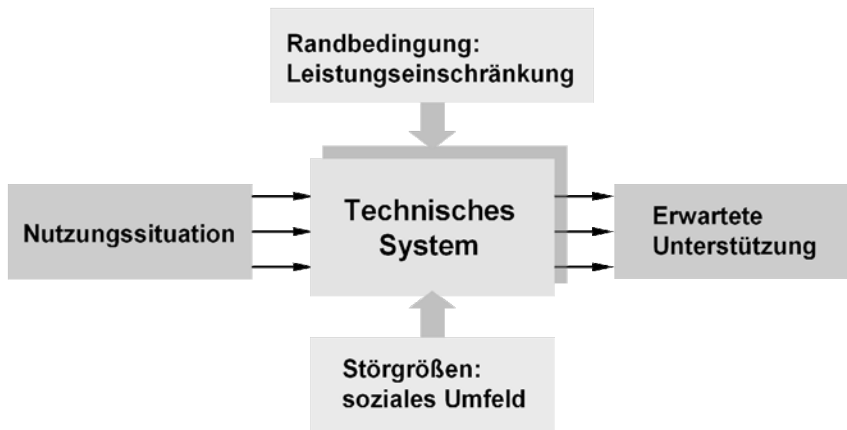


Bild 24 Situation der Produktentwicklung als Black-Box (Paetzold, 2010)

Ausgangssituation einer jeden Entwicklungsaufgabe bildet der Systemzweck, also im Wesentlichen die Notwendigkeit, in einer eventuell auftretenden Situation eine geeignete Strategie zur Problemlösung anzubieten.

Die Qualität der Meisterung der Situation bzw. die Nutzung eines technischen Systems zur Problemlösung hängt aber nicht nur von der prinzipiellen Technikauglichkeit des Systems für die Einsatzsituation ab. Die wesentliche Randbedingung im Kontext ist dabei die eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Nutzers. Als Störeinfluss auf die Nutzung des technischen Systems spielt das soziale Umfeld und die gesellschaftliche Integration eine wichtige Rolle (Bild 24).

Zur Unterstützung des Produktentwicklers gilt es, Leistungseinschränkungen so aufzubereiten, dass sie zur Konkretisierung der Anforderungen an die Entwicklungsaufgabe beitragen können. Die Problematik des Alterns, welche also primär durch einen medizinischen bzw. gerontologischen Hintergrund geprägt und mit dessen Vokabular beschrieben ist, gilt es, aus Sicht des Ingenieurs darzustellen.

Die Notwendigkeit der Technikunterstützung zur Kompensation kann hierbei aus der Leistungseinschränkung selbst resultieren, die Leistungseinschränkung kann aber auch ein einschränkendes Kriterium für die Lösungsansätze sein. Leistungseinschränkungen müssen so dargestellt werden, dass konkrete technische Anforderungen ableitbar sind, die die Lösungsfindung unterstützen. Dazu wird ein dreigeteilter Strukturierungsansatz vorgeschlagen, der im Folgenden skizziert wird (Bild 25).

Die Klärung der Anforderungen ist die Grundlage für Ingenieure, um in den Entwicklungsprozess einzusteigen und entsprechende Lösungsansätze für die vorliegende Aufgabenstellung zu finden. Bei der Entwicklung von Produkten für leistungseingeschränkte Personen muss der Anforderungsklä rung ein Schritt vorgeschaltet werden. Es ist essentiell, die Anforderungen, die aus bestimmten Leistungseinschränkungen resultie-

ren, zu erfassen. Leistungseinschränkungen können nach Biermann und Weißmantel (2003) in vier Kategorien eingeteilt werden (Bild 26). Es können Einschränkungen der Sinne wie des Sehens, Hörens, beim Tasten oder Fühlen und beim Riechen und Schmecken vorliegen. Die Verringerung der Gedächtnisleistung, der Informationsverarbeitung, der Reaktion, sowie die Koordination lassen sich unter dem Punkt Einschränkungen des Geistes zusammenfassen. Ferner können auch Einschränkungen des Körpers in der Beweglichkeit, der Kraft, der Ausdauer und Fingerfertigkeit oder der Stimme und Sprache vorhanden sein. Eine detailliertere Beschreibung von alterstypischen Veränderungen ist in Kapitel 2 zu finden.

Aus diesen Kategorien lassen sich Einschränkungen bei sensorischen Fähigkeiten wie altersbegleitende Fehlsichtigkeit, Nachlassen des Gehörs oder durch alterstypische Erkrankungen wie einer Erkrankung an Arthritis mangelnde haptische Fähigkeiten ableiten. Besonderen Augenmerk bei der Konzeption eines Produktes für ältere Menschen muss auch auf die nachlassenden kognitiven Fähigkeiten gelegt werden, da diese ein Nachlassen in der Informationsverarbeitung, des Gedächtnisses, sowie der Reaktionsfähigkeiten und der Koordination zur Folge hat. Ebenso gibt es im Alterungsprozess körperliche Leistungseinschränkungen, die einen Einfluss auf die Beweglichkeit, die Ausdauer oder die Kraft haben, mit der ein Produkt bedient werden kann. Bei der Gestaltung von spezifischen Produkten, beispielsweise von sprachgesteuerten Kommunikationsschnittstellen, ist bei der Konzeption zu berücksichtigen, dass auch die Stimme einem Alterungsprozess (Mwangi et al., 2009) unterliegt.

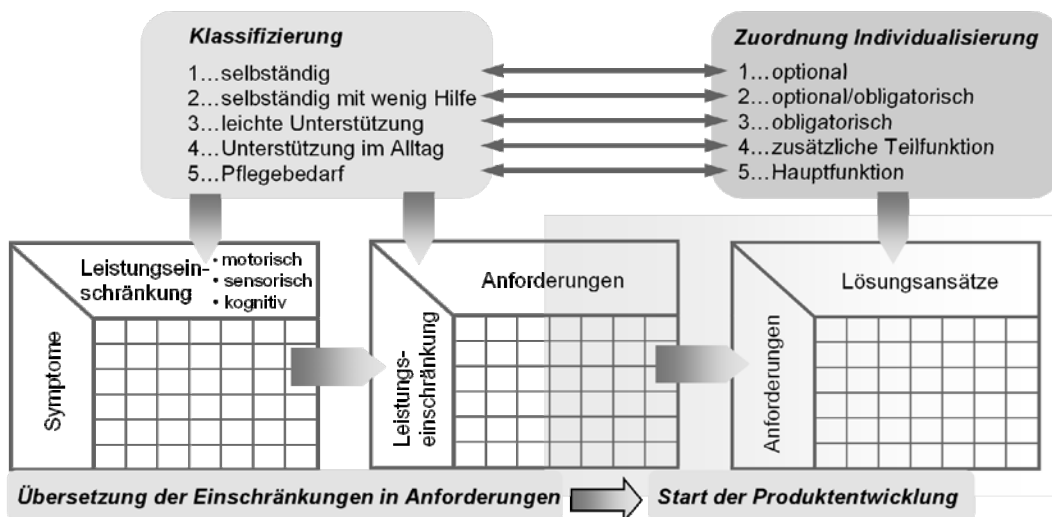


Bild 25 Vorgehensweise zur Übersetzung von Leistungseinschränkungen in Anforderungen (Stöber & Schmidt 2010)

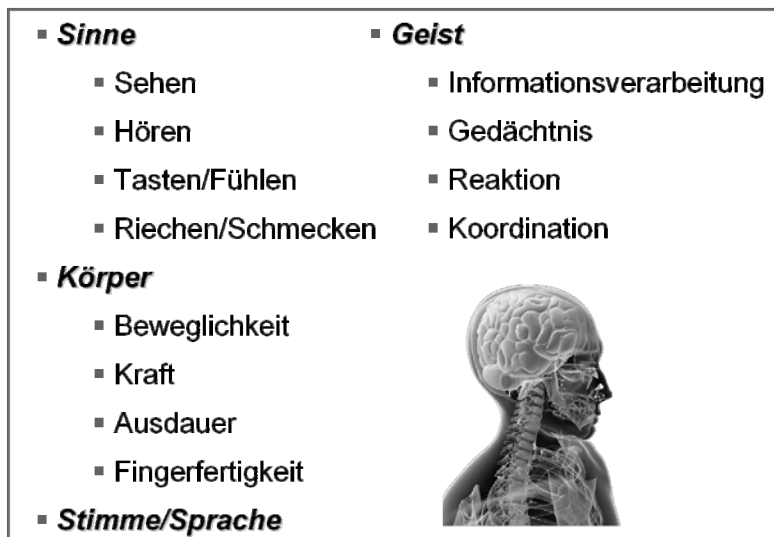


Bild 26 Kategorisierung von Leistungseinschränkungen (Biermann & Weißmantel, 2003)

Wie in Bild 25 aufgezeigt werden aus den Symptomen der Erkrankungen Leistungseinschränkungen abgeleitet, aus denen wiederum Anforderungen an das System abgeleitet werden können. Dies ist der Einstiegspunkt für Produktentwickler, für vorhandene Problemstellungen Lösungsansätze abzuleiten. In Kapitel 3.3.2.2 wird dies an dem gewählten Beispiel eines Rollators aufgezeigt. Ferner ist es für die Konzeption der Module eines Produktes wichtig, die Ausprägung einer Leistungseinschränkung zu berücksichtigen, um diese in der Gestaltung und Anpassbarkeit frühzeitig umzusetzen. Diese lassen sich in 5 Stufen klassifizieren, die wiederum mit ihrer Berücksichtigung in den Lösungsansätzen korrelieren. Wenn noch keine oder nur ansatzweise eine Leistungseinschränkung vorhanden ist und die Person noch selbständig leben kann, ist eine Unterstützung optional in das Produkt zu integrieren. Ist die Person noch in der Lage, selbstständig zu leben, benötigt allerdings auf Grund des Ausbrechens einer Erkrankung wie einer anfänglichen altersbedingten Fehlsichtigkeit leichte Unterstützung zum Beispiel in der Möglichkeit, die Schriftart zu vergrößern, wird das entsprechende Modul optional/obligatorisch in die Produktstruktur eingebunden. Bei weiterem Fortschreiten einer Leistungseinschränkung wie bei der Einschränkung von haptischen Fähigkeiten durch Arthritis, wird eine leichte Unterstützung benötigt (z.B. Anbringen von Hebehilfen), die obligatorisch in die Produktstruktur eingebunden wird. Ist eine Leistungseinschränkung stärker ausgeprägt, so dass eine Unterstützung im Alltag benötigt wird, sind die abgeleiteten Anforderungen aus der Leistungseinschränkung stark zu priorisieren und als Teilfunktion des Produktes umzusetzen. Als Hauptfunktion müssen die Anforderungen umgesetzt werden, die aus den Leistungseinschränkungen abgelei-

tet werden, wenn die ältere Person aufgrund der Leistungseinschränkung nicht mehr selbständig agieren kann, sondern gepflegt werden muss.

Da bedingt durch Krankheitsverläufe die Leistungseinschränkungen sich meist zunehmend verschlimmern, ist es wichtig, die Produkte auf diese Gegebenheit anzupassen. Es muss möglich sein, bei einer stärkeren Ausprägung der Einschränkungen, das Produkt an die entsprechend stärker ausgeprägten Leistungseinschränkungen anzupassen. Ebenso bedingt durch den Alterungsprozess treten die Leistungseinschränkungen nicht separat auf, sondern gekoppelt (Abnahme des Seh- und Hörvermögens). Auch dieser Sachverhalt muss in der Produktstrukturierung beachtet werden. Im Folgenden sollen die einzelnen Schritte der Übersetzung von Symptomen zu technischen Anforderungen (Bild 25) näher beleuchtet werden.

3.3.1.1. Medizinische Sicht

Leistungseinschränkungen resultieren einerseits aus dem altersbedingten körperlichen Rückbau des Menschen. Andererseits treten verstärkt Krankheiten auf, die wiederum mit Leistungseinschränkungen verbunden sind. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Menschen ist daher sehr individuell und geprägt durch eine Vielzahl von Faktoren. Häufig ist Multimorbidität zu beobachten. Hinzu kommt ein zeitlicher Verlauf. Dies ist in der Erfassung der Leistungseinschränkungen unbedingt zu berücksichtigen. Nähere Informationen sind in Kapitel 2 aufgezeigt.

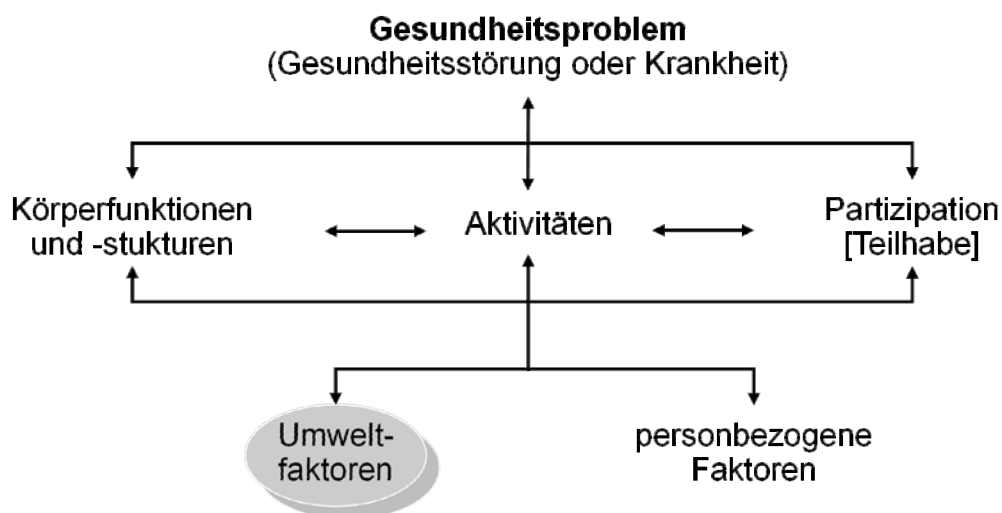


Bild 27 Wechselwirkungen zwischen den Komponenten der ICF

Bei der Entwicklung von Produkten für ältere Personen stoßen Ingenieure auf fachfremde Gebiete beispielsweise der Anatomie, Psychologie des älteren Menschen und Bewegungsabläufe des menschlichen Körpers. Es ist wichtig, neben ergonomischen oder technischen Anforderungen auch die Dimensionen der Lebensqualität mit in die Entwicklung einzubeziehen. Das Ziel von Produkten für ältere Menschen ist es, die Lebensqualität der Nutzer zu verbessern. Die Erfassung der Dimensionen der Lebensqualität erfolgt über Fragebögen (z. B. SF-36 Health Survey). Nach Bullinger (2000) können acht Dimensionen der Lebensqualität unterschieden werden:

- Körperliche Funktionsfähigkeit
- Körperliche Rollenfunktion
- Körperliche Schmerzen
- Allgemeine Gesundheitswahrnehmung
- Vitalität
- Soziale Funktionsfähigkeit
- Emotionale Rollenfunktion
- Psychisches Wohlbefinden

Zur Erfassung der Krankheiten und Leistungseinschränkungen ist das Heranziehen von Klassifikationssystemen hilfreich. Eine weltweit anerkannte Beschreibung von Gesundheitsproblemen herausgegeben von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) stellt das Klassifikationssystem „International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems“ dar (aktuell: ICD-10; Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation, 2006). Die Klassifikation von Krankheiten erfolgt hier der Ursache nach. Mediziner verschlüsseln ihre Diagnosen mit diesem Schlüssel beispielsweise auf Krankmeldungen. Um einen Überblick über Krankheiten zu erhalten und diese zu verschlüsseln, kann dieses Hilfsmittel herangezogen werden.

Allerdings ist für Entwickler die Ableitung von Anforderungen aus Krankheitsbildern vor allem für ältere Menschen von Interesse. Dazu liefert die „International Classification of Functioning, Disability and Health“ (ICF) die Grundlage. Sie bietet eine Klassifikation zur Beschreibung des funktionalen Gesundheitszustandes, der Behinderung, der sozialen Beeinträchtigung sowie relevanten Umweltfaktoren von Menschen. In dieser Klassifikation werden neben dem Gesundheitsproblem auch Körperfunktionen und -strukturen, Aktivitäten, Partizipation, Umweltfaktoren und personenbezogene Faktoren betrachtet. Die Wechselwirkungen dieser in der ICF betrachteten Komponenten, wird in Bild 27 verdeutlicht. Technische Produkte werden in der ICF den Umweltfaktoren zugeordnet, wobei in dem Schaubild aufgezeigt wird, welchen Einfluss Produkte auf den Gesundheitszustand älterer Personen haben. Diese Werkzeuge stehen den Produktentwicklern zur Verfügung, um sich über Krankheiten und Leistungseinschrän-

kungen zu informieren. Da die Erfassung der Leistungseinschränkungen nicht zu den Kernkompetenzen von Produktentwicklern gehört, ist es notwendig, im interdisziplinären Team von Medizinern, Gerontologen, Psychologen, medizinischem Fachpersonal, Sportwissenschaftlern und Ingenieuren Symptome zu erfassen. Symptome können auch mehrfach auftreten und unterschiedliche Ausprägungen aufweisen, die eingetragen in einer matrixartigen Anordnung deutlich werden. Bild 28 zeigt beispielhaft an der Krankheit Osteoporose eine Identifikation von Symptomen. Diese Zusammenstellung ist Grundlage für die Befüllung der Matrix „Symptome - Leistungseinschränkungen“.

Osteoporose

Definition:	Pathologischer Knochenschwund durch Mangel an Knochengewebe
Symptome:	Knochenbrüche, Verformungen der Knochen und Schmerzen im Skelettsystem
Ursachen:	Normale Alterungsvorgänge am Knochen Schon früh aufgetretene Krankheiten mit Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel, zum Beispiel Erkrankungen der Niere, des Magen-Darm-Traktes oder Stoffwechselkrankheiten
Behandlung:	Eine Therapie gegen die Ursachen des Gelenkverschleißes gibt es bisher nicht. Die Behandlung von Arthrose besteht in Entzündungshemmung, Schmerzminderung und Funktionsverbesserungen
Vorbeugung:	Aufnahme von Kalzium und Vitamin D Gesunde Ernährung Hormonsubstitution bei Frauen Regelmäßig Sport treiben

Bild 28 Analyse alterstypischer Krankheiten: Beispiel Osteoporose (Huch & Jürgens, 2007)

3.3.1.2. Ableitung von Anforderungen aus Leistungseinschränkungen

In einem zweiten Schritt gilt es, technische Anforderungen für die identifizierten Leistungseinschränkungen abzuleiten. Bild 29 zeigt dies beispielhaft für eine sprachgesteuerte Kommunikationsschnittstelle. Nach der Identifikation der zu berücksichtigenden Leistungseinschränkungen muss im Team aus Experten wie Medizinern, Gerontologen, Psychologen, medizinischem Fachpersonal, Sportwissenschaftlern und Ingenieuren Anforderungen abgeleitet werden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit birgt große Synergieeffekte in sich, da jeder Experte seine Sichtweise in die Anforderungserhebung einbringt. So ist es möglich, ein ganzheitlich orientiertes Produkt zu erschaffen.

Sensorische Einschränkungen

Relevanten Anforderungen:

- Zunahme der Hörschwelle
- Probleme bei der Unterscheidungen hoher Frequenzen
- Schwierigkeiten beim Verständnis von hohen Stimmen
- Abnahme der Sprachverständlichkeit
- Probleme beim Verständnis von f, g, s, sch, oder t

Systemanforderungen:

- Lautstärkeregelung vorsehen
- Sprachausgabe sollte bevorzugt tiefere Frequenzen verwenden (z.B. männliche Stimme)
- Klare und deutliche Sprachausgabe
- Möglichst keine homophone (gleich klingende Wörter/Wörtergruppen) verwenden

Kognitive Einschränkungen

Relevante Veränderungen:

- Langsamere Informationsverarbeitung
- Zugriff auf semantische Information dauert länger
- Erhöhter Zeitbedarf bei Aufnahme, Verarbeitung und Abruf von Informationen
- Verschlechterung der kommunikativen Kompetenz

Systemanforderungen:

- Wenige Entscheidungsoptionen zur Verfügung stellen
- Ausreichend Zeit beim Abwarten der Benutzerantwort einplanen
- Informationen in klare Aufgabenbereiche (Szenarien) einteilen

Bild 29 Anforderungserfassung der Kommunikationsschnittstelle

Als Hilfestellung können Produktentwicklern Tabellen über Anforderungen zur Verfügung gestellt werden, die sich aus Leistungseinschränkungen ableiten lassen. Tabelle 1 zeigt dies in Auszügen beispielhaft für Bedienelemente.

Tabelle 1 Übersicht über Leistungseinschränkungen und resultierende Anforderungen an Bedienelemente (Auszug)

Anforderungen Sinne	Bedienelemente	Handhabung / Bedienung	Display	Gebrauchsanleitung	Beschriftung	Zuverlässigkeit / Sicherheit	Sprachsteuerung	Sprachausgabe
Sehen	1,2,3,4,5,8,14		1,2,5,23,24	2,24,32	1,2,23,24	40,42		
Hören	8	17				40		17,43,44
Tasten/Fühlen	1,3,8					40		

Die gesamte Übersicht für Bedienelemente ist in Anhang A zu finden. Da das Feld der Leistungseinschränkungen und die resultierenden Anforderungen abhängen von weiteren Randbedingungen wie der Produktgruppe, der Nutzergruppe oder dem Verwendungszweck (siehe Bild 24), ist eine solche Tabelle für den jeweiligen Anwendungsfall zu erstellen, um später in der Entwicklung Anwendung zu finden. Bei gleichen oder ähnlichen Produktprogramm ist dies für Unternehmen extrem förderlich.

In den einzelnen Zellen der Tabelle sind Ziffern eingetragen, die für entsprechend zu beachtende Anforderungen stehen. Bild 30 zeigt einen Auszug dieser Anforderungen (vollständige Liste siehe Anhang A). So haben die Entwickler eine Art Checkliste an der Hand, welche Anforderungen beachtet werden müssen. Hilfreiche Hinweise, wie diese Anforderungen umzusetzen sind, werden in entsprechenden Richtlinien, Normen und Gestaltungshinweisen erörtert, die allerdings sehr allgemein gehalten sind (siehe Kapitel 5.5). Aus diesen können Anforderungen je nach entsprechendem Einsatz, Nutzer und entsprechender Produktgruppe abgeleitet werden.

Bei der Aufstellung von neuen Listen ist es hilfreich, Nutzerbefragungen durchzuführen. Ferner ist es wichtig, dass Produktentwickler eine Priorisierung der Anforderungen vornehmen können. Da die Priorisierung stark von Faktoren wie der Nutzergruppe, der technischen Erfahrung, vom Geschlecht des Nutzers und von der Produktgruppe abhängt, sollte bezüglich der Gewichtung von Anforderungen Nutzertests durchgeführt werden.

1	Groß Bedienelemente: ausreichend groß, so dass sie gut sichtbar und fühlbar sind; gut zu bedienen auch bei nachlassender Fingerfertigkeit Display: groß genug um alle Anzeigen in ausreichender Größe unterzubringen Beschriftung: große Schrift für gute Lesbarkeit
2	kontrastreich Bedienelemente: starker Kontrast zwischen Bedienelement und Grundstruktur Display: starker Kontrast zwischen Hintergrund und Schrift, möglichst einstellbar Beschriftung: starker Kontrast zwischen Hintergrund und Schrift
3	fühlbar Bedienelemente: Abstand und Höhe der Bedienelemente so groß, dass sie erfühlt werden können
4	wichtige Tasten haptisch markiert Bedienelemente: bei Ziffernblöcken Ziffer „5“, andere wichtige Tasten fühlbar markieren
5	beleuchtet Bedienelemente: bessere Sichtbarkeit durch höhere Leuchtdichte Display: Hintergrundbeleuchtung verbessert die Lesbarkeit bei schlechten Lichtverhältnissen
6	logische Bedienelemente: Anordnung: z.B. linke Taste leiser, rechte Taste lauter; Bedienelemente unter zugehöriger Anzeige; inhaltlich zusammenhängende Bedienteile räumlich zusammenhängend anordnen Gebrauchsanleitung: Beschreibung in Reihenfolge der Bedienschritte

Bild 30 Anforderungen für Elemente im Gebrauch am Beispiel Sinne (Auszug)

3.3.1.3. Lösungsfindung

Nach der Anforderungsklä rung (zweiter Schritt) kann der dritte Schritt als Start der Konzeptphase verstanden werden, indem nach prinzipiellen Kompensationsmöglichkeiten für diese Leistungseinschränkungen gesucht wird. Hierbei ist es wichtig, die Kompensationsmöglichkeiten zunächst lösungsneutral vorzuschlagen, sodass sie im Entwicklungsprozess im Sinne einer Teilfunktion verstanden werden können. Die im ersten Schritt abgeleitete Tabelle lässt sich damit um eine weitere Betrachtungsweise ergänzen. Eine nähere Analyse der Kompensationsmöglichkeiten kann für den Ingenieur zwei Resultate liefern:

- die Kompensation der Leistungseinschränkungen erfordert eine neue Produktfunktionalität (beispielhaft kann hier genannt werden, dass im Falle eines Verlustes der Orientierungsfähigkeit von älteren Personen eine Navigationshilfe in ein Produkt eingebaut werden muss)
- der Kompensationsansatz konkretisiert eine gegebene Anforderung und damit wird der Lösungsraum zur Erfüllung der Anforderungen eingeschränkt (bei Menschen mit ausgeprägten Sehstörungen erfolgt die Interaktion mit dem System besser über Sprache als über ein Display).

Die dargestellten Leistungseinschränkungen sind immer in den Kontext der Entwicklungsaufgabe, dem Ziel und der Zielgruppe zu sehen. Allerdings kann eine solche Betrachtung durchaus Anregungen für völlig neue Produkte liefern, deren Systemzweck aus der Leistungseinschränkung resultiert. Daher ist es aus Ingenieursicht unabdingbar, eine Kopplung auch zwischen grundsätzlichen Strukturierungsansätzen von technischen Systemen und den Kompensationsmöglichkeiten und damit auch den Leistungseinschränkungen abzuleiten. Ansätze zur Produktstrukturplanung sowie die Einbeziehung von Leistungseinschränkungen in die Modularisierung ist in Kapitel 3.3.2.2 aufgezeigt. Das beschriebene Vorgehen kann durch Computerunterstützung vereinfacht werden. Die in Bild 25 dargestellte Matrixstruktur bildet die Grundlage für ein Datenbanksystem, in dem entsprechende Informationen zu Leistungseinschränkungen abgespeichert werden.

3.3.2. Modularisierung

Um Menschen mit Leistungseinschränkungen optimal zu unterstützen, müssen Produkte derart gestaltet werden, dass sie an die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden können. Dabei müssen die individualisierten Produkte für die Unternehmen wirtschaftlich und für Senioren bezahlbar bleiben. Der Einsatz von mo-

dularen Strukturen ist bei der Individualisierung von großem Vorteil, da das Produkt schnell und kostengünstig erweitert werden kann.

3.3.2.1. Grundlagen der Modularisierung

Für das Einführen eines Modularisierungskonzeptes in einem Produktprogramm ist zunächst der Aufbau eines Systems an sich zu verinnerlichen. Ein System besteht aus einer gewissen Anzahl an Elementen, die bestimmte Eigenschaften besitzen und durch Relationen miteinander verknüpft sind (Bild 31). Systeme können über mehrere Ebenen in Subsysteme untergliedert werden (Kopenhagen, 2004).

In einem strukturierten System verlaufen die Beziehungen nicht beliebig und unstrukturiert, sondern sie bilden geordnete Teilsysteme mit einer übergeordneten Hierarchien aus (Riepe, 2003). Simon (1962) bezeichnet ein strukturiertes System als „nearly decomposable“. Diese Systemeigenschaft wird heute in der Literatur nach Riepe (2003) als „modular“ bezeichnet: „Ein modulares System besteht aus Subsystemen, bei denen die Beziehungen zwischen den Subsystemen im Vergleich zu den Beziehungen innerhalb der Subsysteme nur schwach ausgeprägt sind“.

Durch die schwachen Beziehungen der einzelnen Subsysteme untereinander weisen sie eine relativ hohe Autonomie auf. Auch Kopenhagen (2004) definiert den Begriff Modularisierung in ähnlicher Weise: „Modularisierung ist die zielgerichtete Hierarchisierung eines Systems, so dass Subsysteme entstehen, deren internen Beziehungen stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen zwischen den Subsystemen“.

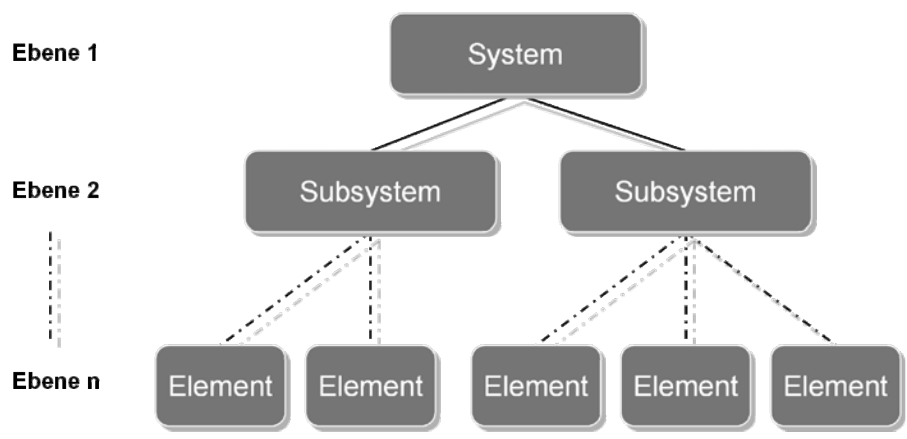


Bild 31 Aufbaustruktur eines Systems (Pahl & Beitz, 2003)

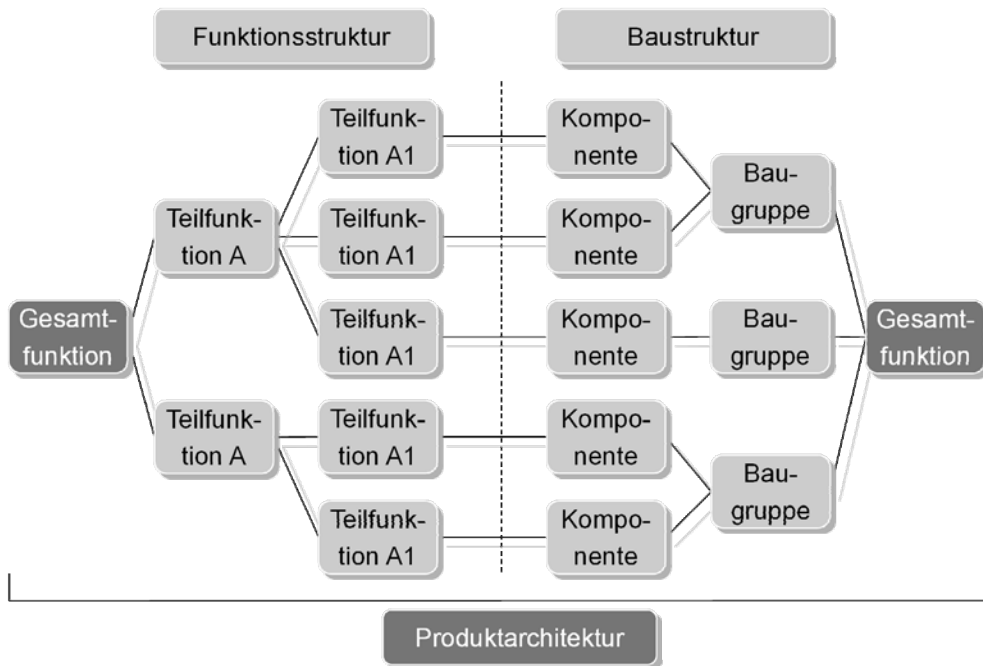


Bild 32 Produktarchitektur nach Pahl und Kollegen (2003)

Die funktionale und die physische Beschreibung des Produktes sowie die Zuordnung von Funktionen zu Funktionsträgern definiert die Produktarchitektur (Kopenhagen, 2004). Die geforderte Gesamtfunktion wird in mehrere verschiedene Teilfunktionen untergliedert, wobei die ermittelten Teilfunktionen entsprechenden physischen Komponenten zugeordnet werden (Bild 32; Pahl et al., 2003).

Durch die schwachen Beziehungen der einzelnen Subsysteme untereinander weisen sie eine relativ hohe Autonomie auf. Auch Kopenhagen (2004) definiert den Begriff Modularisierung in ähnlicher Weise: „Modularisierung ist die zielgerichtete Hierarchisierung eines Systems, so dass Subsysteme entstehen, deren internen Beziehungen stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen zwischen den Subsystemen“.

Die funktionale und die physische Beschreibung des Produktes sowie die Zuordnung von Funktionen zu Funktionsträgern definiert die Produktarchitektur (Kopenhagen, 2004). Die geforderte Gesamtfunktion wird in mehrere verschiedene Teilfunktionen untergliedert, wobei die ermittelten Teilfunktionen entsprechenden physischen Komponenten zugeordnet werden (Bild 32; Pahl et al., 2003).

Da die Bestimmung des Grades der Modularität auf Basis der Beziehungsstruktur bei komplexen Produkten Schwierigkeiten bereitet, haben sich unterschiedliche Merkmale zur Beurteilung von Modularität herausgebildet. In der Literatur finden sich viele Definitionen für Module, Modularisierung und modulare Produktstrukturen. Für nachfolgende Zwecke werden Module nach Schön (2000) wie folgt als Subsysteme aufgefasst.

Typ der Systemarchitektur	Verhältnis externer zu interner Beziehungsstärke	Beispiel
System zerfällt in Subsysteme	$B_{\text{extern}} \approx 0$	
Modulare Systemarchitektur	$B_{\text{extern}} \vee B_{\text{intern}}$	
Integrale Systemarchitektur	$B_{\text{extern}} < B_{\text{intern}}$	
Subsysteme verschmelzen zur Einheit	$B_{\text{extern}} \approx B_{\text{intern}}$	
Neustrukturierung des Systems	$B_{\text{extern}} > B_{\text{intern}}$	

Legende: B_{extern} = externe Beziehungsstärke (zwischen Subsystemen) B_{intern} = interne Beziehungsstärke (zwischen Subsystemen)	Starke Beziehung Mittelstarke Beziehung Schwache Beziehung
--	--

Bild 33 Verschiedene Systemstrukturen (Göpfert, 1998)

Im Gegensatz zu modular aufgebauten Produkten existieren Systeme mit integralen Systemstrukturen. Modulare und integrale Systeme unterscheiden sich in erster Linie durch unterschiedlich stark ausgeprägte Beziehungen zwischen ihren Subsystemen. Dabei ist nicht der absolute Wert der Beziehungsstärke, sondern das Verhältnis der Beziehungsstärken innerhalb der Subsysteme zu den Beziehungsstärken zwischen den Subsystemen bestimmend für den Typus der Systemarchitektur. Wenn sich die Beziehungsstärke zwischen den Subsystemen der Beziehungsstärke innerhalb der Subsysteme annähert, so liegt eine integrale Architektur vor (Kopenhagen, 2004). Bild 33 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Ausprägung von Systemstrukturen auf.

Da die Bestimmung des Grades der Modularität auf Basis der Beziehungsstruktur bei komplexen Produkten Schwierigkeiten bereitet, haben sich unterschiedliche Merkmale zur Beurteilung von Modularität herausgebildet. In der Literatur finden sich viele Definitionen für Module, Modularisierung und modulare Produktstrukturen. Für nachfolgende Zwecke werden Module nach Riepe (2003) wie folgt als Subsysteme aufgefasst und sind gekennzeichnet durch folgende Eigenschaften:

- Module beinhalten abgegrenzte Funktionen (eine oder mehrere)
- Module besitzen wenige, einfache, aber definierte Schnittstellen

- Module sind miteinander kombinierbar und austauschbar
- Module sind leicht überschaubar und handhabbar
- Module sind ohne Kenntnis des inneren Aufbaus einsetzbar
- Module sind unabhängig nachprüfbar

Modulare Produkte bieten Unternehmen zahlreiche Vorteile und ermöglichen die Erschließung hoher Nutzungspotentiale. Wesentliche Eigenschaften und daraus resultierende Vorteile von modularen Systemen sind (Müller, 2000):

- **Kombinierbarkeit:** Die Module lassen sich im Baukastenprinzip leicht zu Varianten zusammensetzen. Damit können bei relativ geringem Produktionsaufwand viele individuelle Varianten gefertigt werden.
- **Mehrfachverwendbarkeit:** Bereits entwickelte Modelle lassen sich aufgrund ihrer Abgeschlossenheit leicht wiederverwenden. Das führt zu geringeren Entwicklungsaufwänden und zu Kosteneinsparungen durch Skaleneffekte in der Fertigung.
- **Kontrollierbarkeit:** Die Funktionsfähigkeit der Module lässt sich separat testen. Dies führt zu einer frühzeitigen Entdeckung von Fehlern in der Produktion und zur einfacheren Identifikation von Fehlern im Reparaturfall.
- **Austauschbarkeit:** Durch schnelle und leicht lösbare Schnittstellen lassen sich Module im Reparaturfall schnell auswechseln.
- **Entkopplung:** Sobald Schnittstellen definiert sind, können die Entwicklungsteams die Module unabhängig voneinander entwickeln. Diese Parallelisierung ermöglicht eine deutliche Reduzierung von Entwicklungszeiten.
- **Stabilität:** Durch stabile Produktstrukturen mit definierten Schnittstellen wirken sich Änderungen innerhalb eines Moduls nicht auf andere Module aus. Dies reduziert den Änderungsaufwand und die Entwicklungszeit.
- **Erweiterbarkeit:** Modulare Produkte können an definierten Schnittstellen durch zusätzliche Komponenten in ihrer Funktionalität erweitert oder modifiziert werden. Es können auch intakte Module eines bereits existierenden Produktes wiederverwendet werden, um in Kombination mit neuen Modulen auf den aktuellen Stand gebracht zu werden.
- **Standardisierbarkeit:** Durch einheitliche Schnittstellen lassen sich Module leicht unternehmensübergreifend standardisieren. Damit lassen sich Kosteneinsparungen durch Skaleneffekte erreichen und die Verfügbarkeit wird durch mehrere Lieferanten größer.
- **Komplexitätsreduktion:** Durch die Gliederung eines umfangreichen Produktes in abgegrenzte, überschaubare Module kann das Produkt leichter durchschaut werden. Dies führt insbesondere zu einer Vereinfachung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse.

Tabelle 2 Potentiale und Gefahren modularer Strukturen (Riepe, 2003)

Modulare Systeme		
Eigenschaften	Potentiale	Gefahren
Kombinierbarkeit	Einfache Variantenbildung im Baukastenprinzip	Aufwändige Produktentwicklung der Vorplanung der Varianten
Mehrfachverwendbarkeit	Reduzierter Entwicklungsaufwand und Nutzung von Skalen- und Synergieeffekten	Geringe Differenzierung
Kontrollierbarkeit	Vereinfachter Funktionstest des Gesamtsystems; Fehlerreduzierung durch Modulprüfung	Einzelkontrolle der Module garantiert nicht Gesamtfunktion
Austauschbarkeit	Durch Austausch von Modulen einfache Variantenerzeugung und einfache Reparatur	Beschränkung der Varianz auf Modultausch
Entkopplung	Parallelisierung der Entwicklung durch einfache, definierte Schnittstellen, einfache Montage	Aufwändige Spezifikation der Schnittstellen
Stabile Struktur	Durch stabile, ausgereifte Strukturen bleiben bei Entwicklungen Fehler auf Module begrenzt	Starre Konzepte, spätere Entdeckung von Konzeptfehlern
Erweiterbarkeit	Nachträgliche Erweiterung der Funktionalität, Wiederverwendbarkeit alter Module	Geringe Profilierung unter den Varianten
Standardisierbarkeit	Zukauf existierender Lösungen durch einheitliche Schnittstellen, bessere Verfügbarkeit	Geringe Originalität, Substituierbarkeit von Ersatzteilen
Komplexitätsreduktion	Einfaches Verständnis des Produktes, einfachere Dokumentation	Hoher Aufwand durch Strukturierung und Hierarchisierung

Eine zentrale Aufgabe der Produktentwicklung besteht darin, Anforderungen unter Berücksichtigung von Randbedingungen und Restriktionen in ein physisches Produkt umzusetzen. Die Herausforderung liegt darin, eine funktionale Beschreibung eines Produktes in eine physische Beschreibung zu transferieren. bzw. auszulagern. Einen guten Überblick über die Potentiale und Gefahren von modularen Strukturen liefert Tabelle 2.

Zur kostengünstigen Ausgestaltung von Produkten sind Methoden wie Verwendung von Norm- und Gleichteilen, Verwendung von Plattformkonzepten und Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) zu nennen. Die Verwendung von genormten Bauteilen dient zur Reduzierung der Teilevielfalt (Rapp, 2010). Dadurch entsteht eine Wiederverwendungsmöglichkeit bei anderen Konstruktionen, die es ermöglicht, große Stückzahlen von Teilen zu fertigen bzw. kostengünstiger als Einzelteile einzukaufen. Ferner kann so eine Verringerung von Werkzeugen, Vorrichtungen und Messmitteln erreicht werden (Rapp, 2010). Plattformkonzepte haben zum Ziel, durch gleichartige Produktstrukturen der zu entwickelnden Produkten Gleichteile über verschiedene Produktvarianten zu verwenden. Meyer und Lehnerd (1997) verstehen unter einer Plattform Subsysteme und Schnittstellen, die eine gemeinsame Struktur bilden, von der ausge-

hend effizient eine Reihe von Produkten abgeleitet und entwickelt werden kann. Der Fokus des Plattformgedankens weitet sich gegenüber der Gleichteileverwendung, die sich stark auf Bauteilebene konzentriert, aus auf Komponenten- und Systemebene. Für die Elimination von Produktvarianten, die nicht von Kunden wahrgenommen und gekauft werden, dient die Methode VMEA, um Kostensenkungspotentiale zu erschließen (Caesar, 1991). Es werden Einflüsse der Varianz während der Konstruktion erfasst und kostenseitig bewertet, womit die Auswahl von kostengünstigen Lösungsalternativen ermöglicht wird.

3.3.2.2. Modularisierungsstrategie für Produkte für ältere Menschen

Da die Leistungseinschränkungen sich mit zunehmendem Alter verschlechtern können und in Kombination mit anderen Symptomen auftreten können, ist eine modulare Gestaltung von Produkten für ältere Menschen essentiell. Produkte für ältere Menschen müssen in einem hohen Maß flexible Unterstützung bereitstellen und eine Möglichkeit bieten für eine individuelle Anpassbarkeit auf entsprechende Leistungseinschränkungen. Wegen des hohen angestrebten Individualisierungsgrads genügt eine Modularisierung auf Baugruppenebene nicht, sondern muss bereits auf Produktstrukturebene abgebildet werden.

Das Vorgehen bei der Entwicklung von individualisierten Produkten nach Lindemann schlägt vor, das System in fixe und variable Bereiche zu gliedern (Bild 34; Lindemann, Reichwald, & Zäh, 2006).

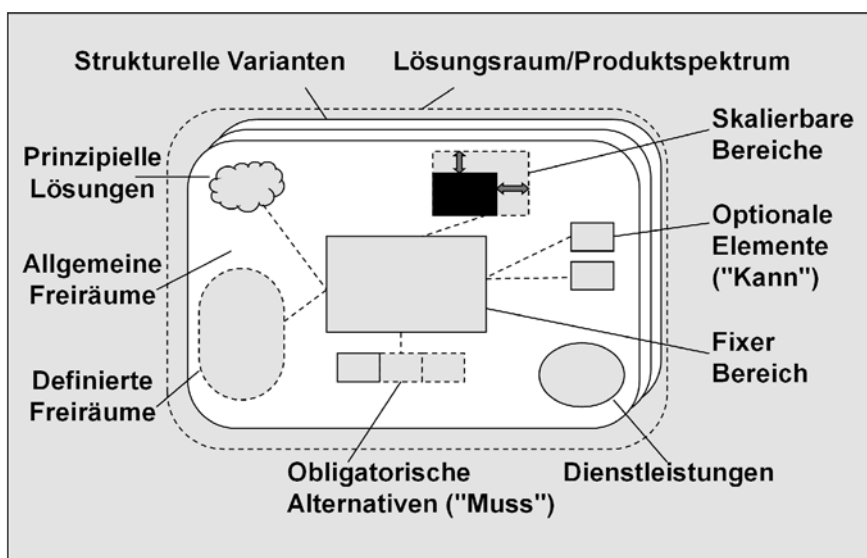


Bild 34 Produktstruktur mit Individualisierungsgraden (Lindemann et al., 2006)

Die fixen Bereiche stellen den unveränderlichen Kern des Produktes dar, der als erstes definiert bzw. über entsprechende Methoden identifiziert wird. Diese Bereiche sind nicht geeignet für eine Individualisierung, da eine Veränderung der Grundfunktion/-struktur weitreichende Folgen hat.

Zu den variablen Bereichen, in denen unterschiedliche Individualisierungsgrade festgelegt und realisiert werden können, zählen obligatorische Alternativen, optionale Elemente, skalierbare Bereiche, prinzipielle Lösungen und definierte/allgemeine Freiräume. Die geeignete Festlegung und die Überprüfung der Modulschnittstellen sind bei der Modularisierungsstrategie essentiell.

Die obligatorischen Alternativen sind unerlässlich für die Produktfunktion. Dazu gehört z. B. die Auswahl des Antriebs in bestimmten Ausprägungen. Zur Ergänzung des fixen Bereiches um vordefinierte Wahlmöglichkeiten sind optionale Elemente (Kann-Elemente) zu definieren. Diese können zum Beispiel Zubehörteile umfassen. In den skalierbaren Bereichen können innerhalb vordefinierter Grenzen und festgelegter Regeln kundenspezifisch Anpassungen wie z.B. bei Leistungsparametern oder geometrische Abmessungen erfolgen. Bei prinzipiellen Lösungen wie bei Schaltern, Abdeckungen oder Blenden können auf Basis vordefinierter Wirk- oder Gestaltungsprinzipien individuelle Kundenwünsche umgesetzt werden.

In den definierten Freiräumen kann individuell gestaltet werden, wenn die Gestaltungsmöglichkeiten vorgeplant bzw. vorgesehen (z. B. Gehäuseform) sind. Dies bedingt frühzeitige Berücksichtigung in der Produktstrukturplanung, wenn auch Zusatzfunktionen umsetzbar sein sollen. Als Ergänzungskonzept für individualisierte Produkte können Dienstleistungen geplant werden. Von einer Produktstruktur können unterschiedliche strukturelle Varianten existieren, verschiedene Modellreihen/Produkttypen, die verschiedene fixe und variable Bereiche beinhalten.

Dieser Ansatz ist für die Entwicklung von Produkten für ältere Menschen gut einsetzbar. Eine individuelle Anpassung an die jeweiligen Leistungseinschränkungen der Nutzer muss ermöglicht werden. Nach der Einteilung der Module mit ihrem Individualisierungsgrad werden die fixen Bereiche vollständig ausgestaltet und die variablen Bereiche je nach Grad der Individualisierung vorbereitet bzw. fertig gestellt. Nach Vorbereitung des individualisierten Produktes wird bei Bestellung des Produktes vom Nutzer der Adaptionprozess in der Entwicklung gestartet. Dieser ist zur individuellen Anpassung des Produktes an den speziellen Nutzer mit den vorliegenden Leistungseinschränkungen vorgesehen. Hier werden den Produktentwicklern jeweils Hinweise gegeben, wo im Prozess mit welchem Modul erneut gestartet werden muss, um eine fertige Ausgestaltung des gesamten Produktes zu erhalten. Im Verlauf des Produktentwicklungsprozesses sind immer wieder Überprüfungen der Eigenschaften des Pro-

duktes verankert. Ferner müssen auch die sensorische, kognitive und motorische Nutzbarkeit des Produktes und der Module überprüft werden. Mit Hilfe von entsprechenden Methoden können Änderungsauswirkungen von Produktelementen auf andere Elemente und die Produktstruktur erkannt werden.

Mayer (1993) und Piller (1998) planen die Produktstruktur in einem dreistufigen Vorgehen, das folgende Teilschritte aufweist:

- Gestaltung der Produktstruktur und der enthaltenen Module
- Festlegung des auftragsneutralen Vorfertigungsgrades
- kundenspezifische Konfigurationsprozess

Im ersten Schritt wird die Grundstruktur des Produktes mit potenziellen Grundvarianten und den Modulen (Muss-, Kann-Bausteine) festgelegt. Ziel der Gestaltung ist ein Baukasten, der eine hohe Anzahl an Standardteilen aufweist. Darauf aufbauend können nun Module auftragsneutral vorproduziert werden. Der kundenspezifische Konfigurationsprozess mit der Erhebung der individuellen Kundenwünsche und der Auswahl der entsprechenden Module schließt die Strukturplanung ab.

Auch der Strukturplanungsprozess nach Lindemann und Kollegen (2006) verläuft ähnlich (Bild 35). Nach der Festlegung des zu betrachtenden Produktbereichs wird ausgehend von allgemeinen Kundenanforderungen und Produktfunktionen eine allgemeine Produktstruktur festgelegt. Diese Produktstruktur enthält schon alle wesentlichen Baugruppen und Schnittstellen sowie deren grundlegende Varianten, wenn auch in einer noch recht groben Definition. Es erfolgt nun eine sukzessive Weiterentwicklung von Komponenten und Schnittstellen und eine Definition der für die Individualisierung vorgesehenen Freiheitsgrade.

Es ist essentiell, die Produktentwickler bei dem Umgang mit Leistungseinschränkungen in der Produktentwicklung zu unterstützen. Die Kernkompetenz von Produktentwicklern liegt in der Lösungsfindung für spezielle Problemstellungen und in der Umsetzung von gestellten Anforderungen an ein Produkt, aber nicht in der medizinischen Erhebung von Leistungseinschränkungen. Deswegen muss der Aspekt des Umgangs mit Leistungseinschränkungen in der Produktentwicklung verankert sein und den Entwicklern entsprechende Hilfestellungen zur Verfügung gestellt werden. Im Folgenden sollen die Auswirkungen von der Berücksichtigung von Leistungseinschränkungen auf die Produktstrukturierung betrachtet werden und eine Modularisierungsstrategie für Produkte für leistungseingeschränkte Personen vorgestellt werden.



Bild 35 Strukturplanungsprozess nach Lindemann und Kollegen (2006)

Grundlage für die vorliegende Modularisierungsstrategie ist das Vorgehen nach Lindemann bei der individualisierten Produktentwicklung, der um die Betrachtung und den Umgang mit Leistungseinschränkungen in der Produktentwicklung erweitert wird. Für die Modularisierung eines Produktes werden funktionale und logische Einheiten gebildet, die austauschbar sind (Ulrich, 1995). In Folge der Verschlechterung des Krankheitsbildes einer älteren Person, was eine stärkere Ausprägung der Einschränkungen nach sich zieht, müssen die Module weiterhin auf ihre kognitive, sensorischen und motorische Nutzbarkeit hin untersucht und eingeteilt werden (Bild 36). Dies ist besonders bei den Mensch-Maschine-Schnittstellen zu beachten (Stöber & Schmidt, 2010). Ferner kommt der Schnittstellengestaltung eine besondere Bedeutung zu, die eine Austauschbarkeit von Komponenten, angepasst an die jeweils vorliegenden Leistungseinschränkungen ermöglichen muss.



Bild 36 Einteilung von Modulen

Um eine wirtschaftlich Anpassung eines Produktes an spezifische Leistungseinschränkungen zu gewährleisten, müssen die Module austauschbar und vor allem an unterschiedliche Einschränkungen anpassbar sein, so dass ein Modul in verschiedene Untermodule eingeteilt werden muss. Nach dieser Zerlegung in einzelne Komponenten, muss überprüft werden, welche der Untermodule Potentiale für eine Individualisierung aus Sicht der kognitiven, sensorischen und motorischen Nutzbarkeit haben. Im Folgenden wird anhand des Beispiels eines Rollators die beschriebene Vorgehensweise verdeutlicht.

Die Klärung der Anforderungen gilt als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Produktentwicklung, d. h. für das Finden entsprechender Lösungsansätze für die vorliegende Aufgabenstellung. Bei der Entwicklung von Produkten für leistungseingeschränkte Personen müssen der Anforderungsklä rung aus rein technischer Sicht zusätzliche Schritte parallel geschaltet werden, da die Kernkompetenz von Produktentwicklern nicht in der medizinischen Erhebung von Leistungseinschränkungen liegt. Deswegen ist eine Zusammenarbeit von Ärzten, medizinischem Fachpersonal, Psychologen, Sportwissenschaftlern und Ingenieuren gerade am Anfang des Produktentwicklungsprozess bei der Anforderungsklä rung unabdingbar. In diesem Team werden aus den Symptomen der identifizierten Nutzergruppe Leistungseinschränkungen abgeleitet. Leistungseinschränkungen können nach Biermann und Weißmantel (2003) in vier Kategorien eingeteilt werden. Es können Einschränkungen der Sinne, des Geistes, des Körpers, sowie der Stimme und der Sprache vorliegen.

Bei der Konzeption eines Produktes für ältere Menschen müssen neben körperlichen Einschränkungen auch die schwächer werdende kognitiven Fähigkeiten beachtet werden, da diese ein Nachlassen in der Informationsverarbeitung, des Gedächtnisses, so-

wie der Reaktionsfähigkeiten und der Koordination zur Folge haben. Die durch den Alterungsprozess verursachten körperlichen Leistungseinschränkungen haben Einfluss auf die Beweglichkeit, die Ausdauer oder die Kraft, mit der ein Produkt bedient werden kann. Nach der systematischen Zusammenstellung von Leistungseinschränkungen müssen diese in technische Anforderungen übersetzt werden. Dies ist der Einstiegspunkt für Produktentwickler, für definierte Aufgabenstellungen Lösungsansätze abzuleiten. Ferner ist es für die Konzeption der Module eines Produktes wichtig, die Ausprägung einer Leistungseinschränkung zu berücksichtigen, um diese in der Gestaltung und Anpassbarkeit frühzeitig umzusetzen. Diese Ausprägungen lassen sich in 5 Stufen klassifizieren, die mit der Funktionszuordnung zum Modularisierungskonzept korrelieren (Bild 37).

1. Wenn noch keine oder nur ansatzweise eine Leistungseinschränkung vorhanden ist und die Person noch selbständig leben kann, ist eine Unterstützung optional in das Produkt zu integrieren.
2. Ist die Person noch in der Lage, selbstständig zu leben, benötigt allerdings auf Grund des Ausbrechens einer Erkrankung, wie einer anfänglichen altersbedingten Fehlsichtigkeit, eine leichte Unterstützung (z.B. Vergrößerung der Schriftart), wird das entsprechende Modul optional/obligatorisch in die Produktstruktur eingebunden.
3. Bei weiterem Fortschreiten einer Leistungseinschränkung wie bei der Einschränkung von haptischen Fähigkeiten durch Arthritis, wird eine leichte Unterstützung benötigt (z.B. Anbringen von Hebehilfen), die obligatorisch in die Produktstruktur eingebunden wird.
4. Ist eine Leistungseinschränkung stärker ausgeprägt, so dass eine Unterstützung im Alltag benötigt wird, sind die abgeleiteten Anforderungen aus der Leistungseinschränkung stark zu priorisieren und als Teilfunktion im Produktes umzusetzen.
5. Als Hauptfunktion müssen die Anforderungen realisiert werden, die aus den Leistungseinschränkungen abgeleitet werden, die älteren Personen kein selbständiges Agieren mehr ermöglichen.

Die Berücksichtigung der Dimensionen der Lebensqualität wie Freude, Würde und Selbstständigkeit ist bei der Entwicklung von seniorengerechten Produkten essentiell. Dies erfolgt einerseits über die Funktionsfestlegung, da hierbei der Grad der Unterstützung festgelegt wird. Es muss überprüft werden, ob der Grad angemessen oder für eine Person entwürdigend ist. Andererseits sind die Dimensionen der Lebensqualität während des Produktentwicklungsprozesses immer wieder zu überprüfen.

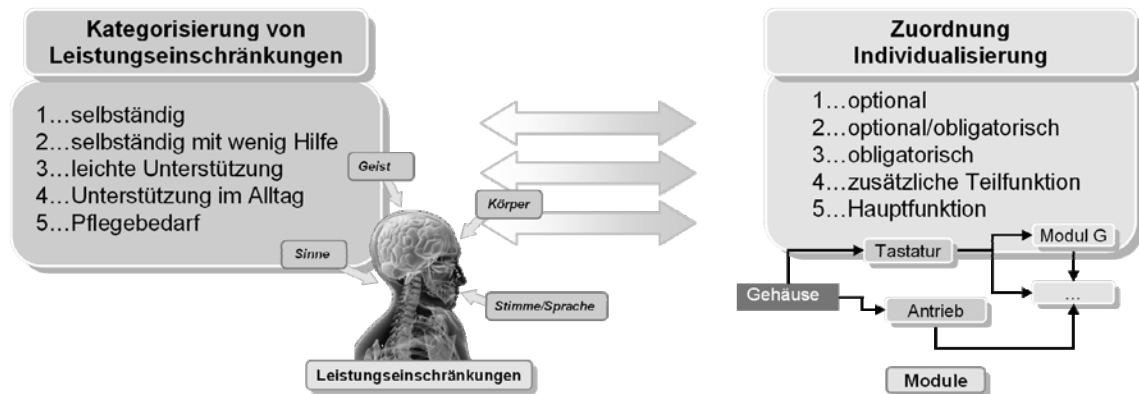


Bild 37 Verknüpfung von Leistungseinschränkungen mit Funktionszuordnung

Am Beispiel eines Rollators als typischen Vertreter für Produkte für leistungseingeschränkte Personen soll die Modularisierungsstrategie aufgezeigt werden. Der Einsatz eines Rollators erhöht die Mobilität von älteren Personen, die Probleme mit der selbständigen Fortbewegung haben.

Der Rollator soll so an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden können, dass er von verschiedenen Personen mit unterschiedlichen Leistungseinschränkungen verwendet werden kann. Ferner soll eine Anpassung an mehrere Leistungseinschränkungen vorgesehen werden. Es soll aber auch möglich sein, den Rollator bei veränderten Leistungseinschränkungen an einen Nutzer anpassen zu können, damit bei fortschreitender Krankheit oder Alterung kein neues Gerät, sondern lediglich neue Module angeschafft werden müssen. Vor Beginn der eigentlichen Produktentwicklung müssen die Nutzer identifiziert werden und die dazugehörigen Krankheitsbilder. In dem folgenden Beispiel soll auf zwei Nutzer eingegangen werden.

Nutzer A ist 68 Jahre alt, hatte eine Hüft-OP und leidet an alterstypischen Erscheinungen wie Nachlassen des Hör-, Sehvermögens und an Arthritis. Der 84-jährige Nutzer B verlässt seine Wohnung nicht mehr, da er sehr unsicher auf den Beinen ist. Er verwendet den Rollator ausschließlich in seiner barrierefreien Wohnung. Es folgt die Ableitung der relevanten Leistungseinschränkungen, indem aus den vorliegenden Krankheitsbildern die relevanten Leistungseinschränkungen abgeleitet werden. In diesem Beispiel führt die Begebenheit „Hüft-OP“, „Nachlassen des Hör-, Sehvermögens“ und „Arthritis“ dazu, dass körperliche Einschränkungen in der Beweglichkeit, Kraft, Ausdauer, Fingerfertigkeit, beim Hör- und Sehvermögen vorliegen. Den Produktentwicklern müssen diese Informationen vor Start der Produktentwicklung vorliegen, damit sie diese geeignet in der Gestaltung der Produktstruktur umsetzen können.

Gemäß der vorgestellten Vorgehensweise kann nun die Matrix zur Zuordnung/Ableitung von Leistungseinschränkungen zu Anforderungen ausgefüllt werden. In Bild 38 ist die Matrix auszugsweise für das Beispiel Rollator dargestellt.

Ausgehend von den vorliegenden Einschränkungen wurden die Anforderungen an einen Rollator abgeleitet, die sich aus der sensorischen und motorischen Nutzbarkeit ergeben. Durch diese systematische Aufgliederung der Leistungseinschränkungen und der dazugehörigen Anforderungen, können die Auswirkungen einer Veränderung in einer Einschränkung nachvollzogen werden.

So wird dem Entwickler transparent gemacht, wie sich beispielsweise eine Verschlechterung der Ausdauer einer Person auf die Anforderungen und letztlich auf die Lösungsansätze auswirkt. Diese Aufgliederung ist essentiell für die Findung einer geeigneten Modularisierungsstrategie.

Nach der Klärung der Anforderungen ist es notwendig, das Produkt in geeignete Module zu zerlegen, sowie deren Abhängigkeiten untereinander zu untersuchen. Dazu können die in Kapitel 4 beschriebenen Methoden, die Matrix von Pimmler und Eppinger, die MIM nach Erixon herangezogen werden. Die Matrix in Bild 39 zeigt die Methode nach Pimmler und Eppinger für einen Rollator. Ebenso wurde die MIM nach Erixon für das vorliegende Beispiel ausgefüllt (Bild 40).

Anforderungen Leistungseinschränkungen		Anforderungen									
		Geringes Gewicht	Bequemer Sitz	Höhenverstellbarkeit der Griffe	Winkelverstellbarkeit der Griffe	Austauschbarkeit der Griffaufsätze	Ablagemöglichkeit für Taschen	Einfache Montage/Demontage der Räder	Einfaches Zusammenklappen zum Transportieren	...	
Sinne	Sehen							↑	↑		
	Hören										
	Tastern/Fühlen		↑			↑		↑	↑		
	Riechen/Schmecken										
Körper	Beweglichkeit	↑		↑	↑	↑					
	Kraft	↑					↑	↑	↑		
	Ausdauer	↑	↑				↑				
	Fingerfertigkeit					↑		↑	↑		
	...										

Legende: ↑ Leistungseinschränkung bedingt Anforderung

Bild 38 Zuordnung/Ableitung von Leistungseinschränkungen zu Anforderungen am Beispiel eines Rollators (Stöber & Schmidt, 2010)

		1	2	3	4	5	9	10	6	8	7
Gestell	1		2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 0		2 0 0 0	2 0 0 0		2 0 0 0
Vorderräder	2	2 0 0 0		-2 0 0 0		2 0 0 0	1 0 0 0	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0
Hinterräder	3	2 0 0 0	-2 0 0 0			-2 0 0 0	-1 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0
Griffe	4	2 0 0 0				2 0 0 0	1 0 0 0				
Bremshebel	5	2 0 0 0	0 0 2 0	-2 0 0 0	2 0 0 0		1 0 0 0	0 0 2 0			
Bremsleitung	9		1 0 2 0	-1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0		1 0 1 0			
Bremsbacken	10	2 0 0 0	2 0 0 0	-2 0 0 0		0 0 2 0	1 0 1 0				
Sitzfläche	6	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0						-1 0 0 0	-1 0 0 0
Abdeckung Korb	8		-2 0 0 0	-2 0 0 0					-1 0 0 0		2 0 0 0
Korb	7	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0					-1 0 0 0	2 0 0 0	

Modul
Griff-Bremse

Modul
Sitz-Korb

Räumlich: R E : Energie
Information: I M : Material

Bild 39 Matrix nach Pimmler und Eppinger für einen Rollator (Stöber & Schmidt, 2010)

Bereich	Modultreiber	Gestell	Vorderräder	Hinterräder	Griffe	Bremshebel	Sitzfläche	Korb	Abdeckung Korb	Bremsleitung	Bremsbacken
Varianz	Technische Spezifikation	1	9	3	9	3	1	3	0	1	1
Qualität	Separates Testen	1	3	1	0	0	0	0	0	1	3
Beschaffung	Beschaffung	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
After Sales	Service/ Wartung	0	9	9	3	3	0	0	0	3	3
	Upgrading	0	9	9	9	3	3	0	0	3	9
	Recycling	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Handhabung	Handhabung	1	9	3	9	3	1	1	0	0	0
Anpassung	Veränderte Funktionserfüllung	1	9	3	9	9	0	0	0	0	0
Summe		4	49	29	40	23	6	5	0	8	17

Bild 40 MIM nach Erixon für einen Rollator (Stöber & Schmidt, 2010)

Durch diese methodischen Herangehensweise ist für den Rollator folgende Erkenntnisse zu gewinnen: Aus der Matrix nach Pimmler und Eppinger und der MIM nach Erixon lässt sich ablesen, dass sich die Griffe und das Bremssystem, sowie die Sitzfläche und der Korb als Module anbieten. Das Gestell des Rollators hat Verbindungen zu fast allen

anderen Elementen des Rollators. Es wird deshalb keinem Modul zugeordnet. Bei Veränderungen am Gestell muss immer der Einfluss auf die übrigen Elemente und Module berücksichtigt werden. Die Einteilung der Module erfolgt nach der Klärung der gegenseitigen Abhängigkeiten folgendermaßen: Gestell, Räder, Bremsen, Sitz, Griffe, Korb. Die Klärung der Abhängigkeiten muss auf der Ebene der Untermodule weitergeführt werden, um die Potentiale der Individualisierung aufzudecken. Beispielsweise kann das Modul „Bremsen“ in die Untermodule „Bremshebel“, „Feststellmechanismus“, „Bremsleitung“, „Befestigungseinheit“ und „Bremsbacken“ eingeteilt werden. Nun ist zu überlegen, welche Bindungen zwischen den Untermodulen sehr groß sind und ferner, welche Auswirkungen die Individualisierung dieser auf Modulebene hat. Im Fokus der sensorischen, kognitiven und motorischen Nutzbarkeit sind das beim Modul „Bremsen“ der „Bremshebel“ und der „Feststellmechanismus“.

Nach dem vorgestellten Vorgehen müssen nun die in Bild 41 aufgeführten Anforderungen an den Teilmodulen beachtet und in geeignete Lösungen umgesetzt werden. Liegen beispielsweise haptische und motorische Einschränkungen vor, kann als Lösung zur einfacheren Bedienung der Bremshebel in die Griffe integriert werden. Diese müssen an haptische Einschränkungen angepasst werden und je nach Größe, Gewicht und Körperhaltung der Person auch in der Höhe und im Winkel verstellbar sein.

Der Feststellmechanismus muss auf die jeweiligen Benutzer in Bezug auf den benötigten Kraftaufwand anpassbar sein. Außerdem muss der Feststellmechanismus so am Rollator platziert werden, dass auch Personen, die einen sehr eingeschränkten Greifradius oder Probleme mit dem Gleichgewicht (kein Fußpedal) haben, diese Funktion nutzen können.

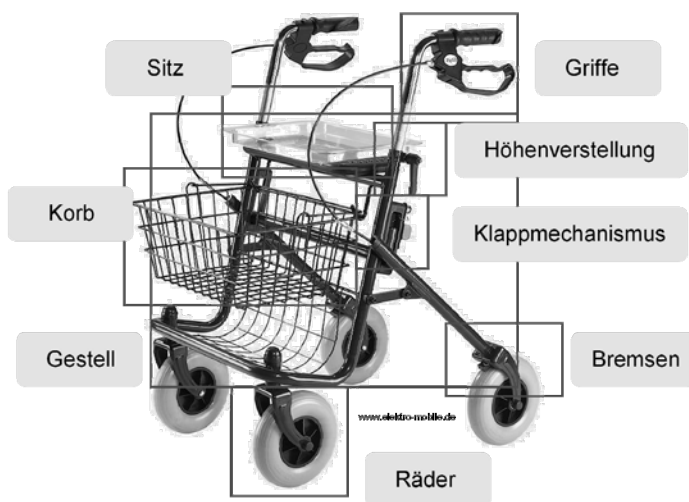


Bild 41 Module eines Rollators (Stöber & Schmidt, 2010)



Bild 42 Handgriff und Unterarmauflage als Varianten des Moduls Griff (Stöber & Schmidt, 2010)

Damit die Module problemlos ausgetauscht werden können, müssen die Schnittstellen betrachtet werden. Am Beispiel der Griffe und Bremshebel bedeutet das, dass der Durchmesser der Rohre, an denen sowohl Griffe als auch Bremshebel montiert werden gleich sein muss. Das gilt auch für verschiedene Varianten des Griffs (Bild 42), damit trotzdem für alle Griffe derselbe Bremshebel verwendet werden kann. In Bild 42 sind zwei mögliche Ausprägungen des Moduls Griff abgebildet. Links im Bild ist ein ergonomisch geformter Handgriff zu sehen. Dieser kann bei nachlassender Kraft in den Händen und Handgelenken durch eine Unterarmstütze (rechts im Bild) ersetzt werden, bei der der gesamte Unterarm aufgelegt und somit eine größere Stützwirkung erzielt werden kann.

3.3.3. Richtlinien und Katalog mit Leistungseinschränkungen

Ziel war es, Produktentwicklern während des Produktentwicklungsprozess Richtlinien zur Verfügung zu stellen, die in Abhängigkeit vom zu konstruierenden Produkt, den vorliegenden Leistungseinschränkungen und des aktuellen Prozessschrittes bereitgestellt werden. Gestaltungsrichtlinien liefern dem Produktentwickler Hinweise und Informationen bei der Entwicklung von Produkten. Gerade bei der seniorengerechten Produktentwicklung sind solche Richtlinien von besonderer hoher Relevanz, da die sensorischen, motorischen und kognitiven Einschränkungen bzw. ihre Folgen für den Umgang mit technischen Geräten und Systemen dem Produktentwickler oft nicht aus eigener Erfahrung bekannt sind.

3.3.3.1. Grundlagen über Richtlinien zur altersgerechten Gestaltung von Produkten

Um technisch hochwertige und innovative Produkte zu erhalten, ist die Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren unerlässlich. Durch den stetigen Wandel in der Technik und den steigenden Anforderungen der Kunden sind derart komplexe Aufgabenstellungen nur mit der Unterstützung von Methoden und Werkzeugen möglich. Der Verlauf der Entwicklung von komplexen Produkten basiert auf dem Treffen von Entscheidungen. Um unnötige Iterationen, Kosten und Mehraufwand zu vermeiden, ist es deswegen notwendig, die Produktentwickler in die Lage zu versetzen, sich die Auswirkungen aller Entwicklungsbedingungen, die Grundlage für ihre Entscheidungsfindung sind, zu vergegenwärtigen und in ihre Entscheidung mit einfließen zu lassen.

Richtlinien stellen Wegweiser dar, die während des Produktentwicklungsprozesses den Weg zur Verwirklichung möglichst vieler positiver Eigenschaften des Produktes und der angeschlossenen Prozesse aufzeigen (Bauer, 2003). Die Richtlinien beinhalten Hinweise zur Festlegung von Merkmalen, die die gewünschten Produkteigenschaften verwirklichen sollen. Zur Unterstützung von lebensphasengerechten Produkten ist in der wissenschaftlichen Welt ein Ansatz zu finden, der die verschiedenen Aspekte des Produktlebenszyklus abdeckt und durch Bereitstellung von Richtlinien unterstützt. Der Design for X (DfX) - Ansatz steht für eine Vorgehensweise, in welcher Methoden und Wissen genutzt werden, um das Produkt so zu gestalten, dass das Kriterium X oder der Bereich X unterstützt wird (Schäppi et al., 2005). DfX wird ferner als ein Wissenssystem bezeichnet, in dem die Erkenntnisse, wie einzelne Eigenschaften technischer Systeme beim Konstruieren zu erreichen sind, in geeigneter Form gesammelt und geordnet werden (Bauer, 2003). Auf dieser Grundlage hat sich der Begriff „Design for X“ (DfX) herauskristallisiert, unter dem alle Methoden, Strategien und Werkzeuge zusammengefasst sind, die es Produktentwicklern ermöglichen, verschiedene Aspekte und Einflüsse, die für ein Produkt in den verschiedenen Lebensphasen von Bedeutung sind, gleichzeitig in der Produktentwicklung zu berücksichtigen (Bauer, 2003; Hubka, 1996).

Es lässt sich eine Kategorisierung der DfX-Richtlinien in funktionsorientierte Richtlinien und Richtlinien, die Zielkriterien fokussieren, vornehmen (Andreasen, 2005). Die funktionsorientierten Richtlinien beinhalten Aspekte, die aus der Funktionsweise eines Produktes abgeleitet werden können (z.B. fertigungsgerechte Konstruieren). In Hilfestellungen für beispielsweise kostengerechtes Konstruieren werden Zielkriterien (z.B. Kosten) angesprochen.

Als Hilfestellung werden den Produktentwicklern knappe semantische Informationen zur Verfügung gestellt. Diese können durch bildliche Darstellungen untermauert werden. Eine in der Praxis übliche Darstellung beinhalten die „Gut-Schlecht“-Bilder (Pahl et

al., 2003), die den Entwicklern schnell das zu gewünschte Wissen vermittelt (Bild 43). Gerade in den späten Phasen ist eine konkrete DfX-Unterstützung mit DfX-Richtlinien bei der Ausarbeitung von spezifischen Bauteilen sehr hilfreich (Stechert et al., 2008).

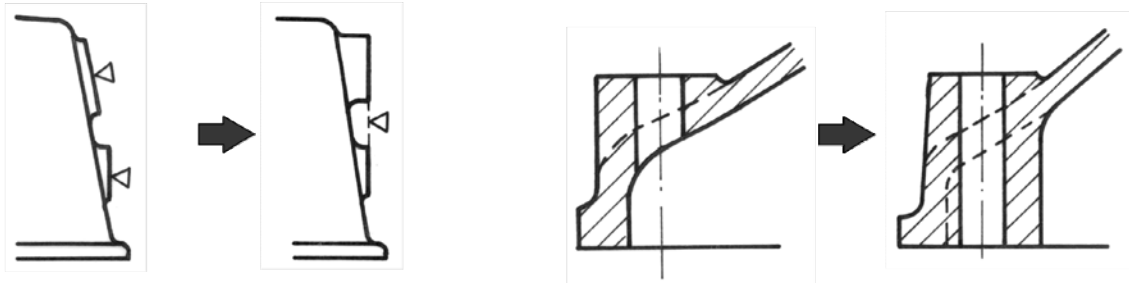


Bild 43 Gestaltungsrichtlinie für Bauteile aus Gusswerkstoffen (Pahl et al., 2003)

3.3.3.2. Richtlinien zur Gestaltung von Produkten für ältere Menschen

Je nach Ausprägung der sensorischen, motorischen und kognitiven Leistungseinschränkungen als Folgen von alterstypischen Krankheiten (z.B. rheumatische Erkrankungen, Altersweitsichtigkeit) kann der Alltag von Senioren beeinflusst werden. Die im Alter abnehmende Leistungsfähigkeit kann zu Barrieren in sehr vielen Bereichen des Lebens führen. Selbst in der gewohnten Umgebung und im eigenen Haushalt, stellen die tägliche Bedienung und der Umgang mit Haushaltsgeräten oft Hürden für Senioren dar. Eingeschränktes Sehvermögen macht das Erkennen klein gedruckter Buchstaben schwierig bis unmöglich. Kleine und eng beieinanderliegende Schalter und Stellteile machen aufgrund altersbedingter sensorischer und motorischer Einschränkungen eine sichere und zuverlässige Bedienung von Geräten des täglichen Gebrauchs schwierig. Bedienungsanleitungen, die für ein besseres Verständnis des Produktes sorgen sollen, sind oft sehr unübersichtlich und unverständlich gestaltet. Moderne multimediale Geräte sind durch eine verständliche und übersichtliche Menüführung und einfache Bedienung den Senioren zugänglich zu machen. Gerade bei neuen, modernen Geräten kommt es oft zu einer ablehnenden Haltung, da die neuartige Technik unverständlich erscheint und so in gewisser Weise eine Angst vor der, unter Umständen komplexen Bedienung entsteht. Der Umgang mit Haushaltsgeräten kann zahlreiche nicht auf den ersten Blick ersichtliche Schwierigkeiten hervorrufen (Biermann & Weißmantel. 2003).

Auf wissenschaftlicher und Unternehmensebene wird sich in Studien sowie in Projekte mit dem Verhalten und den Bedürfnissen der älteren Menschen befasst, um die Lebenssituation, den Alterungsprozess im Allgemeinen, die sozialen Auswirkungen, die Pflegeansätze und den Pflegebedarf der älteren Bevölkerung zu beschreiben. Die Einrichtungen kümmern sich hauptsächlich um die Förderung der Studien und Projekte

mit den Hauptzielen die Lebensqualität zu verbessern und die Selbstständigkeit der älteren Menschen mithilfe von moderner Technik zu bewahren. Im Folgenden wird ein Auszug an Studien sowie Projekten beschrieben, aus denen sich Richtlinien zur Gestaltung von Produkten ableiten lassen. Weitere Einrichtungen und Studien sind im Kapitel weiterführende Literatur zu finden.

Die interdisziplinäre Forschergruppe „Senta“ wird durch die Technische Universität Berlin, das Berliner Institut für Sozialforschung (BIS), das Deutsche Zentrum für Altersforschung in Heidelberg (DZFA), Universität der Künste Berlin (UdK), die Brandenburgische Technische Universität Cottbus (BTU) und das Zentrum Technik und Gesellschaft der TU Berlin (ZTG) unterstützt (Senta 2011). Senta will in der Entwicklung von Haushaltsgeräten eine stärkere Orientierung an den älteren Menschen schaffen, um nutzer- und produktbezogene Probleme zu beseitigen. Dieses Projekt beschäftigt sich hauptsächlich um benutzerorientierte Gestaltung von neuen Produkten, um die Lebensqualität oder die Selbstständigkeit der älteren Menschen aufrechterhalten oder sogar verbessert werden kann.

Der Regelkatalog SENSI, entwickelt von Prof. Dr.-Ing. Weißmantel und von Herrn Biermann (Biermann & Weißmantel. 2003), soll bei der Entwicklung und bei der Gestaltung von technischen Geräten helfen, um die Bedienbarkeit der Geräte vor allem für die älteren Menschen zu erleichtern. Des Weiteren hat der SENSI („Senioren und sicher“)-Regelkatalog als Ziel, die vorhandenen Geräte auf die „SENSI-Tauglichkeit“ zu überprüfen. Dieser Regelkatalog kann als ein Leitfaden für die Industrie angesehen werden, um die Bedienbarkeit der technischen Geräte zu verbessern und zu erleichtern, vor allem für die älteren Menschen. Diese Erleichterung oder Verbesserung hilft nicht nur den älteren Menschen, sondern auch den jüngeren Generationen. Die Regeln des Kataloges, sind auf alle technischen Geräte anwendbar.

TEKLA wurde vom Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen finanziert (TEKLA 2011). Es wurden Konzepte und Methoden entwickelt, die zu einer benutzerfreundlichen Technikgestaltung beitragen. Im Mittelpunkt standen die Bedürfnisse und Wünsche der Menschen im Alter von 55 Jahren plus. Die drei durchgeführten Teilprojekte „Technikkonzepte - Techniknutzung“, „Mobilität im Alter durch Fahrerassistenzsystemen“ und „häusliche Selbstständigkeit durch Medizintechnik“. Ebenso wie das Projekt Senta geht es hier um die benutzerfreundliche Technikgestaltung. Die entwickelten Methoden und Konzepte von TEKLA können in Richtlinien zusammengefasst werden.

Ein Ansatz, das „Universal Design“ (NC State University 2006) fokussiert das Design von Produkten und der Umgebung, so dass diese von allen, im größtmöglichen Ausmaß, ohne Anpassung oder spezielles Design, nutzbar sind. Sein Ziel ist es, die Lücke zwi-

schen den Anforderungen eines Produkts und den Fähigkeiten des Nutzers durch die generelle Reduzierung der Anforderungen zu verringern und auf diese Weise das Produkt möglichst vielen Nutzern zugänglich zu machen. Die individuellen Fähigkeiten der Menschen treten somit als Auswahlkriterium für die Nutzung eines Produkts oder die Teilhabe an den verschiedenen Lebensbereichen der Gesellschaft in den Hintergrund. Die sehr allgemein gehaltenen sieben Prinzipien des Universal Designs lauten:

- Equitable Use (Breite und gleiche Nutzbarkeit)

Das Design sollte für Menschen mit mannigfaltigen Fähigkeiten nutzbar und vermarktbar sein. Allen Nutzern müssen identische Nutzungsmöglichkeiten sowie gleichwertige Vorkehrungen für die Sicherheit zur Verfügung stehen. Das Design ist für alle gleichermaßen ansprechend zu gestalten und darf in keiner Weise zu Ausgrenzung oder Stigmatisierung von Nutzern führen.

- Flexibility in Use (Flexibilität in der Benutzung)

Das Design soll einer großen Bandbreite individueller Vorlieben und Möglichkeiten Rechnung tragen. Die Wahl der Nutzungsweise muss den Nutzern obliegen z. B. Zugänglichkeit für Rechts- und Linkshänder. Das Nutzungstempo muss durch die Nutzer vorgegeben werden können und so in ihren Ausführungen unterstützt werden.

- Simple and intuitive use (Einfache und intuitive Benutzung)

Die Benutzung des Designs soll für Nutzer leicht verständlich sein, ungeachtet ihrer Erfahrung, ihres Wissens, ihrer Sprachkenntnisse oder ihrer momentanen Konzentrationsfähigkeit. Das Design muss für die Nutzer intuitiv aufgebaut sein, ihren Erwartungen entsprechen und auf unnötige Komplexität jedweder Art verzichten. Informationen müssen entsprechend ihrer Wichtigkeit angeordnet sein und für eine große Bandbreite von Lesefähigkeiten und Sprachkenntnissen verständlich wiedergegeben werden. Auf die effektive Benutzerführung einschließlich Rückmeldungen ist während und nach der Anwendung zu achten.

- Perceptible information (Wahrnehmbare Informationen)

Das Design stellt den Nutzern notwendige Informationen effektiv zur Verfügung, ungeachtet der Umgebungssituation oder ihren sensorischen Fähigkeiten. Informationen müssen in verschiedenen Modi (bildlich, verbal, taktil) redundant wiedergegeben werden. Dabei sollen Unterscheidungsmerkmale so gewählt werden, dass diese anschaulich beschrieben werden können. Die bestmögliche Lesbarkeit muss ebenso wie die Kompatibilität zu einer Vielzahl der gängigen Hilfsmittel, die

von Menschen mit sensorischen Einschränkungen verwendet werden, gewährleistet werden.

- Tolerance for error (Fehlertoleranz)

Das Design minimiert Gefährdungen und negative Konsequenzen zufälliger oder unbeabsichtigter Aktionen. Das Design soll idealer Weise nur fehlersichere Funktionen enthalten. Elemente sind so anzuordnen, dass Gefährdungen und Fehler minimiert werden, indem häufig genutzte Elemente leicht zugänglich, und risikobehaftete Elemente eliminiert bzw. schwierig zugänglich gemacht werden. Vor Gefährdungen und möglichen Fehlern soll gewarnt werden. Unbewusstes Handeln bei Tätigkeiten, die besondere Wachsamkeit benötigen, ist zu unterbinden.

- Low physical effort (Geringer körperlicher Aufwand)

Das Design kann effizient und komfortabel mit einem Minimum an Ermüdung benutzt werden. Das Design muss den Nutzern ermöglichen bei der Anwendung eine neutrale Körperposition beizubehalten. Durch angemessene Betriebskräfte und die Vermeidung von Wiederholtätigkeiten wird die anhaltende körperliche Belastung minimiert.

- Size and space for approach and use (Format und Raum für Zugang und Nutzung)

Das Design sieht angemessene Größenordnungen und Raum für Zugang, Erreichbarkeit, Manipulation und Nutzung, ungeachtet der Körpergröße, der Haltung oder der Mobilität der Nutzer, vor. Jedem sitzenden oder stehenden Benutzer muss es möglich sein eine klare Sichtverbindung zu allen wichtigen Komponenten aufzubauen und diese komfortabel zu erreichen. Unterschiedlichen Handgrößen und Griffweiten sind dabei zu beachten.

Es ist anzustreben, diese Prinzipien zu beachten, allerdings müssen den Produktentwicklern für die detaillierte Ausgestaltung von Produkten konkretere Hilfestellung zur Verfügung gestellt werden.

Die Wichtigkeit der Einbeziehung der Altersgerechtigkeit in die Produktentwicklung spiegelt sich auch in vorhandenen Richtlinien und Normen wieder. Es sind hauptsächlich Richtlinien und Normen zu finden, die ergonomische Aspekte in den Mittelpunkt stellen. Im Folgenden ist eine Auswahl an Normen und Richtlinien aufgezählt. Weitere Richtlinien und Normen befinden sich im Kapitel Weiterführende Literatur.

Die DIN ISO 20282-1 (Einfachheit der Handhabung von Produkten des täglichen Gebrauchs – Teil 1: Gestaltungsanforderungen im Kontext von Anwendungs- und Benutzermerkmale) (DIN ISO 20282-1 2006), ist eine Vorversion. In Teil 1 werden Benutzermerkmale beschrieben, die bei der Gestaltung von Alltagsprodukten verwendet wer-

den. Des Weiteren werden die Bedürfnisse der älteren Menschen berücksichtigt. Diese Norm ist für die Entwickler von Alltagsprodukten gedacht, die vor allem auf die Gebrauchstauglichkeit achten. Es werden die Einfachheit der Handhabung definiert und beschrieben, wobei die Effektivität, die Effizienz und die Zufriedenstellung mit der Handhabung eine große Rolle spielen. Es ist vor allem wichtig, dass beim erstmaligen Benutzen eines Produktes die drei oben aufgeführten Hauptziele erreicht werden und somit das weitere Benutzen des Produktes sichergestellt wird. Im Weiteren wird auf die Überprüfung und die Dokumentation der Anforderungen eingegangen. Als erstes muss das Hauptziel, dann die Benutzermerkmale und der Hauptnutzungskontext identifiziert und dokumentiert werden. Die Auswirkungen jedes einzelnen Merkmals müssen bestimmt und letztendlich überprüft werden. Ferner wird auf den Anwendungskontext und Benutzermerkmale eingegangen, die sich in psychologische und soziale Merkmale, in körperliche und sensorische Merkmale und in demographische Merkmale gliedern. Bei den psychologischen und sozialen Merkmalen werden die kognitiven Fähigkeiten, das Wissen und die Erfahrung, die kulturellen Unterschiede, die Lese- und Schreibfähigkeit und die Sprache erläutert und auf die Anforderungen und Auswirkungen des Alltagsproduktes eingegangen. Die körperlichen und sensorischen Merkmale werden in Körpermaße, in biomechanische Fähigkeiten, in Sehfähigkeiten und in Hörfähigkeiten gegliedert. Bei den demographischen Merkmalen werden das Alter und das Geschlecht unterschieden. Diese drei Benutzermerkmale werden beschrieben, um die Einfachheit der Handhabung sicherzustellen. Die vorhandenen Beispiele in diesem Abschnitt weisen auf Schwierigkeiten oder Problemen hin, die Personen mit Leistungseinschränkungen haben können. Weiterführende Informationen zu den Benutzermerkmalen gibt es in dem Anhang A des Entwurfes.

Der DIN Fachbericht 131 (Leitlinien für Normungsgremien zur Berücksichtigung der Bedürfnisse der älteren Menschen und von Menschen mit Behinderungen) (DIN Fachbericht 131 2003) geht auf die seniorengerechte Produktgestaltung ein, indem die Bedürfnisse älterer Menschen erläutert werden. Diese DIN wurde für die Normungsorganisationen erarbeitet, um relevante Normen für alltägliche Produkte oder Dienstleistungen unter Berücksichtigung der Bedürfnisse älteren Menschen zu entwickeln. In diesem Leitfaden werden nur Anforderungen und keine Lösungen für die Nutzbarkeit dargestellt. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das den Normungsgremien bei der Entwicklung von Normen, in Bezug auf die Bedürfnisse der älteren Menschen, helfen soll. Tabellen für das Normungsgremium wurden zusammengestellt, um Faktoren festzustellen, die die Nutzung eines Produktes oder einer Dienstleistung beeinflussen. Des Weiteren sollen sie die unterschiedlichen Fähigkeiten der Menschen und deren Bedeutung erfassen. Diese Tabellen umfassen Themenbereiche wie Informationen, Verpackungen, Materialien, Installation, Benutzeroberfläche, Wartung, Lagerung und bauli-

che Umgebung. Ferner werden sensorische, motorische und kognitive Fähigkeiten und Leistungseinschränkungen genauer beschrieben. Des Weiteren wird auch noch auf Allergien eingegangen, da diese die Fähigkeiten und Tätigkeiten eines Menschen einschränken können. Diese DIN ist keine Richtlinie sondern ein Leitfaden, der helfen kann die neuen Richtlinien und Normen seniorengerecht und behinderungsgerecht zu gestalten und zu entwickeln.

Die Norm DIN 32977 (Behinderungsgerechtes Gestalten: Begriffe und allgemeine Leitsätze) geht speziell auf behinderungsgerechte Gestaltung ein (DIN 32977 1992), die für technische Erzeugnisse und nichtgegenständliche Maßnahmen entwickelt wurde. Es wird explizit erwähnt, dass bauliche Maßnahmen nicht in dieser Norm vorhanden sind, allerdings wird auf andere Normen verwiesen. Der Schwerpunkt liegt auf Leitsätzen für das behinderungsgerechte Gestalten. Die Leitsätze sind sehr allgemein gehalten.

Die Norm DIN 33402 (Ergonomie - Körpermaße des Menschen) besteht aus drei Teilen, die sich alle mit den Körpermaßen des Menschen beschäftigen (DIN 33402-1/-2/-3 2005/2005/1964). Der erste Teil befasst sich mit Begriffen und mit Messverfahren. Der zweite Teil der Norm befasst sich mit den Werten von den Körpermaßen. Es werden die Werte von Körpergewicht bis hin zu Pupillenabstand angegeben. Dazu werden Tabellen mit Durchschnittswerten aufgeführt, die in Altersgruppen und nach Geschlecht gegliedert sind. In dem dritten Teil geht es um den Bewegungsraum bei verschiedenen Grundstellungen und Bewegungen, was durch Bilder bzw. Graphen verdeutlicht wird. Beispielsweise wird der Bewegungsraum im Stehen mit Bewegungsbereichen für Oberkörper und Arme in einem Graphen abgebildet.

In der Norm DIN 33411 (Körperkräfte des Menschen) sind verschiedene Teile enthalten, die sich mit Körperkräften des Menschen beschäftigen (DIN 33411-1/-3/-4/-5 2007/1986/1999/1999). Zuerst werden Begriffe definiert und Zusammenhängen und Bestimmungsgrößen erläutert. Der dritte Teil handelt von den maximal erreichbaren statischen Aktionsmomenten männlicher Arbeitspersonen an Handrädern. Hierzu werden die Perzentile maximal erreichbarer statischer Aktionsmomente an Handrädern in einer Tabelle festgehalten. In dem vierten Teil geht es um die maximalen statischen Aktionskräfte. Dieser Teil besteht hauptsächlich aus Tabellen und Bildern, die die verschiedenen Kraftausübungen der Arbeitspersonen erläutern. Des Weiteren ist dieser Teil nur für männliche Arbeitspersonen gedacht worden. Ferner werden verschiedene Kraftausübungsfälle aufgeführt, für die Werte in weiteren Tabellen vorhanden sind.

Die Thematik der beiden letztgenannten Normen spielt in der Produktentwicklung eine große Rolle. Allerdings wird in diesen nicht auf die Belange und Leistungseinschränkungen älterer Personen eingegangen.

Zum Aufbau eines Datenbanksystems wurden vorhandene Richtlinien zur altersgerechten Produktgestaltung identifiziert und analysiert. Die Analyse bezog sich auf verschiedene Produktgruppen wie Haushaltsgeräte, Arbeitsplätze und Software Ergonomie. Es wurde untersucht, in welchem Rahmen Produktentwickler durch Richtlinien bei der Umsetzung von alterstypischen Leistungseinschränkungen unterstützt werden.

Die deutliche Mehrheit der Normen geht nicht direkt auf seniorengerechte oder barrierefreie Gestaltung ein. Die meisten Richtlinien behandeln die Themen Ergonomie und Arbeitssicherheit. Ein wesentliches Problem beim Aufstellen konkreter Richtlinien ist die Individualität der Einschränkungen und das möglichst genaue Eingehen auf die Vielfalt der zu berücksichtigenden Leistungseinschränkungen. Die Produktentwickler bekommen zwar genügend generelle Hinweise zur ergonomischen bzw. barrierefreien Gestaltung, konkrete Angaben bzgl. individueller Einschränkungen, an die er sich halten kann, liegen in den meisten Fällen nicht vor. Bei Beschriftungen und Stellteilen wird beispielsweise häufig die gute Lesbarkeit oder große Ausführung gefordert, exakte Angaben fehlen aber.

Zusammen mit Ärzten, medizinischem Fachpersonal, Psychologen und Sportwissenschaftlern sind die Leistungseinschränkung zu erfassen und unter Einbeziehung der Faktoren der Lebensqualität in technische Anforderungen umzusetzen. Aufbauend auf der Analyse der Richtlinien wurden Felder aufgedeckt, die nur unzureichend Unterstützung für den Entwickler von Produkten für leistungseingeschränkte Personen bieten. Tabelle 3 zeigt dies auszugsweise an dem Beispiel eines schnurlosen Telefons für kognitive Einschränkungen.

Die auftretenden Lücken sind durch die Entwickler sinnvoll abzudecken. Dazu ist es notwendig, dass Produktentwickler Hinweise bekommen, wie sie die entsprechenden konkreten Werte ermitteln können. Beispielsweise können zur Ermittlung von Kräften Menschsimulationen herangezogen werden. Ferner dient diese Methode zur Absicherung von entwickelten Konzepten. Außerdem ist es wichtig, dass Produktentwickler darauf hingewiesen werden, dass bei der Lösungsfindung auf andere Sinne ausgewichen werden kann, um eine Einschränkung zu kompensieren. Ist ein Sinn eingeschränkt, wird angestrebt, dass ein nicht beeinträchtigter Sinn, die Aufgabe des eingeschränkten Sinnes übernimmt (z. B. statt gedruckter Bedienungsanleitung akustische Unterweisung in Form einer beigelegten CD).

Tabelle 3 Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines schnurlosen Telefons

Schnurloses Telefon	kognitiv			
	Informationsverarbeitung	Gedächtnis	Reaktion	Koordination
Stellteile und deren Anordnung	Sensi DIN EN 894; DIN EN ISO 9241-4	Sensi DIN EN 894; DIN EN ISO 9241-4		Sensi DIN EN 894; DIN EN ISO 9241-4
Anzeigen und deren Anordnung	DIN EN ISO 10075	DIN EN ISO 10075		DIN EN ISO 10075
Farbe/Kontrast von Displays	DIN EN ISO 9241-8	DIN EN ISO 9241-8		DIN EN ISO 9241-8
Schrift und Bildzeichen für Informationen	DIN EN 894-3	DIN EN 894-3		DIN EN 894-3
Bedienungsanleitung, klare Sprache in schriftl. oder gesprochenen Informationen	DIN EN ISO 9241-12	DIN EN ISO 9241-12		DIN EN ISO 9241-12
Lautstärke und Tonhöhe von Signalen	Sensi; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 1			
Menüführung (siehe separate Tabelle zu Menüführungen und Softwareergonomie)	DIN EN ISO 13407, DIN EN ISO 14915	DIN EN ISO 13407, DIN EN ISO 14915		DIN EN ISO 13407, DIN EN ISO 14915

Zur Unterstützung der Entwickler in den Fragestellungen „Wann muss welche Richtlinie beachtet werden?“ und „Welche Erweiterungen müssen beachtet werden?“ wurde ein Datenbanksystem prototypisch umgesetzt. Als Datengrundlage dienen Normen, Richtlinien und Gestaltungshinweise. Am Anfang der Produktentwicklung ist es wichtig, für die jeweilige Nutzergruppe Nutzerprofile (siehe Kapitel 2) aufzustellen. Die vorliegenden Symptome können im Datenbanksystem ausgewählt werden.

In Abhängigkeit von dem aufgestellten Eigenschaftsprofil des Produkts, das abhängig von der Produktgruppe ist, kann eine entsprechende Eigenschaftsliste (siehe Anhang A) generiert werden, die beispielsweise in Gruppeninterviews gewichtet werden kann. Dieser Ansatz wurde mit Hilfe des Seniorenbeirates SENPRO in Zusammenarbeit mit Fit4Use validiert. Die Senioren testeten verschiedene Produkte. Die Filterfunktion er-

folgt über abgeleitete Nutzerprofile und der Eigenschaftsprofile in Abhängigkeit der Produktgruppe (Bild 44).

So können gewichtete Eigenschaftslisten erstellt werden, die Rückschlüsse auf die wichtigsten Produkteigenschaften geben. In Abhängigkeit dieser Faktoren werden den Produktentwicklern in Bezug seiner Tätigkeit im jeweiligen Prozessschritt die wichtigsten Richtlinien, Normen und Gestaltungshinweise (Bild 45).

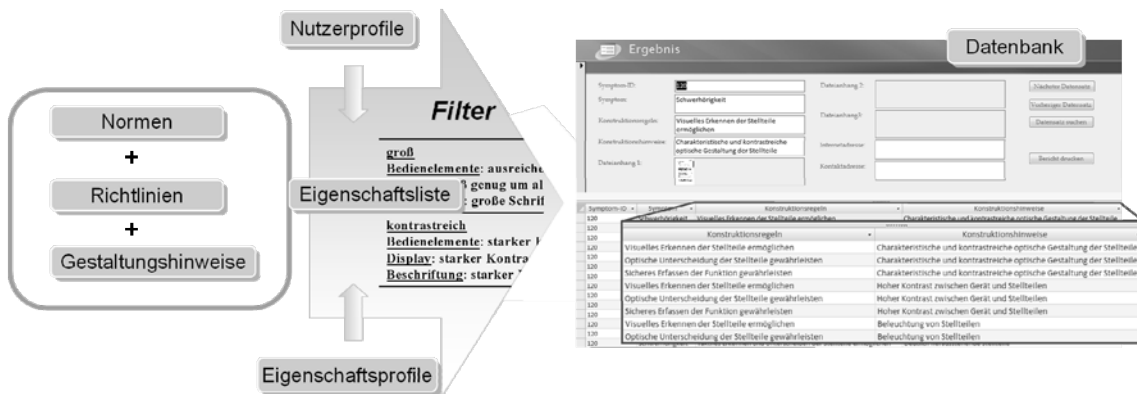


Bild 44 Datenbank mit Hilfestellungen für Produktentwickler

Symptom-ID	Symptom	Konstruktionsregeln	Konstruktionshinweise
120	Schwerhörigkeit	Visuelles Erkennen der Stellteile ermöglichen	Charakteristische und kontrastreiche optische Gestaltung der Stellteile
120		Optische Unterscheidung der Stellteile gewährleisten	Charakteristische und kontrastreiche optische Gestaltung der Stellteile
120		Sicheres Erfassen der Funktion gewährleisten	Charakteristische und kontrastreiche optische Gestaltung der Stellteile
120		Visuelles Erkennen der Stellteile ermöglichen	Hoher Kontrast zwischen Gerät und Stellteilen
120		Optische Unterscheidung der Stellteile gewährleisten	Hoher Kontrast zwischen Gerät und Stellteilen
120		Sicheres Erfassen der Funktion gewährleisten	Hoher Kontrast zwischen Gerät und Stellteilen
120		Visuelles Erkennen der Stellteile ermöglichen	Beleuchtung von Stellteilen
120		Optische Unterscheidung der Stellteile gewährleisten	Beleuchtung von Stellteilen

Bild 45 Übersicht über angezeigte Richtlinien

3.3.4. Prozessmodell für die Entwicklung von altersgerechten Produkten

Das folgende Kapitel stellt ein Prozessmodell vor, das die spezifischen Anforderungen der altersgerechten Produktentwicklung unterstützt. Das Prozessmodell baut auf dem FORFLOW-Prozessmodell auf und erweitert dieses um Methoden der nutzerzentrierten Produktentwicklung, d. h. Individualisierung, Modularisierung und Nutzereinbindung.

Das FORFLOW Prozessmodell ist ein Ergebnis des Forschungsverbundes FORFLOW (Bayerischer Forschungsverbund für Prozess- und Workflowunterstützung zur Planung und Steuerung der Abläufe in der Produktentwicklung). Der Verbund hatte sich zum Ziel gesetzt, der multidisziplinären Produktentwicklung eine dynamische Unterstützung zur Verfügung zu stellen. Das resultierende Modell ermöglicht, die notwendige Entscheidungsfreiheit und den kreativen Spielraum für die Produktentwickler zu erhalten, dabei aber dennoch eine zielgerichtete und situationsangepasste Führung durch den Produktentwicklungsprozess sicherzustellen. Diese Unterstützung wird durch ein flexibles Workflow-Managementsystem mit integrierter Wissensbasis, den sogenannten FORFLOW-Prozessnavigator, zur Verfügung gestellt. Damit dieser Navigator Produktentwicklern vielfältige und vor allem situationsangepasste Hilfestellung bieten kann, wurde als Grundlage das sogenannte FORFLOW-Prozessmodell entwickelt (weitere Informationen zum Prozessmodell unter mfk, 2010).

Das FORFLOW Prozessmodell gliedert sich in drei Ebenen (vgl. Bild 46; Krehmer et al., 2009; Krehmer et al., 2010). Die erste Ebene enthält sechs Hauptschritte, welche die gesamte Entwicklung vom „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ bis hin zum „Produktionsanlauf und -betreuung“ abdecken. In der zweiten Ebene werden diese Hauptschritte in detailliertere Schritte aufgegliedert, um schließlich in der dritten Ebene in insgesamt 86 Schritte unterteilt zu werden, durch welche die Produktentwickler durch den gesamten Produktentwicklungsprozess geführt werden. Um die Kreativität der Entwickler nicht einzuschränken, wird für die Schritte auf der untersten Ebene keine bestimmte Reihenfolge der Abarbeitung vorgeschrieben. Diese Schritte können somit auch simultan abgearbeitet werden.

Im ersten Schritt „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ wird bei vorliegender Aufgabe der Entwicklungsprozess gestartet. Der Kern dieses Schrittes ist, die notwendigen Informationen für die vorliegende Aufgabe zu beschaffen und die Aufgabenstellung zu abstrahieren. Die Identifikation der zu berücksichtigenden externen und unternehmensinternen Anforderungen (Merkmale, Eigenschaften und Funktionen in quantitativer und qualitativer Hinsicht), sowie zu beachtende Rahmenbedingungen, Eckter-

mine, der zu erzielende Nutzen und die Abschätzung der zu erwartenden Gesamtkosten an das zu entwickelnde Produkt wird in einem Lastenheft zusammengefasst.

Ist das Lastenheft erstellt, erfolgt die Freigabe zu Schritt 2 „Ermitteln von Funktionen und deren Struktur“. Hier werden die benötigten Funktionen ermittelt und eine Funktionsstruktur aufgebaut, indem die Abhängigkeiten und Verknüpfungen zwischen allen zu erfüllenden Funktionen hergestellt werden. In dem Prozessmodell sind stetig Punkte zur Überprüfung des Sachverhaltes eingebaut. Nach Erstellen der Funktionsstruktur wird überprüft, ob diese vollständig ist. Wird eine Unzulänglichkeit der Funktionsstruktur festgestellt, erfolgt ein Rücksprung zum Unterschritt „Funktionsstruktur aufbauen“. Falls die Funktionsstruktur der Überprüfung standhält, wird der Erkenntnisgewinn dieses Schrittes im Sinne von prozess- und produktbezogenen Best Practices dokumentiert.

Schritt 3 umfasst die „Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen“. Es werden für bestehende Teilprobleme bzw. Teilanforderungen vorhandene Lösungsmöglichkeiten gesucht. Dieser Schritt dient dazu, bereits vorhandene Lösungen aufzufinden und zu nutzen. Entlang des Prozesses sind für notwendige Iterationen Rücksprungpunkte in den Prozess eingebunden, die als Wieder-Einstiegstellen dienen (siehe mfk 2010). Wurden für die aktuellen Anforderungen passende Lösungsmöglichkeiten in anderen Projekten gefunden, erfolgt eine Prüfung zur Abdeckung aller Anforderungen.

Sind keine bekannten Lösungsmöglichkeiten vorhanden, werden zu den Teilfunktionen bzw. Anforderungen passende vorhandene Prinzipien zur Lösung gesucht. Falls auf Ebene der Lösungsprinzipien keine passenden Lösungen vorhanden sind, wird auf der Ebene der Wirkprinzipien nach entsprechenden physikalischen Effekten gesucht und entsprechende Lösungsprinzipien abgeleitet. Es folgt die Überprüfung der Anforderungen. Hierbei wird der Ist-Zustand des Produktes mit dem Sollzustand unter Anwendung der Anforderungsliste verglichen und somit die Anforderungserfüllung überprüft. Verläuft der Prüfung negativ, ist an dem Rücksprungpunkt F (bzw. G) wieder in den Prozess einzusteigen. Bei positiver Beurteilung werden die Teillösungsprinzipien strukturiert, sodass ein Ordnungsschema entsteht, das einen Überblick über die möglichen prinzipiellen Lösungen schafft (z. B. im morphologischen Kasten; Lindemann, 2007). Für die einzelnen Teilprobleme wird jeweils eine Variante ausgewählt, woraus sich – aus der Kombination dieser Auswahl – eine Gesamtkonzeptalternative ergibt.

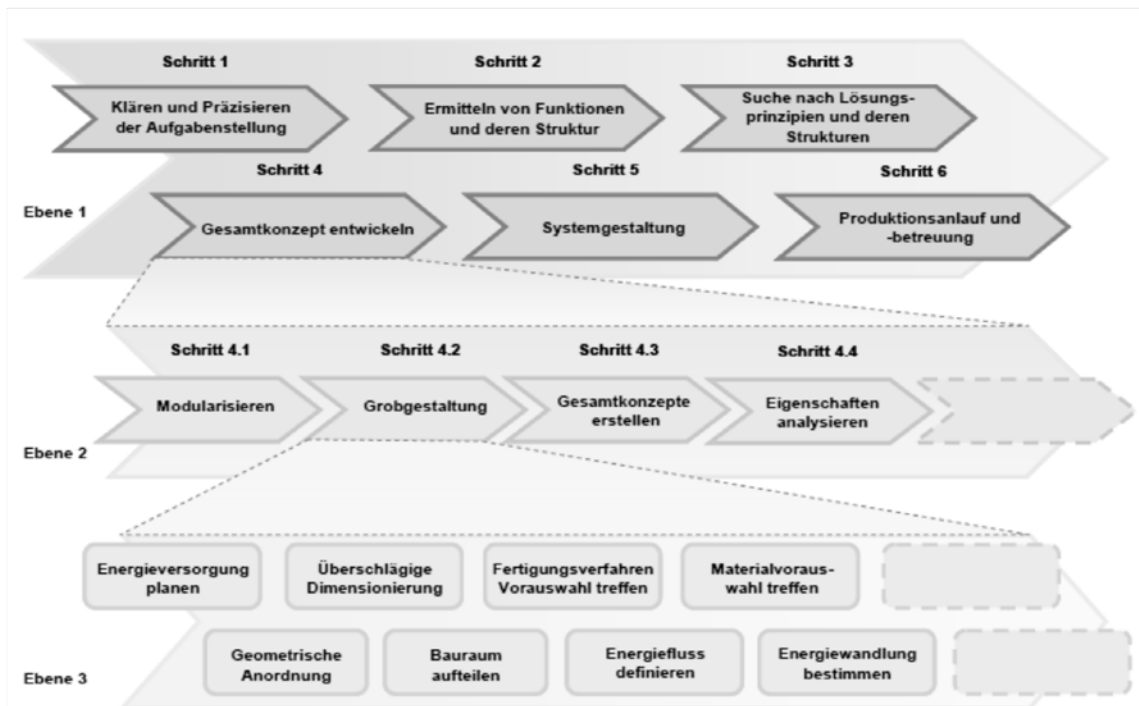


Bild 46 Aufbau des FORFLOW Prozessmodells (Krehmer et al., 2009)

Nach Erstellen der Gesamtkonzeptalternativen wird in Schritt 4 ein Gesamtkonzept entwickelt. In diesem Schritt wird der modulare Aufbau des Systems festgelegt, indem Hardwarebaugruppen und Softwaremodule definiert werden. Zur fehlerfreien Integration der einzelnen Module in die Gesamtstruktur und für die einwandfreie Interaktion zwischen den Modulen, müssen Produktschnittstellen festgelegt werden. Den Modulen werden domänenspezifische Verantwortlichkeiten zugeordnet, so dass jede Funktion bzw. Anforderung durch eine Domäne (Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik) umgesetzt werden kann. Bevor der nachfolgende Prozess domänenspezifische erfolgen kann, wird die modulare Struktur auf ihre Konsistenz hin geprüft, indem sie beispielsweise nach Dopplungen von Funktionen oder nicht verträgliche Schnittstellen untersucht wird. Falls eine Inkonsistenz auftritt, ist ein Rücksprung zu definierten vorangegangenen Schritten von Nöten (Rücksprungpunkte). Wenn eine Konsistenz der modularen Struktur sichergestellt ist, wird mit der Grobgestaltung fortgefahren. Dazu werden folgende Schritte parallel abgearbeitet:

- Energieversorgung planen:
Festlegung der zu verwendenden Energieart (z.B. elektrisch, mechanisch, chemisch, thermisch), Energiebereitstellung (z.B. mobil, stationär), ...
- Energiefluss definieren:
Identifikation des Energieeingangs/-ausgangs der einzelnen Module, Energieart, Energiemenge/Leistung, Verteilung u.a.

- **Energiewandlung bestimmen:**
Festlegung der Eingangs- und Ausgangsenergieart, Bestimmung der Art der Wandlung
- **Signalfluss definieren:**
Definition der Eingangs-/Ausgangsgrößen der einzelnen Module, Signalart, Leistung, Verteilung, Menge, Qualität u.a.
- **Signalverarbeitung festlegen:**
Festlegung der Verwendung einer Regelung oder Steuerung, Festlegung von Ort und Art der Signalverarbeitung, Software, elektronische Schaltungen, mechanische Signalweitergabe u.a.
- **Geometrische Anordnung:**
gegenseitige räumliche Positionierung der Module
- **Bauraum aufteilen:**
Festlegung der zulässigen Volumina für die Module ausgehend von dem Gesamtvolumen (Design) des Produkts
- **Überschlägige Dimensionierung:**
Auslegung und grobe Gestaltung der Module (Wandstärken, Durchmesser, ...)
- **Material-Vorauswahl treffen:**
Bewertung der benötigten Materialeigenschaften, zumindest Auswahl der Materialklassen für Module bzw. einzelne Bauteile
- **Fertigungsverfahren-Vorauswahl treffen:**
Bewertung verschiedener Fertigungsverfahren und Auswahl des am besten geeignete Verfahrens
- **Softwarekonzept erstellen:**
Definition der Softwarearchitektur, Definition der Programmiersprache u.a.

Nach der Grobgestaltung des Produktes, in der die wesentlichen Elemente des Gesamtsystems definiert, dimensioniert und dargestellt werden, beginnt die Erstellung der Gesamtkonzepte. Spätestens zu diesem Zeitpunkt im Prozess müssen für die einzelne Module Make- or Buy-Entscheidungen getroffen werden, um die nötigen Beschaffungsmaßnahmen einleiten zu können. An den erstellten Alternativen der Gesamtkonzepte werden Eigenschaftsanalysen durchgeführt, so dass die Reaktion des Systems auf Umwelteinflüsse und innere Wechselwirkungen aufgedeckt werden können. Zur Bewertung der Konzepte wird ausgehend von den ermittelten Eigenschaften eine Überprüfung der Anforderungen durchgeführt. Falls kein Konzept zufriedenstellte, sind Iterationen notwendig, die je nach vorhandener Güte der vorliegenden Lösun-

gen einen Rücksprung in den Schritt „Grobgestaltung“, „Modularisieren“, „Vorhandene Lösungsmöglichkeiten suchen“, oder „Klären der Anforderungen“ nach sich ziehen. Wenn mindestens ein Konzept positiv bewertet wird, erfolgt die Gesamtkonzeptauswahl, in dem auf Basis der Konzeptbewertung ein abgesichertes Konzept ausgewählt wird, das alle geforderten Funktionen und Anforderungen erfüllt. Als Abschluss des Schrittes 4 werden die Erkenntnisgewinne, Lösungsprinzipien und Produktschnittstellen systematisch strukturiert und dokumentiert, um die Entscheidungen für die gefundenen Lösungsprinzipien und Konzepte nachvollziehbar zu machen. Ferner werden durch die Festlegung der Produktschnittstellen und die domänenspezifische Zuordnung die klare Aufgabenverteilung, sowie die jeweiligen Ansprechpartner festgehalten. Im folgenden Schritt 5 wird die Gestaltung des Gesamtsystems vorgenommen. Es werden drei Ebenen unterschieden: die Bauteilebene, die Teilsystemebene und die Gesamtsystemebene. Die domänenspezifische Entwicklung der einzelnen Module läuft parallel ab. Der Start der Gestaltung des Gesamtsystems erfolgt mit der Gestaltung eines Bauteils oder mit der Teilsystemintegration. Wenn mehrere Bauteile eines Teilsystems gestaltet sind, werden diese in einem Teilsystem integriert (Rekombination der domänenspezifischen Komponenten). Derselbe Sachverhalt ergibt sich auf der Gesamtsystemebene, wobei fertig entworfene Teilsysteme zu einem Gesamtsystem integriert werden.

Der Ablauf auf den drei Ebenen (Bauteil, Teilsystem und Gesamtsystem) ist sehr ähnlich. Auf Bauteilebene wird mit der Gestaltung und Berechnung parallel begonnen, da dies ein Wechselspiel in der Konstruktion darstellt. Bei der Teilsystemintegration und Gesamtsystemintegration werden ebenfalls die Schritte Berechnung und Zusammenbau, in dem die Bauteile unter Berücksichtigung der vordefinierten Produktschnittstellen zusammengefügt werden, parallel abgearbeitet. Ein weiterer Schritt wird diesen parallel geschaltet, die Programmierung von Softwarekomponenten. Nach durchgeführter Bauteilgestaltung, nach der Teilsystemintegration oder nach der Gesamtsystemintegration ist eine Absicherung des entwickelten Systems notwendig, wobei Funktionserfüllung, mechatronische Integrationseigenschaften, Eigenschaften aus dem Lebenszyklus (Design for X; Meerkamm & Koch, 2005) und Kosten abgesichert werden. Ferner wird überprüft, ob die Wechselwirkungen Signal, Stoff und Energie berücksichtigt wurden. Falls notwendig, kann dies an einem physischen Prototyp erfolgen, ansonsten wird der Einsatz von Simulationen zur Eigenschaftsabsicherung und des Systemverhaltens bevorzugt.

Nach der Entwicklung des Produktes erfolgt die Produktion des Produktes, die in ihrem Anlauf betreut wird. Je nach Unternehmen und Produktgruppe sind die folgenden Schritte anzupassen. Orientiert an dem Automobilssektor wird die Produktion einer

Vorserie vorgeschlagen, bei der das Produkt kurz vor Markteinführung unter Serienbedingungen zur Überprüfung der endgültigen Serienreife hergestellt wird. Die Vorserie wird anhand der am Anfang des Entwicklungsprozesses aufgestellten Anforderungen bewertet. Je nach Bewertungsergebnis der Vorserie ist entweder eine Iterationschleife einzuschlagen (negative Bewertung) oder im Prozess fortzufahren (positive Bewertung → Serienfreigabe). Während der Nullserie wird das Produktionsvolumen nach und nach gesteigert und die Produktion bis zur geplanten Stückzahl pro Zeiteinheit hochgefahren. Je nach Bewertungsergebnis der Nullserie sind ebenfalls wie bei der Vorserie bei negativem Ergebnis die jeweiligen Rücksprungpunkte im Prozess aufzusuchen oder bei positivem Ergebnis mit der Produktion zu starten. Bei dem Start of Production wird das erste Produkt auf Serienwerkzeugen aus Serienteilen und unter Serienbedingungen (auch Stückzahl pro Zeiteinheit) gefertigt und auf den Markt gebracht. Die Produktentwicklung begleitet die Fertigung, um eine Optimierung der Fertigungsprozesse zu erreichen zur Verbesserung hinsichtlich der Zeit, Kosten und Qualität.

Das Prozessmodell mit den einzelnen Schritten ist unter mfk (2010) zu finden. Der Fokus des Forschungsverbundes FORFLOW lag auf der Beleuchtung verschiedener Aspekte aus den beteiligten Fachdisziplinen wie der Integration mechatronischer Aspekte, der situationsspezifische Prozessplanung, der Integration von Iterationen und Lessons Learned, DfX-Unterstützung, der Integration von CAx-Werkzeugen, der Absicherung der Produkteigenschaften auf mehreren Ebenen im Prozessmodell sowie der Integration von Simultaneous und Concurrent Engineering. Für Leser, die tiefer in diesen Prozess einsteigen möchten und Ansätze zur Bewältigung dieser Herausforderungen suchen, ist das Studium von Alber-Laukant (2008), Eckstein et al. (2009), Faerber et al. (2008), Krehmer et al. (2009, 2010), Krehmer et al. (2008), Lauer et al. (2008), Lauer (2010) und Roelofsen et al. (2008) zu empfehlen.

4. Methoden der altersgerechten Produktentwicklung im Prozessmodell

Christina Stöber, Bettina Williger, Harald Meerkamm & Frieder R. Lang

Um die Anforderungen und Bedürfnisse des höheren und hohen Erwachsenenalters erfolgreich bei der Entwicklung von altersgerechten Produkten zu berücksichtigen, ist es notwendig, entsprechende Methoden im Produktentwicklungsprozess zu verankern. Im Folgenden erfolgt eine Einordnung von gängigen Methoden der Nutzereinbindung und der Ingenieurwissenschaften in das beschriebene Prozessmodell (siehe Bild 47). Die beschriebenen Methoden sind exemplarisch ausgewählt worden, da sie weite Verbreitung finden, und sollen dem Leser eine Anregung geben, welche Hilfsmittel und Methoden für den Entwicklungsprozess zur Verfügung stehen. Das Prozessmodell lässt sich selbstverständlich um zusätzliche Methoden erweitern.

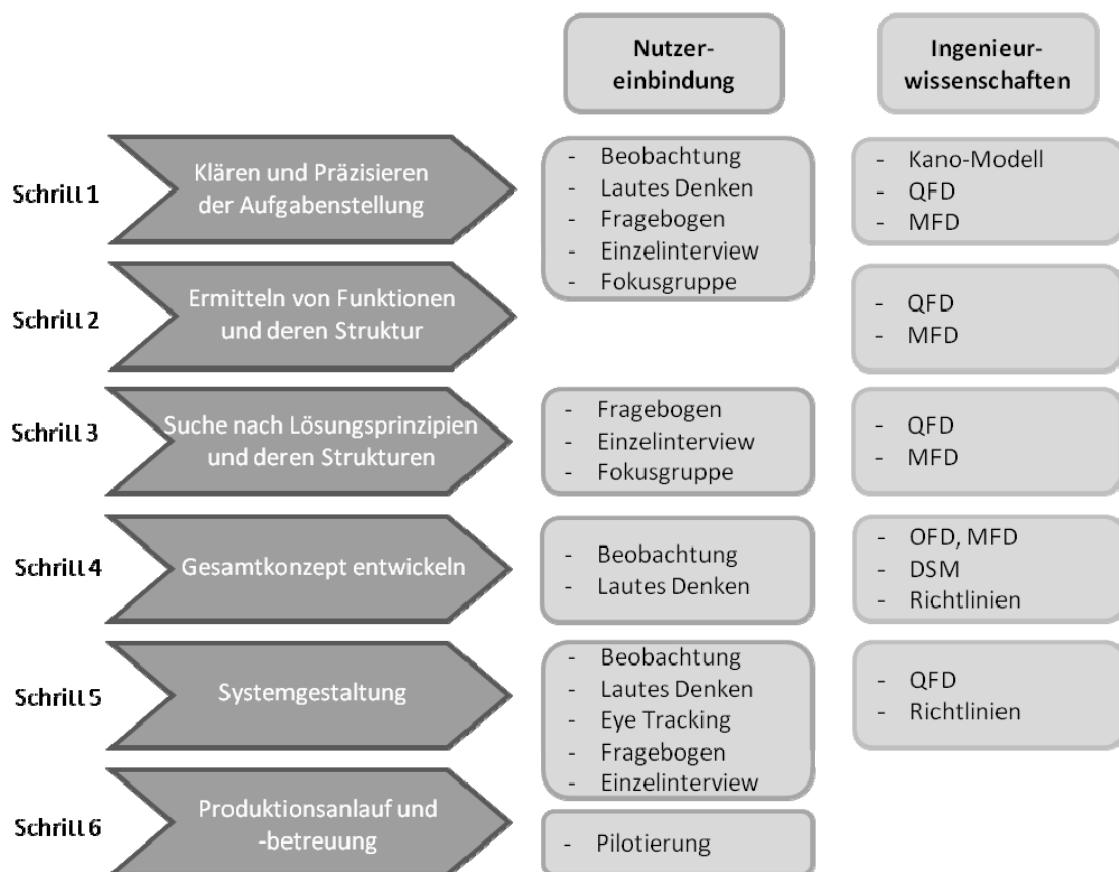


Bild 47 Einordnung der Methoden in das Prozessmodell

Im Folgenden wird das Prozessmodell um Prozessschritte für die altersgerechten Produktentwicklung erweitert und die Methoden in deren Abhängigkeit beschrieben. Eine detaillierte Einführung in Einsatzmöglichkeiten und Ziele im Produktentwicklungsprozess, praktische Durchführung, zu erwartende Ergebnisse und evtl. Stärken und Schwächen der jeweiligen Methoden findet sich in den Kapiteln fünf (Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaften) und sechs (Methoden der Nutzereinbindung).

Schritt 1: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

Der essentielle Schritt am Anfang jedes Entwicklungsprozesses ist das Klären der Anforderungen. Dabei werden die Randbedingungen festgelegt, die ein Produkt erfüllen muss. In dieser frühen Phase ist ein methodisch korrektes Erfassen der Anforderungen wichtig, da eine Nichterfassung von relevanten Anforderungen im weiteren Prozess zu kostenintensiven Iterationsschleifen führt (vgl. Kapitel 1). In einem ersten Schritt muss die Nutzergruppe festgelegt werden, für die das Produkt konzipiert werden soll, da von ihr relevante Anforderungen für das Produkt abgeleitet werden können. Ferner entscheidet sich in diesem Schritt, welcher Produktgruppe das zu entwickelnde Produkt angehört (z. B. Medizinprodukt, Haushaltsprodukt, Komfortprodukt). In Abhängigkeit der Produktgruppe wird ermittelt, welche zusätzlichen Nutzergruppen das Produkt verwenden könnten (z. B. im Haus lebende Angehörige, Pflegekräfte). Ferner ist festzulegen, welcher Support zum Beispiel bei Wartungsarbeiten angedacht wird. So stellt das Wechseln von Batterien bei guter Ausgestaltung der Produkte möglicherweise kein Problem dar, das Aufspielen von Software-Updates dagegen schon. In diesem Zusammenhang ist zu überlegen, ob Dienstleistungen (z. B. zentraler Support von Updates über Netzwerk oder Servicestellen) parallel zu dem Produkt entwickelt werden können. Schließlich stellt auch die Beschreibung der Kompetenzprofile der adressierten Nutzer einen zentralen Punkt in dieser Entwicklungsphase dar.

Den Methoden der Anforderungsanalyse liegt ein prädiktives Vorgehen zugrunde, das heißt Entwickler, potentielle Nutzer oder auch Nutzervertreter versuchen, auf Basis ihrer Informationen über die Zielgruppe vorausschauend zu bewerten, wie gut das Produkt angenommen und verwendet wird (vgl. Gediga & Hamborg, 2002). Das Wissen um die Bedürfnisse und Wünsche von Personengruppen im höheren und hohen Erwachsenenalter liegt nicht in der Kernkompetenz von Produktentwicklern. Deswegen ist es notwendig, dass Produktentwickler im Team mit Zielgruppenvertretern, wie beispielsweise Medizinern, Psychologen, Gerontologen, medizinischem Fachpersonal und Sportwissenschaftlern, aus Nutzerbedürfnissen technisch verwertbare Anforderungen generieren (Bild 48). In diesem Zusammenhang werden insbesondere einstellungsba-

sierte Methoden wie Einzelinterviews, Fokusgruppen oder Fragebögen genutzt. Darüber hinaus lassen sich entsprechende Informationen auch über die Beobachtung oder Befragung der adressierten Zielgruppe generieren. Dieses Vorgehen eignet sich insbesondere bei Variantenkonstruktionen, denn in diesem Zusammenhang lassen sich Erfahrungen mit der Nutzung von Vorgängerprodukten erfragen bzw. die Nutzung dieser Produkte direkt beobachten (deskriptives Vorgehen).

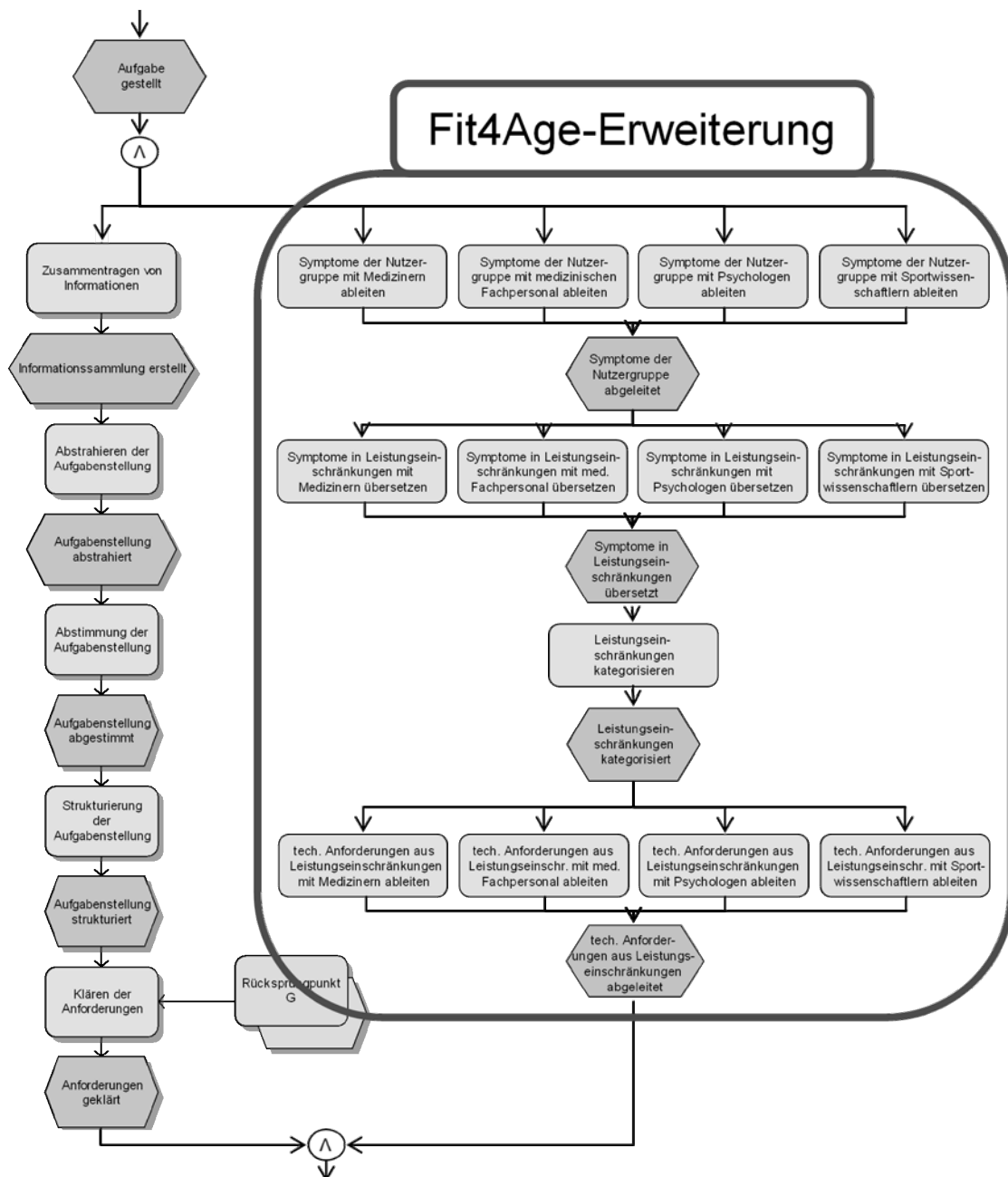


Bild 48 Übersetzung von Nutzerbedürfnissen in Anforderungen

Was die Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaft betrifft, so lassen sich im Rahmen der Anforderungsanalyse beispielsweise das Kanomodell oder die prozessbegleitende Methode Quality Function Deployment (QFD) einsetzen. Ein Einsatz des QFD bietet sich bei einer Neukonzeption von Produkten an. Der Vorteil des Quality Function Deployment besteht darin, dass Kundenanforderungen und -erwartungen erfasst, bewertet und in Produktmerkmale umgewandelt werden. Ebenso ist eine Berücksichtigung bzw. ein Vergleich mit Produkten von Mitbewerbern möglich. Dadurch können Produktmerkmale und -eigenschaften von Mitbewerbern abgesetzt bzw. differenziert werden. Beim Kano-Modell steht die Qualität von Produktmerkmalen im Fokus, bzw. eine Bewertung deren Erfüllungsgrade. Durch die Anwendung dieser Methode wird ein Bild der vorhandenen Produktqualität aus Sicht der Zielgruppe erstellt. Das Kano-Modell bietet sich daher bei der Weiterentwicklung von bereits auf dem Markt existierenden Produkten an (Regius, 2006). Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse können, unabhängig von der Methode, aus der sie resultieren, direkt in das Lastenheft einfließen. Dieses enthält alle Anforderungen der Zielgruppe an das zu entwickelnde Produkt. Im weiteren Produktentstehungsprozess stellt es stets die Referenz von bereits erreichten Punkten mit den Zielvorgaben dar.

Schritt 2: Ermitteln von Funktionen und deren Struktur

Der Prozessschritt der Funktionsermittlung wird in der Entwicklung alternsgerechter Produkten um einen Teilschritt erweitert (siehe Bild 49).

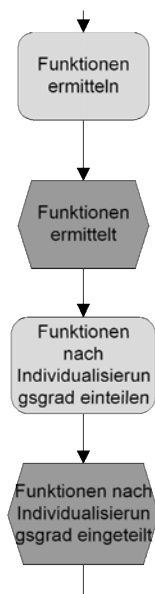


Bild 49 Zuordnung von Funktionen zu Nutzerbedürfnissen

Die Funktionen des Produktes müssen bereits in diesem Schritt an die in Schritt 1 erfassten Nutzerbedürfnisse (Sensorik, Motorik, Kognition, Selbstregulation) angepasst werden. Da die Produkte auch auf die Veränderung von Nutzerbedürfnissen ausgelegt werden sollen (vgl. Kapitel 2; Plastizität und Heterogenität der menschlichen Entwicklung), sollte dies in der Produktstruktur verankert werden. Um einen modularen Aufbau vorzubereiten, ist die Zuordnung der Funktionen in Abhängigkeit der Nutzerbedürfnisse notwendig. Die Unterstützung kann optional, optional/obligatorisch, obligatorisch, als Teilfunktion oder als Hauptfunktion in das Produkt eingebunden werden. Im Hinblick auf die Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaften können die Methode QFD und die Methode Modular Function Deployment (MFD) zur Vorbereitung der Moduldefinition in diesem und im nächsten Schritt eingesetzt werden.

Schritt 3: Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

Nachdem mögliche Lösungsprinzipien ermittelt wurden, sollten diese frühzeitig hinsichtlich der Nutzerbedürfnisse und -wünsche bewertet werden (Bild 50). Gerade in diesem Schritt können die Methoden der Nutzereinbindung wichtige Erkenntnisse liefern.

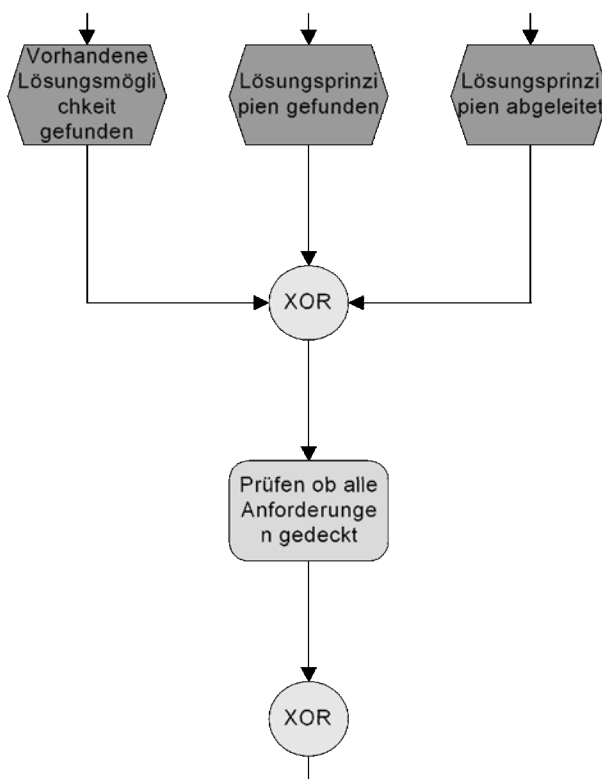


Bild 50 Bewertung von Lösungsprinzipien

Allerdings ist eine Einbindung der primären Nutzergruppe in dieser frühen Phase der Produktentwicklung häufig kontraindiziert. Nutzertests, die auf der Basis von Szenarien oder frühen Prototypen abgehalten werden, führen gerade bei technikunerfahrenen oder gesundheitlich stark belasteten Teilnehmern nicht unweigerlich zu der gewünschten Reliabilität und Validität der Evaluation. In diesem Entwicklungsstadium bietet es sich demnach an, ausschließlich technikerfahrene Endnutzer (die möglicherweise bereits über Evaluationserfahrung verfügen) oder aber Nutzervertreter, die die Bedürfnisse der Zielgruppe gut kennen (z. B. Mediziner, Psychologen, Gerontologen, Pflegewissenschaftler und Pflegekräfte, Angehörige, näheres soziales Umfeld der Betroffenen; vgl. Heeg et al., 2007), einzubinden. Da die einzelnen Funktionalitäten noch nicht ausgestaltet sind und demnach nicht unmittelbar erprobt werden können, finden in dieser Phase insbesondere Gruppeninterviews oder Befragungen Einsatz.

Schritt 4: Gesamtkonzept entwickeln

Zu Beginn dieses Schrittes erfolgt die Modularisierung des Produktes. Dabei greift das in Kapitel 3.3 beschriebene Vorgehen. Der modulare Aufbau erlaubt die Individualisierung des Produktes für einzelne Zielgruppen (Bild 51). In diesem Zusammenhang werden fixe und variable Bereiche in der Produktstruktur definiert, die eine Anpassung des Produktes an die Nutzerbedürfnisse ermöglichen.

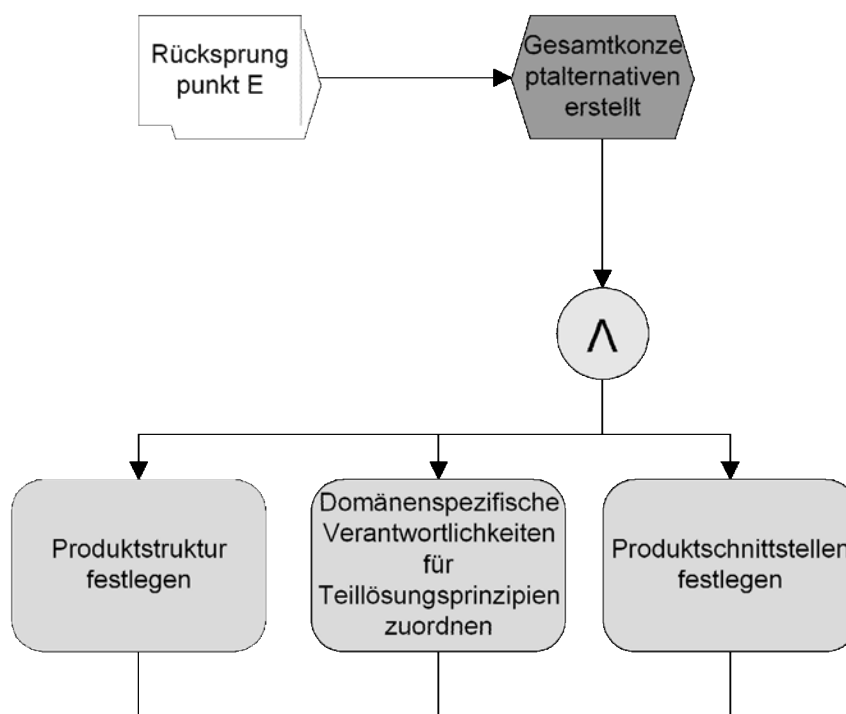


Bild 51 Modularisierung

Für die Einteilung von Modulen, der Schnittstellung und Abhängigkeiten stehen Methoden wie die Modular Function Deployment nach Erixon und die Integration Analysis of Product Decompositions mit der Design Structure Matrix (DSM) nach Pimmler und Eppinger zur Verfügung (siehe Kapitel 3). Ein besonderes Augenmerk muss auf die Festlegung der Schnittstellen gelegt werden, da diese einen Austausch von Modulen ermöglichen sollen. Mittels geeigneter Methoden muss geprüft werden, ob der festgelegte modulare Aufbau den Bedürfnissen der Nutzergruppe entspricht (Teilschritt „Modulare Strukturen auf Konsistenz prüfen“).

Die Evaluation erfolgt auf Basis von Simulationen (z. B. Wizard of Oz, Virtual Reality) und Demonstratoren, wobei die konkrete Erprobung und Bewertung des Gesamtsystems im Fokus steht. Da die einzelnen Funktionalitäten in diesem Entwicklungsstadium zumeist nicht fehlerfrei und robust umgesetzt werden können, wird empfohlen ausschließlich technikerfahrene Endnutzer (mit Evaluationserfahrung) oder Nutzervertreter einzubinden und in ihrer Interaktion mit den Systemkomponenten bzw. dem Gesamtsystem zu beobachten (vgl. Beobachtung, lautes Denken). Auf diese Weise lassen sich grobe wie auch spezifische Systemfehler detektieren und die Anforderungen an die Ausgestaltung der Produkte priorisieren.

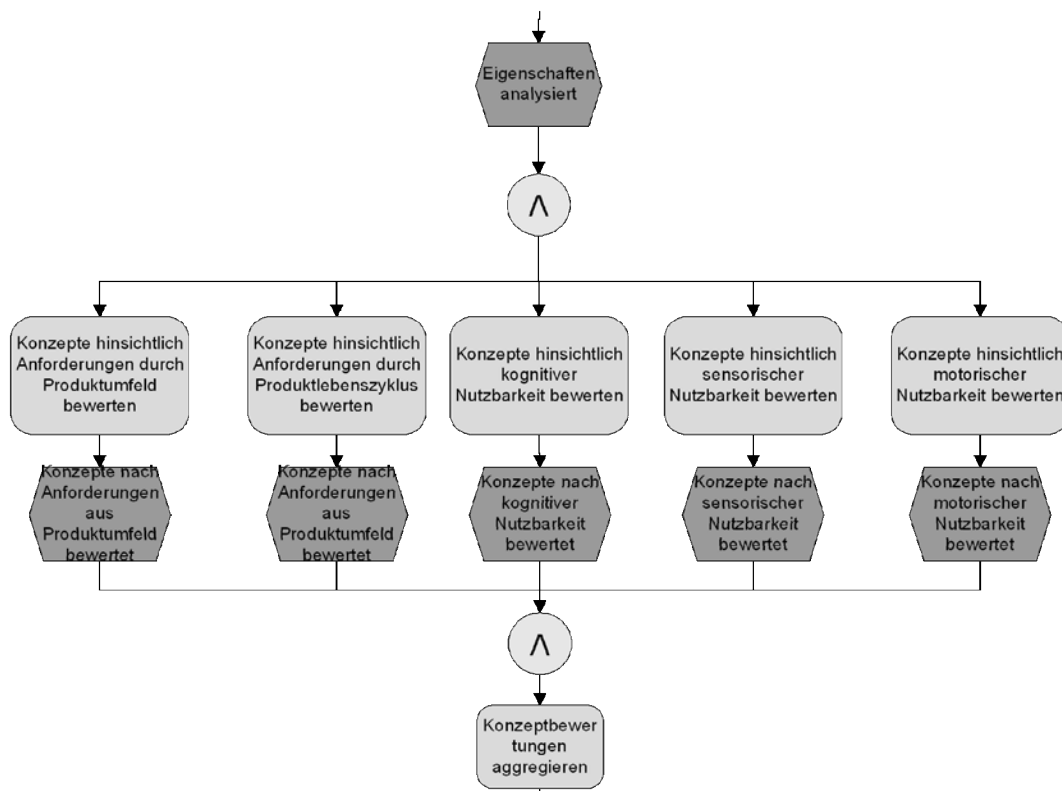


Bild 52 Evaluation des Gesamtsystems

Darüber hinaus lassen sich Menschsimulationen für die Bewertung der Lösungen hinsichtlich sensorischer, motorischer oder kognitiver Kriterien einsetzen (vgl. Bild 52). Beispielsweise kann mittels VR-Technik ermittelt werden, ob eine ältere Person in der Lage ist, bestimmte Kräfte z. B. für eine Handkurbel aufzubringen (vgl. Krüger & Stockinger, 2011) zu finden. Außerdem können beispielsweise durch Computerunterstützung (z. B. ANSYS; CADFEM, 2011) Bewegungsabläufe eruiert werden.

Schritt 5: Systemgestaltung

Dieser Schritt beinhaltet die Bauteil- und Teilsystemgestaltung sowie die Gesamtsystemintegration. Bei der Ausarbeitung der Bauteile und Teilsysteme werden die Produktentwickler durch Richtlinien unterstützt. In Abhängigkeit der jeweiligen Nutzergruppe, der Produktgruppe und den gewünschten Eigenschaften des Produktes werden Normen, Richtlinien und Hilfestellungen zu Verfügung gestellt. Das im Rahmen von FitForAge erarbeitete Datenbanksystem (siehe Kapitel 3) stellt den Entwicklern die Normen und Richtlinien bedarfsgeleitet bereit.

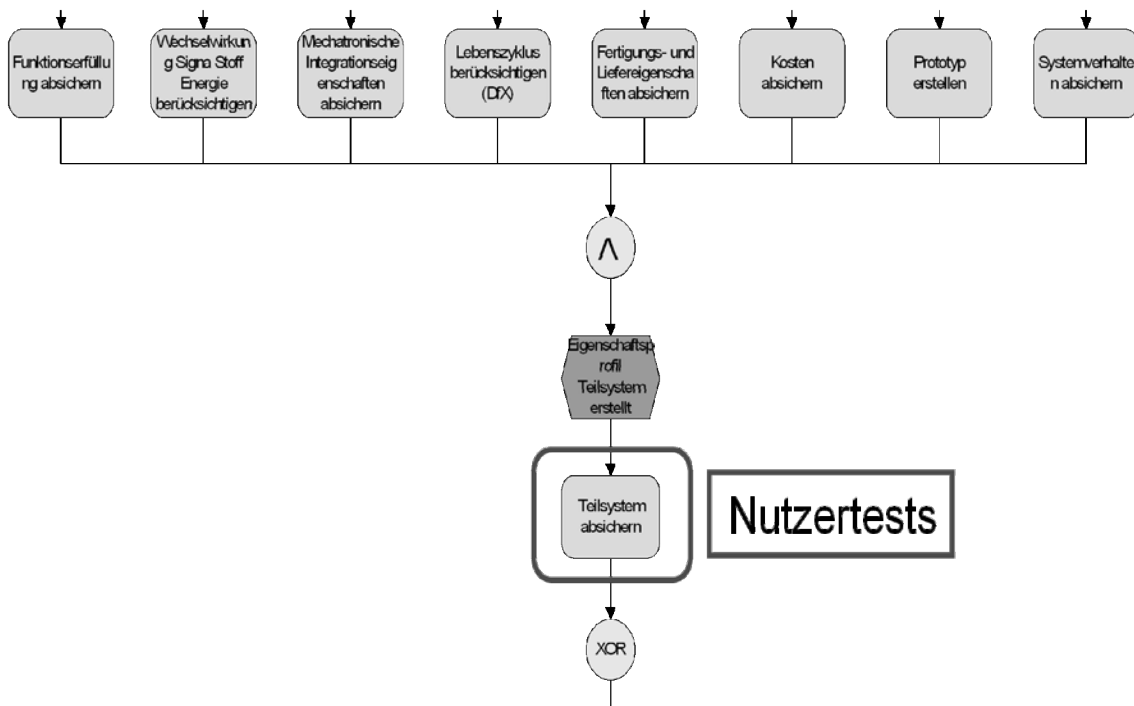


Bild 53 Einbindung von Endnutzern zur summativen Evaluation

In diesem Entwicklungsstadium sollte der Prototyp als Gesamtsystem voll funktionsfähig sein und als solches evaluiert werden (summative Evaluation). An dieser Stelle sollten erstmals unerfahrene oder gesundheitlich belastete Nutzer in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, da erst auf dieser Bewertungsgrundlage verlässliche Rückmeldungen zu erwarten sind. Hinsichtlich der Methodenwahl bietet sich ein rein deskriptives Vorgehen an. Die Evaluation erfolgt insbesondere mittels verhaltensbasierter Methoden, d. h. Beobachtung, lautes Denken oder Eye-Tracking, welche durch einstellungsbasierte Methoden (Fragebogen, Einzelinterview) ergänzt werden können. Auf diese Weise lassen sich grobe und spezifische Systemfehler detektieren, Funktionalitäten und Einstellungen gezielt für einzelne Personengruppen priorisieren (was wiederum für das Modularisierungskonzept genutzt werden kann) sowie Aussagen bezüglich der Akzeptanz und Nutzung des Produktes in der Zielgruppe treffen.

Schritt 6: Produktionsanlauf und -betreuung

Bei der Auftragserteilung werden die zu individualisierenden Module an die Bedürfnisse und Wünsche der Zielgruppe angepasst (Bild 54). Die fixen Bereiche des Produktes können auftragsunabhängig vorproduziert werden. Dies wird in der Unternehmensstrategie und Produktstrategie festgelegt. Nach Ausarbeitung der individualisierten Module im variablen Bereich können auch diese Bauteile und Teilsysteme gefertigt werden. Mit der Fertigstellung des Produktes kann eine Pilotierung im Feld erfolgen. Dabei wird geprüft, inwieweit die Individualisierung den Bedürfnissen der Nutzergruppe entspricht und die gewünschte Wirkung erzielt (vgl. Kapitel 2.2). Werden Mängel oder Verbesserungsmöglichkeiten festgestellt, lassen sich diese über eine Rekursion zu Schritt 5 beheben bzw. in das Gesamtsystem einbringen.

Im Folgenden werden die skizzierten Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaften und der Nutzereinbindung hinsichtlich der primären Ziele für die Produktentwicklung, des methodischen Vorgehens, der zu erwartenden Ergebnisse bzw. Ergebnisdimensionen und eventueller Stärken und Schwächen im Detail erläutert. Nichtsdestotrotz kann der hier vorgestellte Leitfadens nur einen Einblick in die dargestellten Methoden geben. Für die Durchführung von konkreten Untersuchungen wird die Lektüre der weiterführenden Literatur empfohlen.

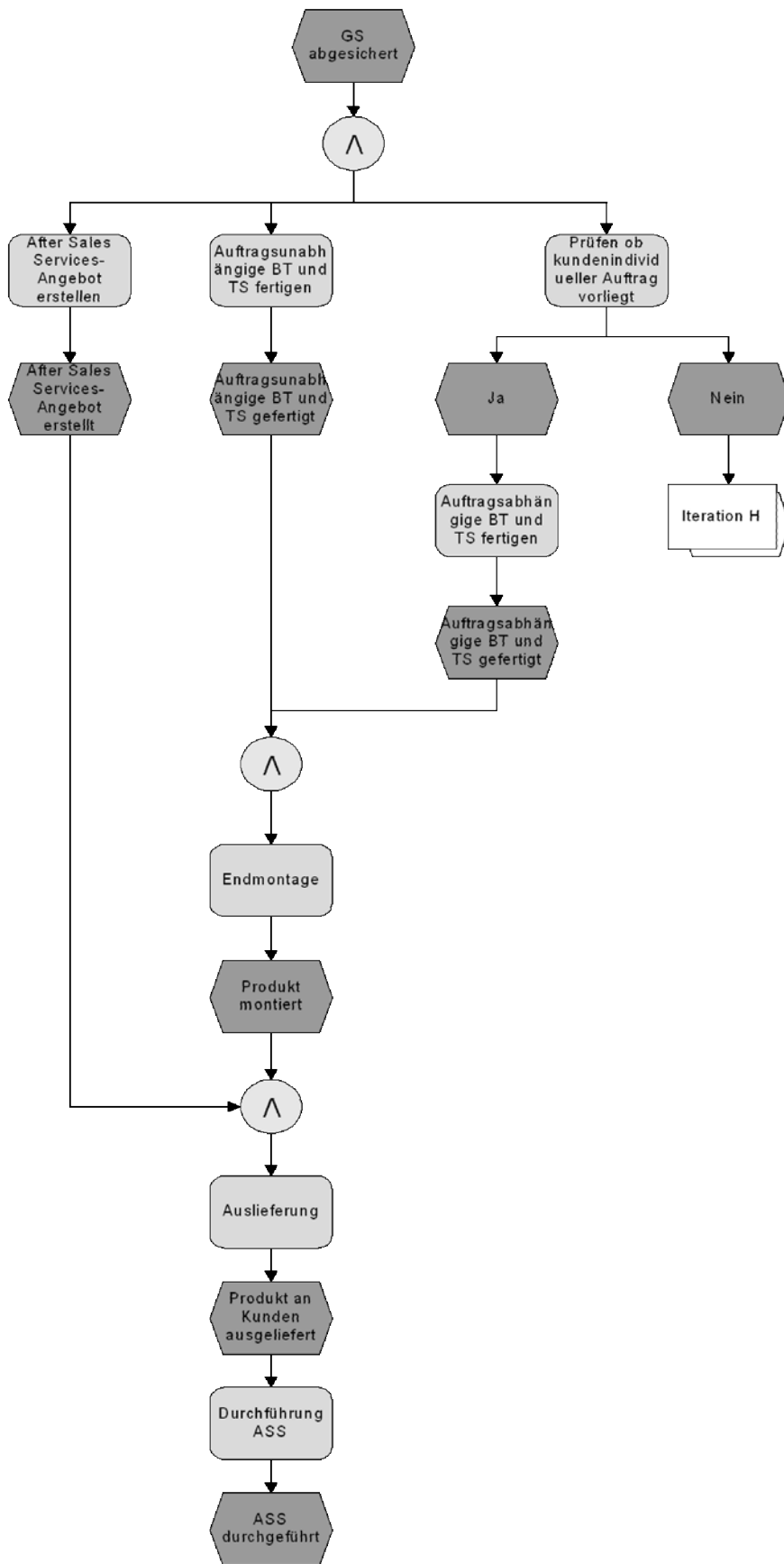


Bild 54 Produktionsanlauf und -betreuung

5. Methoden und Werkzeuge der Ingenieurwissenschaften

Christina Stöber & Harald Meerkamm

Zur Erleichterung der Umsetzung der vielfältigen Anforderungen an Produkte für ältere Menschen sollen im Folgenden exemplarische Methoden und Werkzeuge vorgestellt werden, die aus den Ingenieurwissenschaften hervorgegangen sind. Die angegebene Literatur wird zur Vertiefung der Kenntnisse empfohlen. Die Methoden dienen zur Anregung der Entwickler, methodische Unterstützung in ihre tägliche Arbeit einzubinden.

Die Basis jeder Entwicklung ist die Anforderungserhebung zur Erfüllung der Kundenwünsche. Für den Markterfolg eines Produktes ist daher die genaue Kenntnis der Erwartungen und Anforderungen des Kunden an ein Produkt nötig. Da sich eine präzise Erfassung der Kundenwünsche, -erwartungen und deren Übersetzung in konkrete Produkteigenschaften und -merkmale sehr komplex gestaltet, ist der Einsatz geeigneter Methoden unumgänglich. Die Wünsche der Kunden sind in ihrer Formulierung oft sehr diffus und widersprüchlich. Zur Lösung dieses Problems in der Produktentwicklung werden im Folgenden an erster Stelle zwei Methoden vorgestellt, die eine analytische und strukturierte Anforderungsanalyse ermöglichen (Kano-Modell, Quality Function Deployment).

5.1. Kano-Modell

Ende der 70er Jahre wurde das Kano-Modell von Dr. Noriaki Kano in Tokio entwickelt. Diese Methode eignet sich für die Entwicklung von Qualitätsstrategien von bereits auf dem Markt vorhandenen Produkten. Für die Durchführung dieser Methode ist ein umfangreiches Wissen über die Eigenschaften eines Produktes, sowie der daraus resultierenden Kundenzufriedenheit erforderlich (Regius, 2006). Kundenanforderungen können im Rahmen der Produktprofilplanung strukturiert und ihr Einfluss auf die Zufriedenheit des Kunden ermittelt werden. Das Kano-Modell eignet sich insbesondere bei komplexen Produkten mit einer großen Anzahl von unterschiedlichen Kundenanforderungen (Sauerwein, 2000).

Das Kano-Modell dient zur Darstellung der Kundenzufriedenheit über dem Erfüllungsgrad der einzelner Kundenwünsche und -anforderungen (Bild 55). Hierbei werden in einem Bereich von jeweils 0 % (nicht erfüllt) bis 100 % (voll erfüllt) auf der X-Achse der Erfüllungsgrad der Produktfunktionen und auf der Y-Achse die Kundenzufriedenheit dargestellt.

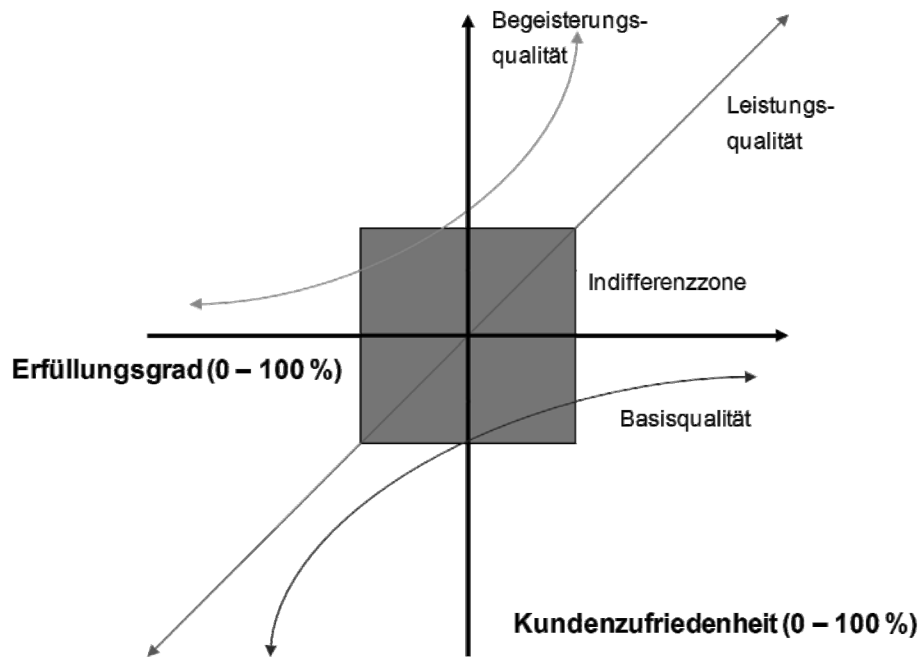


Bild 55 Kano-Modell (Sauerwein,2000)

Durch diese Aufteilung resultieren vier Quadranten, in denen die unterschiedliche Wirkung bestimmter Produkteigenschaften/-merkmale auf den Kunden beschrieben wird. Die Indifferenzzone begrenzt den Bereich, in welchem Produktmerkmale vom Kunden weder als besonders gut noch als besonders schlecht bewertet werden.

Im Kano-Modell werden bezüglich der Kundenzufriedenheit drei Anforderungsfaktoren unterschieden (Regius, 2006):

- Basisanforderungen reflektieren grundlegende und selbstverständliche Eigenschaften des Produktes, die vom Kunden beim Produkterwerb vorausgesetzt werden (implizite Erwartungen). Eine Erfüllung der Basisanforderungen erzeugt keine große Kundenzufriedenheit, aus einer Nichterfüllung resultiert jedoch große Kundenzufriedenheit. Eine Nutzensteigerung zur Gewinnung von Marktvorteilen ist nur gering wie der Rostschutz bei Automobilen.
- Leistungsanforderungen bzw. Qualitätsanforderungen sind dem Kunden bewusst, sie beschreiben die Art und Weise, mit der die Basisanforderungen erfüllt werden. Der Kunde achtet darauf, „wie“ seine Ansprüche an ein Produkt erfüllt werden. Das Ausmaß des Erfüllungsgrades kann sich im gesamten Spektrum der Kundenzufriedenheit von 0 % bis 100 % niederschlagen. Zur Differenzierung von Mitbewerbern ist eine Optimierung dieser Produkteigenschaften empfehlenswert, da derartige Qualitätsunterschiede durchaus vom Kunden realisiert werden (z. B. Fahreigenschaften von Automobil).

- Begeisterungsmerkmale sind Produkteigenschaften, mit denen der Kunde nicht unbedingt rechnet, die aber bei diesem für Begeisterung sorgen. Solche Funktionen werden dem Kunden ungefragt angeboten, bzw. verkauft. Sie werden daher auch erst später erkannt und positiv registriert. Das Produkt kann durch diese besonderen Eigenschaften scharf von der Konkurrenz abgegrenzt werden, eine kleine Leistungssteigerung führt zu einer überproportionalen Nutzensteigerung (Sonderausstattung, besonderes Design).

Allerdings durchlaufen im Laufe der Zeit, bedingt durch den technischen Fortschritt, die Kundenanforderungen an ein Produkt einen Wandel. Die geforderten Eigenschaften verändern sich. Ein Begeisterungsmerkmal verwandelt sich über den Schritt Leistungsanforderung schließlich in ein Basismerkmal (Sauerwein, 2000). Ein typisches Beispiel hierfür ist der Airbag. Wurde diese Ausstattung vorerst nur bei Fahrzeugen der Oberklasse angeboten und war anfangs ein „Sicherheits-Highlight“, zogen andere Automobilhersteller nach, bis ein Fahrerairbag zunächst optional, später serienmäßig in allen Fahrzeugklassen erhältlich war. Autos ohne Fahrerairbag sind nicht mehr verkäuflich. Ähnliche Effekte traten bei Beifahrerairbags und dem Anti-Blockier-System auf.

Über die Zeit wird ein unverändertes Produkt im Kano-Modell immer in den dritten Quadranten des Koordinatensystems wandern. Das Ziel eines Unternehmens ist es, die Produkte im ersten Quadranten zu platzieren. Um Kundensegmente zu gewinnen und eine hohe Kundenzufriedenheit zu erzielen müssen Produktentwickler demnach immer neue Produkte mit innovativen Ideen und Produkteigenschaften hervorbringen (Regius, 2006).

Schritt 1: Identifikation von Kundenanforderungen

Zur Ableitung einer nutzbaren Qualitätsstrategie aus dem Kano-Modell werden umfangreiche Kundendaten der heutigen Produkte benötigt. Zur Beschaffung dieser Informationen stehen mehrere Quellen zur Verfügung (Masing, 1999): Einerseits dienen dabei Reparaturdaten des Kundendienstes zur Ermittlung von sog. „harten Fehlern“ - einem Versagen der Basisfunktionen des Produkts. Je häufiger ein solcher Funktionsausfall auftritt, desto weiter wandert dieses Merkmal in den dritten Quadranten des Kano-Modells.

Anhand von Beschwerden des Kunden über Mängel oder Unzulänglichkeiten des Produkts, werden Daten bestimmter Merkmale gesammelt, die nicht unmittelbar einen Produktfehler darstellen. Solche Fehler werden auch als „weiche Fehler“ bezeichnet und beschreiben Mängel wie z.B. die Unzufriedenheit des Kunden mit Form, Gestalt oder Farbe des Produktes.

Diese Daten werden zusätzlich anhand von Kundenbefragungen gesammelt und ausgewertet. Ziel ist die Kenntnis aller verkaufsrelevanten Eigenschaften eines Produktes. Folgende Fragenkomplexe werden dabei angesprochen (QM-INFOCENTER, 2007):

- Was assoziiert der Kunde mit der Verwendung von Produkt X?
- Welche Probleme/Ärgernisse/Beschwerden verbindet der Kunde mit der Verwendung von Produkt X?
- Welche Kriterien berücksichtigt der Kunde beim Kauf des Produktes X?
- Welche neuen Eigenschaften oder Serviceleistungen können die Erwartungen des Kunden noch besser erfüllen?
- Was würde der Kunde am Produkt X ändern?

Schritt 2: Konstruktion des Kano-Fragebogens

Die Formulierung der Fragen beim Kano-Fragebogen erfolgt aus Kundensicht und gibt eine Beschreibung des zu lösenden Problems wieder. Zu jeder Eigenschaft des Produkts werden zwei Fragen einmal in funktionaler Form (Reaktion des Kunden bei Vorhandensein einer bestimmten Produkteigenschaft) und einmal in dysfunktionaler Form (Reaktion des Kunden beim Fehlen der entsprechenden Produkteigenschaft) gestellt, zu denen es jeweils fünf abgestufte Antwortmöglichkeiten gibt (QM-INFOCENTER, 2007):

1. Das begeistert mich.
2. Das ist normal (das erwarte ich).
3. Das ist mir egal.
4. Damit kann ich eventuell leben.
5. Das würde mich sehr stören.

Durch eine Kombination und einen Vergleich der beiden Antworten anhand einer Auswertungstabelle können die Kundenanforderungen klassifiziert und eine Einstufung in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen vorgenommen werden.

Schritt 3: Durchführen von Kundeninterviews

Zur Durchführung von Kundeninterviews gibt es eine Reihe von Befragungsformen. Beim Kano-Modell kommen dabei insbesondere standardisierte, mündliche Interviews zum Einsatz. Durch die Vorgabe der Fragen und Antwortmöglichkeiten wird die Einflussnahme des Interviewers stark reduziert (QM-INFOCENTER, 2007).

Schritt 4: Auswertung und Interpretation

Die Vorgehensweise bei der Auswertung des Fragebogens erfolgt in mehreren Schritten. In einer Tabelle werden die positiven (funktionalen) und negativen (dysfunktionalen) Antworten des Fragebogens bezüglich einer Merkmalsausprägung zueinander ins Verhältnis gesetzt. Steht zu einem bestimmten Produktattribut eine sehr positive Antwort („Das begeistert mich.“) bei der funktionalen Frage, einer sehr negativen Antwort („Das würde mich sehr stören.“) bei der dysfunktionalen Frage gegenüber, ergibt sich für dieses Merkmal eine Leistungsanforderung. Zum Erzielen von Begeisterungsqualität beim Kunden würde sich eine Investition in die Entwicklung dieser Merkmalsausprägung lohnen. Allerdings ist diese Methode nicht geeignet, Kundenanforderungen in technische Anforderungen zu erheben. Dazu kann das Quality Function Deployment (QFD) eingesetzt werden.

5.2. Quality Function Deployment (QFD)

QFD ist ein Instrument zur methodischen Qualitätsplanung und kann im Produktentstehungsprozess durchgängig von der Produktplanungs- und -entwicklungsphase bis hin zur Serienreife des Produktes eingesetzt werden. Ein fachübergreifendes Projektteam, bestehend aus ca. 5 Personen, bearbeitet und koordiniert unter der Leitung eines QFD-Koordinators (Pfeifer, 1993) die einzelnen Ablaufschritte des Quality Function Deployment (QM-INFOCENTER, 2007). Zielsetzung der Produktentwicklung ist die Erfüllung der Wünsche und Erwartungen der Kunden an ein Produkt. Im Zuge des technischen Fortschritts verändern sich stetig die Anforderungen des Kunden an bestimmte Produkteigenschaften und -merkmale. Mit Hilfe der Methode des „Quality Function Deployment“ können die Ansprüche und Wünsche des potentiellen Kunden an ein Produkt und dessen Qualität erfasst werden. Zudem werden diese nach ihrer Wichtigkeit geordnet, miteinander verknüpft und in technisch umsetzbare physikalische Produkteigenschaften/-merkmale übersetzt. Zur Dokumentation und Visualisierung der Ergebnisse dient das sog. „House of Quality“ auch „Qualitätshaus“ oder „QFD-Formblatt“ genannt. Durch Anwendung dieser Methode wird somit Qualität gezielt nach den Anforderungen des Marktes geplant. Aufgrund der starken Kundenorientierung wird die Gefahr von Fehlentwicklungen reduziert.

Der folgende Abschnitt behandelt die vier aufeinander folgenden Phasen bei der Durchführung des QFD (Bild 56), sowie die Vorgehensweise bei der Erstellung eines House of Quality (Bild 57) und die einzelnen Arbeitsschritte zum Gewinnen der nötigen Informationen. In den vier Phasen des QFD werden in jeder Phase die Fragen „WAS wird gefordert?“ und „WIE werden dieser Forderungen erfüllt?“ gestellt (Bild 56). Die

Ergebnisse (WIE), bzw. die Ausgangsdaten einer Phase dienen der jeweils darauf folgenden als Eingangsdaten (WAS). So werden z.B. beim „Qualitätsplan Produkt“ Produktmerkmale ermittelt, die für den Kunden eine sehr hohe Bedeutung haben, sog. kritische Produkteigenschaften/-merkmale. Im „Qualitätsplan Konstruktion“ gilt es nun, diese kritischen Produkteigenschaften/-merkmale in Konstruktionseigenschaften/-merkmale umzusetzen und diese wiederum hinsichtlich ihrer Bedeutung zu bewerten. Dieses System kann somit auch als ein gekoppeltes Black-Box-Modell angesehen werden. Für den Produktentwickler sind hierbei insbesondere die ersten beiden Phasen wichtig (QM-INFOCENTER, 2007). Die vier Phasen des QFD werden im Folgenden beschrieben.

Schritt 1: Ermitteln der Kundenanforderungen „WAS“

Als erstes wird ein abteilungsübergreifendes QFD-Team zusammen mit einem Moderator gebildet (Weckenmann, 2006). Die Anforderungen des Kunden an ein Produkt werden möglichst detailliert ermittelt. Dies geschieht z.B. durch neutrale Kundenbefragungen, Vertriebs- und Serviceerfahrungen, Händlerhinweise, oder die direkte Konfrontation des Kunden mit einem neuen Produkt. Hierbei besteht die Möglichkeit auch ähnliche oder Konkurrenzprodukte untereinander zu vergleichen und Bewertungen abzugeben. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in den Produktentwicklungsprozess mit ein, aus den Kritikpunkten werden Verbesserungsvorschläge formuliert (Regius, 2006).

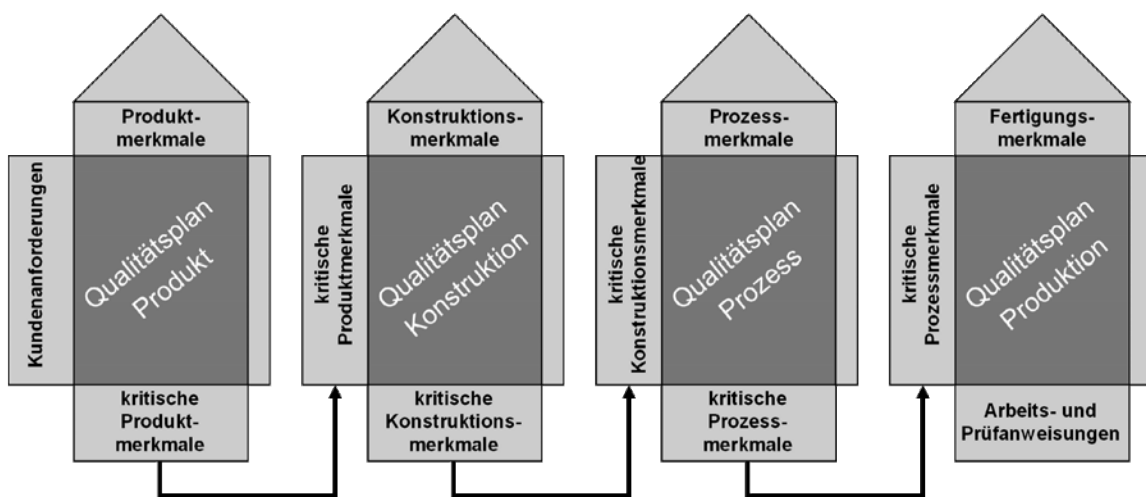


Bild 56 Phasen des QFD (QM-INFOCENTER 2007)

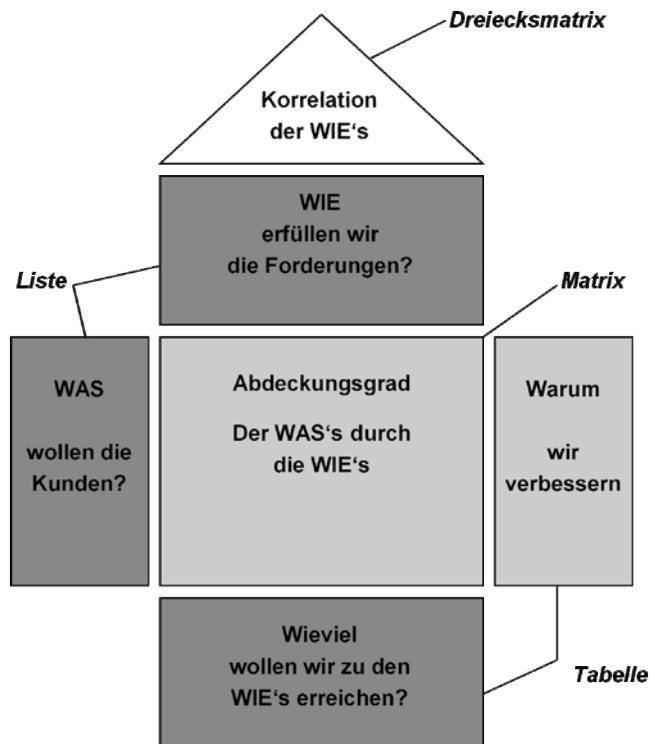


Bild 57 Querschnitt eines House of Quality (Weckenmann, 2006)

Schritt 2: Bewerten der Kundenanforderungen

Diese Kundenanforderungen (WAS), werden in verschiedene Kategorien eingeteilt und mit einem Gewichtungsfaktor von 1 (niedrige Bedeutung) bis 10 (sehr hohe Bedeutung) entsprechend der Bedeutung für den Kunden in das House of Quality eingetragen (QM-INFOCENTER, 2007).

Schritt 3: Beurteilung der Konkurrenzprodukte aus Kundensicht

Nach den in Schritt 2 kategorisierten Eigenschaften, Merkmalen und Kriterien des Kunden werden hier nun Produkte von Mitbewerbern beurteilt. Eine Bewertung erfolgt auf einer Skala von 1 (nicht erfüllt) bis 5 wie (voll und übererfüllt). Das eigene Produkt kann somit mit Konkurrenzprodukten bezüglich der Eigenschafts-/Merkmalerfüllung verglichen werden. So wird ein Profil der Stärken und Schwächen des eigenen Produktes entwickelt. Hieraus lassen sich Potentiale zur Verbesserung, sowie bereits vorhandene Wettbewerbsvorteile ablesen. Aus den gewonnenen Daten wird festgelegt, welche Eigenschaften und Merkmale besonders forciert werden müssen, um gegenüber der Konkurrenz einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen (Linß, 2005). Die bisherigen Schritte bei der Erstellung des House of Quality wurden in Zusammen-

arbeit mit potentiellen Kunden erledigt. Die nun folgenden Tätigkeiten werden in der Regel betriebsintern durchgeführt (Regius, 2006).

Schritt 4: Festlegung der Produktmerkmale

Die Festlegung der Produktmerkmale erfolgt in interdisziplinärer Teamarbeit. Hierbei wird insbesondere Personal aus den Bereichen Marketing, Service und Entwicklung herangezogen. Im QFD-Formblatt werden bestimmte Konstruktionsmerkmale bzw. Lösungsansätze zur Erfüllung der Kundenanforderungen eingetragen. Es folgt eine Angabe über die Tendenzen der verschiedenen Konstruktionsmerkmale zum Erreichen einer gewünschten Merkmalsausprägung (z. B. Steigerung der Steifigkeit zur Verringerung der Einfederung bei Belastung; QM-INFOCENTER, 2007).

Schritt 5: Bewertung der technischen Schwierigkeit

Die Umsetzung der ermittelten Produkthanforderungen gestaltet sich unterschiedlich schwierig. Zur Abschätzung dieses Schwierigkeitsgrades erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit der verschiedenen Produkteigenschaften(-merkmale durch die Mitglieder des QFD-Teams. Die Beurteilung geschieht mit Hilfe einer Bewertungsskala von 1 („sehr leicht erreichbar“) bis 10 („sehr schwer, fast gar nicht erreichbar“; Regius, 2006).

Schritt 6: Erstellen der Relationenmatrix

In diesem Schritt wird erörtert, wie stark die verschiedenen Konstruktionseigenschaften/-merkmale zur Erfüllung der bereits beschriebenen Kundenwünsche beitragen. Die Beurteilung dieser Beziehungen erfolgt in drei Kategorien: „schwach“, „mittel“ und „stark“. Daraus lässt sich abschätzen, welche Forderungen durch die bereits formulierten Konstruktionseigenschaften/-merkmale nur unzureichend, oder gar nicht abgedeckt werden, bzw. in welchen Bereichen noch Handlungsbedarf bei der technischen Umsetzung besteht (Regius, 2006). Stark gewichtete Kundenanforderungen müssen dabei in einer starken Beziehung zu Produkteigenschaften/-merkmalen stehen.

Schritt 7: Technischer Wettbewerbsvergleich

Beim technischen Wettbewerbsvergleich werden zunächst Messverfahren zur Überprüfung und Beurteilung von Produkteigenschaften/-merkmalen festgelegt. Konkurrenzprodukte werden untersucht und die Resultate in physikalischen und technischen

Größen beschrieben. Das eigene Produkt wird den Konkurrenzprodukten gegenübergestellt und die Ergebnisse festgehalten. Der Vergleich dieser objektiven Messergebnisse mit den subjektiven Beurteilungen der Kundenbefragungen gibt Aufschluss über Ziel- bzw. Grenzwerte der physikalischen Größen zur Erfüllung des Kundenwunsches. Eine Dokumentation dieser physikalischen Werte erfolgt im Lastenheft für die Entwicklungsabteilung (Regius, 2006).

Schritt 8: Analyse der gegenseitigen Beeinflussung der Merkmale

Im letzten Schritt bei der Erstellung des House of Quality werden die verschiedenen Produkteigenschaften/-merkmale auf Korrelationen untersucht. Festgestellt wird, ob und in welchem Grad sich die einzelnen Systeme und Komponenten untereinander beeinflussen oder widersprechen (Regius, 2006). Unter Berücksichtigung der Optimierungsrichtungen werden dabei die verschiedenen Produkteigenschaften/-merkmale miteinander ins Verhältnis gesetzt. Dabei werden folgende Beziehungen unterschieden:

- Zielharmonie: Durch Verbesserung der einen Eigenschaft/Merkmal, wird die andere Eigenschaft/Merkmal auch verbessert
- Zielkonflikt: Durch Verbesserung der einen Eigenschaft/Merkmal wird die andere Eigenschaft/Merkmal verschlechtert
- Zielneutralität: Zwischen beiden Eigenschaften/Merkmalen besteht keine Beziehung

Diese Zusammenhänge werden im QFD-Formblatt im Dach des House of Quality mit Symbolen festgehalten. Die Auswirkungen einer technischen Änderung können damit abgeschätzt, sowie die Vor- und Nachteile verschiedener Lösungen unter Berücksichtigung des Kundenwunsches gegeneinander abgewogen werden.

Aus der Beschreibung der Vorgehensweise zur Erstellung des House of Quality werden der Umfang und die Komplexität dieser Methode zur Ermittlung physikalischer Produkteigenschaften/-merkmale ersichtlich. Zur vollständigen Durchführung des QFD muss Fachpersonal aus den verschiedenen Abteilungen wie Produktentwicklung, Marketing, Verkauf und Kundendienst in den Prozess mit eingebunden werden. Bei den Kundenbefragungen ist ein besonders hoher Betreuungsaufwand erforderlich. Die Anwendung von Quality Function Deployment ist sehr zeitaufwändig und bedarf einer strukturierten Organisation.

Für eine erfolgreiche Anwendung von QFD in der Praxis sollte der Prozess daher auf das Notwendige reduziert werden. Die Methode sollte problem- und bedarfsgerecht angewendet werden. Durch eine Angleichung des Detaillierungsgrades bzw. der Kom-

plexität für den jeweiligen Anwendungsfall kann der Ressourcenaufwand signifikant reduziert werden (siehe Regius, 2006).

Um Produkte für ältere Personen an die Leistungseinschränkungen anpassen zu können, müssen sie derart gestaltet werden, dass sie an die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden können. Dabei sollen die individualisierten Produkte für die Unternehmen wirtschaftlich und für Senioren erschwinglich bleiben. Wegen der schnellen und kostengünstigen Erweiterung der Produkte ist der Einsatz von Modularisierung von großem Vorteil. Im Folgenden sollen als Vertreter für methodische Unterstützung zwei Methoden zur Modularisierung vorgestellt werden.

5.3. Modular Function Deployment

Modular Function Deployment (MFD) ist eine Methode zur systematischen Entwicklung modularer Produktstrukturen nach Erixon (1996; Bild 58). Das Vorgehen gliedert sich in fünf Phasen (Riepe, 2003):

Im ersten Schritt werden die Kundenbedürfnisse geklärt und in Anforderungen an das Produkt übersetzt. Hierzu dient die Methode des Quality Function Deployment (siehe Kapitel 4.1.2).

Nun werden die Kundenanforderungen in Funktionen und Unterfunktionen heruntergebrochen und alternative Lösungen für Funktionsträger ermittelt. Nach einer anschließenden Bewertung wird das am besten geeignete Prinzip gewählt (Rapp, 1999).

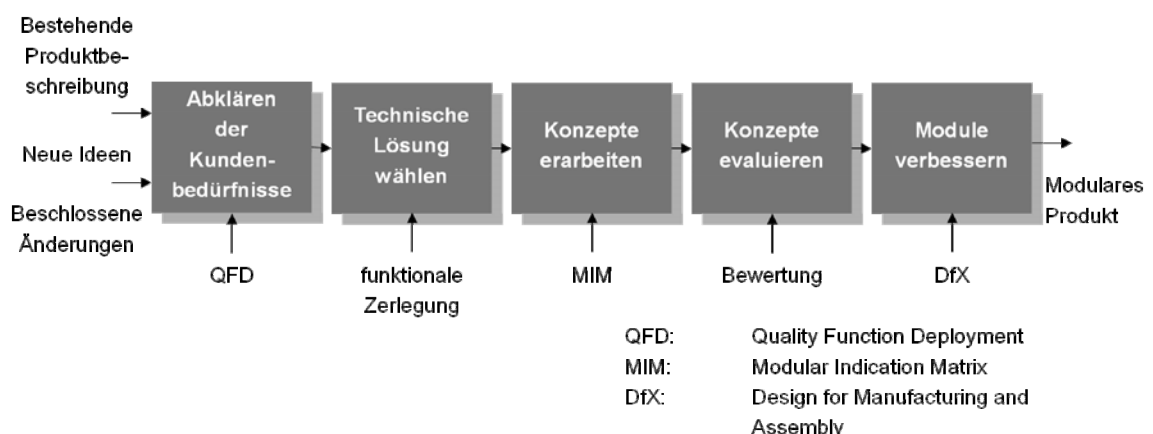


Bild 58 Vorgehen beim Modular Function Deployment (Rapp, 2010)

Grundlage eines Konzeptes zur Strukturierung ist die Entwicklung der Modullösung auf Basis einer Module Indication Matrix (MIM). In der MIM werden die Funktionsträger der technischen Lösung durch Modularitätstreiber charakterisiert. Modularitätstreiber sind strategische Gründe, die für eine Realisierung eines separaten Moduls sprechen. Erixon schlägt 12 Modularitätstreiber vor (Tabelle 4).

Tabelle 4 Modultreiber nach Erixon (1996)

Modultreiber nach Erixon	
Mehrfachverwendung	Technologische Dynamik
Produktplanung	Alternative technische Spezifikation
Styling	Vereinheitlichung
Besondere Prozesse/Organisation	Unabhängige Prüfung
Separate Liefereinheit	Service/Instandhaltung
Nachrüstbarkeit	Recycling

Bereich	Modultreiber	Gestell	Vorderräder	Hinterräder	Griffe	Bremshebel	Sitzfläche	Korb	Abdeckung Korb	Bremsleitung	Bremsbacken
Varianz	Technische Spezifikation	1	9	3	9	3	1	3	0	1	1
Qualität	Separates Testen	1	3	1	0	0	0	0	0	1	3
Beschaffung	Beschaffung	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
After Sales	Service/ Wartung	0	9	9	3	3	0	0	0	3	3
	Upgrading	0	9	9	9	3	3	0	0	3	9
	Recycling	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Handhabung	Handhabung	1	9	3	9	3	1	1	0	0	0
Anpassung	Veränderte Funktionserfüllung	1	9	3	9	9	0	0	0	0	0
Summe		4	49	29	40	23	6	5	0	8	17

Bild 59 MIM nach Erixon für einen Rollator (Stöber & Schmidt, 2010)

In der MIM werden die einzelnen Funktionsträger mit Punkten (Gewichtung 9, 3, 0) bewertet. In Bild 59 ist eine MIM für einen Rollator abgebildet. Die Summe dient als Indikator, ob ein Funktionsträger als separates Modul gestaltet werden sollte.

Ausgehend von den potenziellen Modulen mit den höchsten Punktwerten werden die übrigen Funktionsträger integriert oder zu separaten Modulen gruppiert.

Dabei werden solche Funktionsträger zusammengefasst die gleiche und nicht widersprüchliche Modularitätstreiber haben. Im vierten Schritt werden die ermittelten Modullösungen bewertet und das beste Konzept ausgewählt. Zuletzt erfolgt eine Optimierung unter Berücksichtigung von Design for X (Meerkamm & Koch, 2005) der ermittelten Module.

5.4. Integration Analysis of Product Decompositions

Pimmler und Eppinger entwickeln Produktarchitekturen auf Basis technisch funktionaler Beziehungen in der Design Structure Matrix (DSM; Kopenhagen, 2004). Die DSM ist eine Beziehungsmatrix zur Darstellung von Systemstrukturen. Hierzu werden die Beziehungen der einzelnen Elemente untereinander analysiert. Das Vorgehen nach Pimmler und Eppinger gliedert sich in drei wesentliche Schritte:

- Zerlegung des Produktkonzepts in funktionale und/oder physische Elemente, welche die Produktfunktionen enthalten
- Dokumentation der Beziehungen zwischen den Elementen, unterteilt nach Art der Verbindung in einer Matrix
- Gruppieren der Elemente zu Modulen

Im ersten Schritt wird das Produkt hierarchisch in seine Komponenten zerlegt bis eine für die Konzepterstellung ausreichende Detailliertheit gegeben ist. Im zweiten Schritt wird in der symmetrischen DSM, deren Zeilen und Spalten die Komponenten des Produktes repräsentieren, die technisch funktionalen Beziehungen zwischen den Funktionsträgern abgebildet. Bild 60 zeigt eine Design Structure Matrix für einen Rollator. Die Interaktionen zwischen den Komponenten werden in Bezug auf räumliche Angrenzung, den Energietransfer, den Informationsaustausch und den Materialaustausch bewertet. Die Abstufung der Bewertungsskala ist (Kopenhagen, 2004):

- +2: Die Beziehung ist erforderlich für die Funktion des Produktes,
- +1: Die Beziehung ist vorteilhaft für die Funktion des Produktes,
- 0: Die Beziehung hat keinen Einfluss auf die Funktion des Produktes,
- -1: Die Beziehung ist nachteilig für die Funktion des Produktes,
- -2: Die Beziehung ist verhindert eine Funktion des Produktes.

		1	2	3	4	5	9	10	6	8	7
Gestell	1		2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 0		2 0 0 0	2 0 0 0		2 0 0 0
Vorderräder	2	2 0 0 0		-2 0 0 0		0 0 2 0	1 0 2 0	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0
Hinterräder	3	2 0 0 0	-2 0 0 0			-2 0 0 0	-1 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0
Griffe	4	2 0 0 0				2 0 0 0	1 0 0 0				
Bremshebel	5	2 0 0 0	0 0 2 0	-2 0 0 0	2 0 0 0		1 0 0 0	0 0 2 0			
Bremsleitung	9		1 0 2 0	-1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0		1 0 1 0			
Bremsbacken	10	2 0 0 0	2 0 0 0	-2 0 0 0		0 0 2 0	1 0 1 0				
Sitzfläche	6	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0						-1 0 0 0	-1 0 0 0
Abdeckung Korb	8		-2 0 0 0	-2 0 0 0					-1 0 0 0		2 0 0 0
Korb	7	2 0 0 0	-2 0 0 0	-2 0 0 0					-1 0 0 0	2 0 0 0	

Räumlich: R E : Energie
Information: I M : Material

Bild 60 Matrix nach Pimmler und Eppinger für einen Rollator (Stöber & Schmidt, 2010)

Im dritten Schritt wird die entstandene Matrix mit Hilfe von Vertauschungsalgorithmen so umgestellt, dass die positiven Elemente näher an die Hauptdiagonale rücken. Zielsetzung dieser Sortierung ist es, möglichst geringe Wechselwirkungen zwischen den Modulen zu erreichen und so eine Identifikation von Abhängigkeiten und die Bildung von Modulen zu ermöglichen.

5.5. Richtlinienunterstützung

Wie in Kapitel 1 aufgeführt, ist eine Fülle an Richtlinien vorhanden, deren Sammlung und Aufbereitung eine wichtige Grundlage für eine erfolgreiche Produktentwicklung ist. Im Folgenden soll anhand der Entwicklung eines Bodenstaubsaugers aufgezeigt werden, welche Normen, Richtlinien und Hilfestellung für dessen Entwicklung zur Verfügung stehen. Da Richtlinien nicht ausschließlich in Normen zu finden sind, sondern auch in Katalogen und Fachberichten, soll Bild 61 einen Überblick geben, welche Aspekte bei der Entwicklung von Haushaltsgeräten beachtet werden sollten.

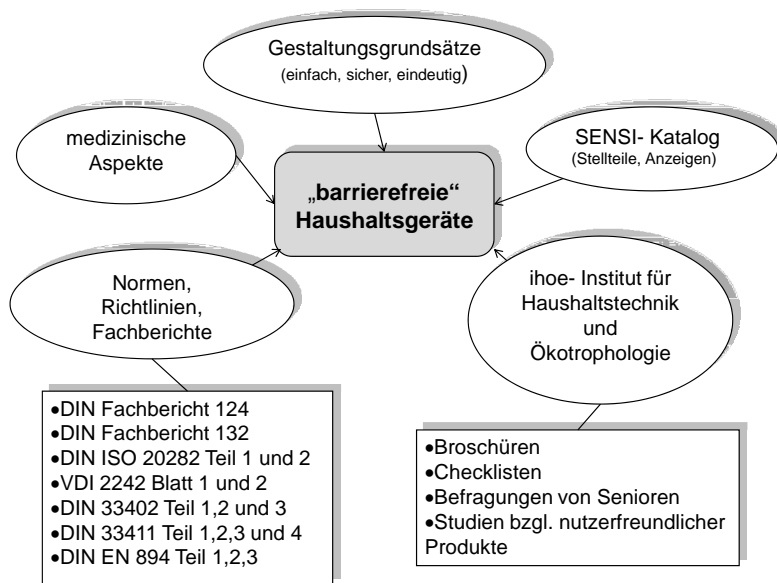


Bild 61 Übersicht über Gestaltungsrichtlinien für barrierefreie Haushaltsgeräte

Zur übersichtlichen Handhabung der Richtlinien ist es von Vorteil, eine Tabelle (vgl. Tabelle 5) zu erstellen, die auf den im DIN-Fachbericht 131 (DIN-Fachbericht 131 2003) verwendeten Tabellen von Faktoren zur Sicherstellung barrierefreier Gestaltung in Normen beruht. In der linken Spalte der Tabelle sind die verschiedenen Baugruppen des Gerätes, bzw. Komponenten des Systems aufgelistet. Außerdem werden Einflüsse auf die Umgebung (z.B. Lärmpegel) oder weiterführende Aspekte (z.B. Bedienungsanleitung) aufgenommen. Die Zeilen beinhalten die Richtlinien, die bei sensorischen, motorischen und kognitiven Einschränkungen anzuwenden sind.

Zur Befüllung der Tabelle wird untersucht, welche Sinne, welche körperlichen und geistigen Fähigkeiten, für die in der linken Spalte aufgeführten Baugruppen benötigt werden und welche Richtlinien für die Gestaltung der Baugruppen zu berücksichtigen sind. Als Hilfsmittel wird hierbei auch die VDI-Richtlinie 2242 Blatt 2 (VDI-Richtlinie 2242 1986) verwendet. Diese Richtlinie stellt eine Suchliste dar, die zur Gestaltung von verschiedenen Komponenten eines Systems relevante Normen und Fachbücher angibt. Ein leeres Feld in der Tabelle weist darauf hin, dass es keine entsprechende Literatur gibt, die Richtlinien bzgl. der Komponente in Verbindung mit der Leistungseinschränkung bereitstellen. In manchen Fällen ist dies zu erwarten, da verschiedene Komponenten unabhängig von bestimmten Leistungseinschränkungen sind.

Tabelle 5 Berücksichtigung sensorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers

Bodenstaubsauger	sensorisch			
	Sehen	Hören	Tasten	Riechen/ Schmecken
Stellteile und deren Anordnung	Sensi DIN EN 894-3; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2		Sensi; DIN EN 894-3; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2	
Anzeigen und deren Anordnung	Sensi; DIN EN 894-2			
Griffgestaltung			DIN 33402	
Größe und Art von Schrift- und Bildzeichen	Sensi; DIN EN 894-2		Sensi; DIN EN 894-2	
Bedienungsanleitung, klare Sprache in schriftl. oder gesprochenen Informationen	Sensi; DIN EN ISO 9241-12			
Masse, Gewicht, Bauform	Fachbericht 124	Fachbericht 124		
Leichte Handhabung, Bedienung			Fachbericht 124	
Lärmpegel		Sensi; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 1		
Fehlersicherheit				

In den Tabellen 5 bis 7 wird ein handelsüblicher Bodenstaubsauger, wie er in nahezu jedem Haushalt zu finden ist untersucht. Der Staubsauger wird in Komponenten aufgeteilt, die für leistungseingeschränkte Benutzer speziell zu gestalten sind. Bei dieser Betrachtung sind zunächst die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine zu untersuchen. Für Stellteile wie Ein- und Ausschalter, Schalter für die Betätigung der automatischen Kabelaufwicklung, sind nach Richtlinien Druckschalter, bzw. Drucktaster vorzusehen. Für die Regulierung der Saugkraft werden meist Drehknöpfe oder auch Schieberegler verwendet. Der Kraftaufwand beim Einstecken, bzw. Herausziehen des Netzsteckers ist so gering wie möglich zu halten, ein Netzstecker mit angegliedertem Finger-

zug-Ring erleichtert sensorisch eingeschränkten Personen das Ein- und Ausstecken (Bullinger, 1979).

Der Sensi-Katalog (Biermann & Weißmantel, 2003) bietet zahlreiche Beispiele für ergonomische und seniorenrechtliche Gestaltung unter Berücksichtigung von speziellen Leistungseinschränkungen. Desweiteren findet man bei Bullinger (1979) sehr ausführliche Informationen zur ergonomischen und handgerechten Ausführung von Stellteilen und Griffen. Hier wird zunächst die Greifart analysiert, diese gibt an wie die Hand, bzw. einzelne Finger mit der Handseite des Arbeitsmittels verbunden sind. Es wird zwischen Kontaktgriff, Zufassungsgriff und Umfassungsgriff unterschieden.

Tabelle 6 Berücksichtigung motorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers

Bodenstaubsauger	motorisch				
	Geschicklichkeit	Handhabung	Beweglichkeit	Kraft	Stimme
Stellteile und deren Anordnung	Sensi DIN EN 894-3; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2	Sensi DIN EN 894-3; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2	Sensi DIN EN 894-3; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2	DIN 33411; Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 2	
Anzeigen und deren Anordnung					
Griffgestaltung	DIN 33402	DIN 33402		DIN 33402	
Größe und Art von Schrift- und Bildzeichen					
Bedienungsanleitung, klare Sprache in schriftl. oder gesprochenen Informationen					
Masse, Gewicht, Bauform		Fachbericht 124	Fachbericht 124	DIN 33411; Fachbericht 124	
Leichte Handhabung, Bedienung	Fachbericht 124	Fachbericht 124	Fachbericht 124		
Lärmpegel					
Fehlersicherheit		DIN EN ISO 12100			

Tabelle 7 Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. eines Bodenstaubsaugers

Bodenstaubsauger	kognitiv			
	Informationsverarbeitung	Gedächtnis	Reaktion	Koordination
Stellteile und deren Anordnung	Sensi DIN EN 894-1 u. 3	Sensi DIN EN 894-1 u. 3		Sensi DIN EN 894-1 u. 3
Anzeigen und deren Anordnung	DIN EN 894-2; DIN EN ISO 10075	DIN EN 894-2; DIN EN ISO 10075		DIN EN 894-2; DIN EN ISO 10075
Griffgestaltung				
Größe und Art von Schrift- und Bildzeichen	Sensi DIN EN 894-2	Sensi DIN EN 894-2		Sensi DIN EN 894-2
Bedienungsanleitung, klare Sprache in schriftl. oder gesprochenen Informationen	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12		Sensi DIN EN ISO 9241-12
Masse, Gewicht, Bauform				
Leichte Handhabung, Bedienung		Fachbericht 124		Fachbericht 124
Lärmpegel				
Fehlersicherheit	DIN EN ISO 12100	DIN EN ISO 12100		

Der Kontaktgriff wird als offener Griff bezeichnet, bei dem die Kopplungsglieder auf dem Stellteil liegen. Der Zufassungsgriff hingegen ist geschlossen, die Hand, bzw. die Finger berühren das Arbeitsmittel von mehreren Seiten. Beim Umfassungsgriff wird das Stellteil, bzw. der Griff von der Hand vollständig umschlossen. In Biermann & Weißmantel, 2003 und Bullinger 1979 sind Übersichten über die Greifarten zu finden. Die Bauform einzelner Stellteile und die erforderliche Handhabung kann einem der drei Griffarten zugeordnet werden (Bild 62). Je nach Stell- oder Regelaufgabe des Stellteils und verfügbarem Bauraum am Produkt, ist ein geeignetes Stellteil auszuwählen.

Bullinger (1979) ordnet unterschiedliche Schalter und Regler den drei Griffarten zu. Es werden Stellteile vorgestellt, die formschlüssig und reibschlüssig umgriffen werden. Dem Produktentwickler wird ein Portfolio an zahlreichen Reglern und Schaltern geboten, die für unterschiedliche Aufgaben dienen.

Arbeitsaufgabe Greifartgruppe	großer Arbeitswiderstand	kleiner Zeitbedarf	große Genauigkeit
Kontaktgriff	○	○○○	○○
Zufassunggriff	○○	○○	○○○
Umfassunggriff	○○○	○	○

○○○ zu bevorzugende Greifartgruppe

Bild 62 Auswahl der Greifartgruppen (Bullinger 1979)

Außerdem beschäftigt sich der dritte Teil der DIN EN 894 (DIN EN 894-3 2009), explizit mit dieser Thematik. Auch hier werden zahlreiche Beispiele und Bewertungen für Druckschalter, -taster oder Regler aufgeführt. Im Anhang des ersten Teils der Norm, werden Aspekte zur menschlichen Informationsverarbeitung beschrieben, die auf die kognitiven Fähigkeiten des Menschen eingehen, wobei allerdings individuelle Einschränkungen nicht aufgegriffen werden.

Um auf einen vollen Staubbeutel aufmerksam zu machen, ist in der Regel eine optische Anzeige notwendig. Hierzu liefert ebenfalls unter Berücksichtigung von Leistungseinschränkungen einige Leitsätze, ebenso der Teil zwei der DIN EN 894 (DIN EN 894-3 2009). Auch zur Auslegung des Tragegriffs am Staubsauger bietet der SENSI-Katalog (Biermann & Weißmantel, 2003) Informationen. Die DIN 33402 (DIN 33402-1/-3/-4/-5 2007/1986/1999/1999) liefert zur Griffgestaltung relevante Körpermaße der Hand, bzw. der Finger.

Die Schalter und Anzeigen erfordern eine leicht zu verstehende und gut lesbare Beschriftung und Bebilderung (Biermann & Weißmantel, 2003) (DIN EN 894-3 2009). In (DIN EN 894-3 2009) werden im Anhang A des zweiten Teils Ziffernformen beschrieben.

Es ist wichtig, bereits bei der Konstruktion des Produktes darauf zu achten, dass keine Fehlbedienung des Gerätes möglich ist. Ein Staubsauger sollte z.B. nicht eingeschaltet werden können, wenn kein Staubbeutel eingelegt ist. Eine Überhitzung durch zu langen Betrieb, die eine Brandgefahr darstellt, muss vermieden werden. Hierzu sind entsprechende Sicherheitschalter und Kontakte, sowie hitzebeständige Materialien vor-

zusehen. Ebenso muss bei elektrischen Geräten die Gefahr eines Stromschlages verhindert werden. Dies gilt besonders bei einfachen Wartungsarbeiten, wie Wechseln des Staubbeutels, bei denen das Gerät zumindest teilweise geöffnet wird. Zur fehlersicheren Gestaltung sollte die DIN EN ISO 12100 (DIN EN ISO 12100-1 2004) hinzugezogen werden. Hier wird der Ansatz der „inhärent sicheren Konstruktion“ verfolgt. Alle Maschinen sollten so gestaltet sein, dass auch bei Fehlbedienung und Versagen einzelner Schutzeinrichtungen keine Gefahr für den Benutzer besteht. Diese grundsätzlich sichere Konstruktionsweise, ist für die Auslegung von Produkten für leistungseingeschränkte Personen von besonderer Relevanz.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei technischen Produkten ist die Gestaltung der Bedienungsanleitung, die übersichtlich gestaltet werden muss. Auch hierzu liefert (Biermann & Weißmantel, 2003) wichtige Gesichtspunkte, wie gute Lesbarkeit der Schrift, der Bilder und Zeichen, sowie das Achten auf Logik und Verständlichkeit in der Informationsdarstellung.

Da die meisten Richtlinien und Normen nicht spezifisch auf ältere Menschen zugeschnitten sind, ist darauf zu achten, dass die Hinweise mit den vorhandenen Leistungseinschränkungen der Nutzergruppe abgeglichen werden. Wenn die notwendigen Werte nicht beschafft werden können oder in der Literatur vorhanden sind, müssen diese durch Simulationen und Experimente ermittelt werden.

Es bestehen zwei Möglichkeiten durch Simulationen des Produktverhaltens die Produktentwicklung zu unterstützen. Zum einen kann ein digitales Modell des Menschen geschaffen werden. Im Zusammenhang der altersgerechten Produktentwicklung muss dieses Modell in der Lage sein, Leistungseinschränkungen von älteren Personen abzubilden. Mit diesem Menschmodell können beispielsweise Greifweiten und -bewegung geprüft werden oder wie bei Crashtests Kräfte ermittelt werden, die auf den menschlichen Körper einwirken. Zum anderen können aber auch mittels VirtualReality(VR)-Technik Versuche an Produkten durchgeführt werden, die noch in der Entwicklung stecken. Beispielsweise kann für einen Wagenheber ermittelt werden, ob eine ältere Person in der Lage ist bestimmte Kräfte z.B. für eine Handkurbel aufzubringen. Dazu wird der Wagenheber in CAD modelliert und in einer VR-Anlage visualisiert. Mittels einer Haptik kann das Kurbeln am Wagenheber simuliert werden. Ansätze hierzu sind in (Krüger & Stockinger, 2011) zu finden. Außerdem können beispielsweise durch Computerunterstützung (z. B. ANSYS; CADFEM 2011) Bewegungsabläufe eruiert werden.

6. Methoden der Nutzereinbindung

Bettina Williger & Frieder R. Lang

Im Folgenden werden die Methoden der Nutzereinbindung, wie sie bereits im Rahmen des Prozessmodells eingeführt wurden (Kapitel 4), aufbauend auf der einschlägigen Literatur und eigenen Befunden im Detail beschrieben. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Anwendung der Methoden mit älteren Teilnehmern. Obwohl sich das methodische Vorgehen nicht grundlegend von Untersuchungen mit jüngeren Probanden unterscheidet, wurde im Rahmen der Arbeiten im Forschungsverbund FitForAge deutlich, dass neben organisationalen Aspekten (Dauer, Räumlichkeit, Infrastruktur) insbesondere die Auswahl der Teilnehmer und die Aufbereitung der Inhalte Beachtung bei der Konzeption der Sitzungen finden müssen.

Das höhere und hohe Erwachsenenalter zeichnet sich durch seine Heterogenität und Variabilität aus (vgl. Kapitel 2.1). Die Auswahl und Rekrutierung der Teilnehmer für Nutzerstudien im Bereich altersgerechte Produktentwicklung kann demnach nicht ausschließlich an dem Kriterium Alter erfolgen, sondern muss vielmehr über die aktuelle Lebenssituation und Bedürfnisse der adressierten Zielgruppe gesteuert werden. Daneben zeigen aktuelle Forschungsbefunde (z. B. Orpwood et al., 2004; Taylor, 2006) wie auch eine eigene Pilotstudie, dass der Einbezug kranker oder gesundheitlich hoch belasteter Personen gerade in frühen Stadien der Produktentwicklung (d. h. Schritt eins bis vier des Prozessmodells) nicht nur für die Teilnehmer eine große Belastung darstellt und damit ethische Probleme aufwirft, sondern auch zu fehlerhaften Rückschlüssen bezüglich der Produkte führen kann. Im Kontext der altersgerechten Produktentwicklung werden deshalb zunehmend sogenannte Kernteams gegründet, d. h. konsistente Arbeitsgruppen aus älteren Erwachsenen, die sich wiederholt bereit erklären, technische Lösungen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu testen und zu bewerten (vgl. Sarodnick & Brau, 2006). So wurde im Rahmen der Forscherguppe *sentha* (seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag) an der TU Berlin mit der „Senior Research Group“ die erste entsprechende Arbeitsgruppe in Deutschland gegründet (Glende & Friesdorf, 2011). Konzept und Methode wurden im Verlauf der FitForAge Aktivitäten durch die Gründung des „Seniorenbeirats für die Produktentwicklung (SENPRO)“ an der FAU Erlangen-Nürnberg Ende 2008 weiterentwickelt (Williger & Lang, 2009). Der Arbeitsgruppe gehören aktuell 96 Männer und 32 Frauen im Alter von 58 bis 86 Jahren an (mittleres Alter: $M = 68.29$, $SD = 5.21$), die in unterschiedlich zusammengesetzten Teams in regelmäßigen Abständen an der Entwicklung und Evaluation von Produktideen teilhaben. Der „Seniorenbeirat für die Produktentwicklung“ setzt sich aus technischen Experten (z. B. Ingenieuren, technische Ausbildungsberufe;

51.6 %) und technischen Laien (48.4 %) zusammen. Hinsichtlich der generellen Lebensbedingungen und Gesundheit repräsentieren die SEN-PRO-Mitglieder vor allem die dritte Lebensphase des Alters. Wie auch in anderen Projekten der partizipativen Produktentwicklung zu beobachten (z. B. Fisk et al., 2009), zeigen die Teilnehmer des „Seniorenbeirats für die Produktentwicklung“ großes Interesse an der Bewertung der Sitzungsergebnisse durch die Entwicklerteams. Eine regelmäßige Rückmeldung dieser Ergebnisse, beispielsweise im Rahmen einer eigenen Veranstaltung, sowie eine Re-Evaluation der Entwicklungsfortschritte bestimmen somit auf lange Sicht maßgeblich die Motivation der Teilnehmer, sich weiterhin in der Arbeitsgruppe zu engagieren.

Was die Organisation der Sitzungen betrifft, so sollte sich die Dauer an den Möglichkeiten der Teilnehmer orientieren (z. B. Gesundheitszustand, Mobilität bei An- und Abreise). Grundsätzlich sollten als Obergrenze für die Sitzungsdauer jedoch 120 Minuten zuzüglich Pausenzeiten veranschlagt werden. Im Hinblick auf ein standardisiertes Vorgehen sollten einzelne Prozessschritte oder Fragestellungen vorgesehen werden, die bei Bedarf gekürzt werden können. Die Räumlichkeiten, in der die Sitzungen stattfinden, sollten barrierefrei zugänglich und auch mit öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar sein (vgl. auch Pak & McLaughlin, 2010).

Hinsichtlich der Aufbereitung der Inhalte (z. B. Demonstratoren, Mockups, Simulationen) hat sich gezeigt, dass es den Teilnehmern schneller und besser gelingt, Rückmeldungen zu den einzelnen Entwicklungen zu geben, wenn diese konkret anhand eines Demonstrators in Kleingruppen mit maximal drei Personen exploriert werden können. Die reine Präsentation von Szenarien erfordert eine umfassende und detaillierte Einführung der Teilnehmer und führt zu weniger aussagekräftigen Ergebnissen. In frühen Produktentwicklungsphasen, in denen ausschließlich mit Szenarien oder Prototypen für Teillösungen gearbeitet werden kann, empfiehlt sich daher die Einbindung von Nutzervertretern, die die Bedürfnisse und Kompetenzen der Zielgruppe gut kennen und entsprechend abstrahieren können (z. B. Gerontologen, Mediziner, Psychologen). Darüber hinaus sollte bei der Gestaltung der Testunterlagen (Fragebogen, Interviewleitfaden, Instruktion) auf die Terminologie geachtet werden. Dazu gehört, dass weder technische noch medizinische Fachbegriffe Verwendung finden und die Formulierungen auf den Erfahrungen der Teilnehmer aufbauen (vgl. Mitzner & Dijkstra, 2011).

Neben der Evaluierung der im Rahmen des Forschungsverbunds entstandenen technischen Lösungen wurde mit den Arbeiten des „Seniorenbeirats für die Produktentwicklung“ das Ziel verfolgt, unterschiedliche Methoden der Nutzereinbindung und Evaluation zu variieren, um davon Aussagen über die Praktikabilität und Produktivität dieser Herangehensweisen bei der Entwicklung altersgerechter Produkte abzuleiten.

Für die Klassifizierung von Methoden der Nutzereinbindung bieten sich unterschiedliche Kriterien an, wie z. B. Ziel der Untersuchung (prädiktiv, deskriptiv), Teilnehmer (Nutzer, Experten), Entwicklungsstadium (formativ, summativ) oder Datengrundlage (quantitativ, qualitativ; vgl. Gediga & Hamborg, 2002; Westermann, 2002). Im vorliegenden Fall wurden die Methoden nach dem Untersuchungsgegenstand differenziert, d. h. es erfolgte eine Unterscheidung zwischen einstellungs- und verhaltensbasierten Methoden. Zu den einstellungsbasierten Methoden zählen Einzel- und Gruppeninterviews (mündliche Befragung) sowie Fragebögen (schriftliche Befragung), mittels derer Teilnehmer anhand vordefinierter Fragen ihre Meinung zu Produkten oder Szenarien abgeben und entsprechende Anforderungen oder Kritik formulieren. Die Methoden können demnach in sehr frühen Produktentwicklungsphasen Anwendung finden, um Anforderungen für eine Neuentwicklung abzuleiten, oder aber ergänzend zur Bewertung (prototypisch) umgesetzter Produkte eingesetzt werden. Wesentlich kosten- und zeitintensiver als einstellungsbasierte Methoden ist die Anwendung von verhaltensbasierten Methoden (Beobachtung, Lautes Denken, Eye-Tracking). In deren Kontext muss die Produktentwicklung relativ weit fortgeschritten bzw. gut simuliert sein, so dass Teilfunktionalitäten von Teilnehmern ohne Systemunterbrechungen exploriert und erprobt werden können. Alternativ lassen sich verhaltensbasierte Methoden auch prädiktiv im Zusammenhang mit der Anforderungsanalyse für Variantenkonstruktionen einsetzen (vgl. Einordnung der Methoden in Prozessmodell; Kapitel 4).

Die Ergebnisse einer Online-Befragung bei den Mitgliedern des „Seniorenbeirats für die Produktentwicklung“ wie auch den kooperierenden Entwicklerteams zeigen, dass der Einsatz verhaltensbasierter Methoden von beiden Seiten positiver bewertet wurde als einstellungsbasierte Methoden. So schreiben die befragten Senioren Sitzungen auf Basis vorrangig verhaltensbasierter Methoden im Mittel eine höhere Interessantheit des behandelten Themas zu und berichten, einen größeren persönlichen Nutzen aus den Sitzungen gezogen haben. Auch die Entwicklerteams sprechen verhaltensbasierten Methoden eine höhere Produktivität hinsichtlich der Generierung von Rückmeldungen zur Funktionalität, Bedienfreundlichkeit und Geräteergonomie der evaluierten Produkte zu. Darüber hinaus gaben alle Entwicklerteams an, dass durch die Berücksichtigung der Evaluationsergebnisse im weiteren Entwicklungsprozess unabhängig von der Methodenwahl zusätzliche Kosten entstanden sind (Praktikabilität). Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der Literaturanalyse von Kujala (2003), wonach die nutzerzentrierte Produktentwicklung zwar die Systemqualität verbessert, durch entsprechende Iterationsschleifen jedoch auch einen gewissen Mehraufwand verursacht.

Die Güte einer Untersuchung lässt sich neben der subjektiven Bewertung durch Teilnehmer wie auch Entwicklerteams an den allgemeinen wissenschaftlichen Kriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität festmachen. Das Kriterium der Objektivität

ist erfüllt, wenn eine Untersuchung in der Durchführung, Auswertung wie auch Interpretation der Ergebnisse unabhängig vom Versuchsleiter ist. Dies kann beispielsweise durch standardisierte Untersuchungsbedingungen und eine umfassende Schulung der Versuchsleiter gewährleistet werden. Die Reliabilität beschreibt, mit welcher Genauigkeit eine Untersuchungsmethode eine zunächst unbestimmte Variable bei wiederholter Durchführung misst, und lässt sich mittels statistischer Verfahren überprüfen (z. B. Retest-Reliabilität, Halbierungsreliabilität). Die Validität ist schließlich ein Indikator dafür, inwieweit eine Untersuchung eine zu bestimmende Variable (z. B. Performanz, Attraktivität) tatsächlich misst. Die Bestimmung der Inhaltsvalidität ist mittels statistischer Verfahren nicht möglich, deshalb werden neue Instrumente und Verfahren anhand ihrer Übereinstimmung mit externen Kriterien und Konstrukten validiert (Kriteriums- bzw. Konstruktvalidität; vgl. Bühner, 2010).

In den folgenden Unterkapiteln werden nun ausgewählte Methoden der Nutzereinbindung im Detail beschrieben. Die Darstellung der Methoden gliedert sich in deren Einsatzmöglichkeiten und Ziele für die Produktentwicklung, das organisatorische und inhaltliche Vorgehen (Teilnehmer, Versuchsleiter, Untersuchungsgegenstand, Auswertung), zu erwartende Ergebnisse und entsprechende Stärken und Schwächen im Vergleich zu alternativen Methoden. Zusätzliche Hinweise, die es im Zusammenhang mit der Einbindung älterer Nutzer zu beachten gilt, runden die einzelnen Unterkapitel ab. Tabelle 8 fasst die Charakteristika der einzelnen Methoden darüber hinaus im Überblick zusammen.

Tabelle 8 Übersicht über Methoden der Nutzereinbindung

Methode	Ziele	Untersuchungsgegenstand	Teilnehmer	Versuchsleiter	Ergebnisse	Stärken und Schwächen
Fragebogen	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung von Teilfunktionalität, Gesamtsystem • Erfassung von Teilnehmercharakteristika 	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierter Fragebogen • v.a. geschlossene Antwortformate 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Teilnehmerzahlen 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Betreuung durch VL 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Daten • Multivariate statistische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Aufwand bei Durchführung • Hoher Aufwand bei Konstruktion eigener FBs
Einzelinterview	<ul style="list-style-type: none"> • Sammlung von Best Practices • Nutzungsprobleme mit Vorvarianten bzw. getesteten Systemen 	<ul style="list-style-type: none"> • (Teil-) Standardisierter Leitfaden • Offene Antwortformate 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Teilnehmerzahlen • Sozialerwünschtes Verhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schulung des VL (Fachwissen, Gesprächsführung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Daten • Audio-/Videoaufzeichnung • Textanalytische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität in Interaktion mit Teilnehmer • Hoher Aufwand bei Durchführung und Auswertung
Gruppeninterview	<ul style="list-style-type: none"> • Sammlung von Best Practices • Nutzungsprobleme mit Vorvarianten bzw. getesteten Systemen 	<ul style="list-style-type: none"> • (Teil-) Standardisierter Leitfaden • Offene Antwortformate 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeweils 5 bis 12 TN • Homogene vs. heterogene Zusammensetzung • Sozialerwünschtes Verhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schulung des VL (Fachwissen, Gesprächsführung) • Ko-Moderation für Dokumentation der Ergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Daten • Audio-/Videoaufzeichnung • Textanalytische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität in Interaktion mit Teilnehmern • Hoher Aufwand bei Auswertung
Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> • Genaue Lokalisierung von Nutzungsproblemen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beobachtungsplan • Teilnehmendes/ beobachtendes Beobachterverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Teilnehmerzahlen • Reaktives Verhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schulung des VL (Beobachtungsplan, Objektivität) 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Daten • Audio-/Videoaufzeichnung • Textanalytische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Objektivität • Hoher Aufwand bei Durchführung und Auswertung

Methode	Ziele	Untersuchungsgegenstand	Teilnehmer	Versuchsleiter	Ergebnisse	Stärken und Schwächen
Lautes Denken	<ul style="list-style-type: none"> • Rekonstruktion kognitiver und emotionaler Prozesse 	<ul style="list-style-type: none"> • Beobachtungsplan • Teilnehmendes Beobachterverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Teilnehmerzahlen • Schwierigkeiten bei Erstanwendung • Reaktives Verhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schulung des VL (Beobachtungsplan, Objektivität) 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Daten • Audio-/Videoaufzeichnung • Textanalytische Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Aufwand bei Durchführung und Auswertung
Eye-Tracking	<ul style="list-style-type: none"> • Genaue Lokalisierung von Nutzungsproblemen • Aufschluss über Aufmerksamkeitsprozesse 	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierter Leitfaden • Statische und bewegte Bilder 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Teilnehmerzahlen • Hohe Ausfallquote bei älteren TN • Reaktives Verhalten in Laborsituation 	<ul style="list-style-type: none"> • Schulung des VL (Kalibrierung, Systembedienung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Parameter der Fixationen und des Blickpfads 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Objektivität • Hoher Aufwand bei Durchführung und Auswertung • Hohe Anschaffungskosten
Pilotierung	<ul style="list-style-type: none"> • Nachhaltigkeit und Robustheit eines Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenig standardisierter Leitfaden • Unmittelbare vs. retrospektive Evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Teilnehmerzahlen • Hohe Belastung • Reaktives Verhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Betreuung der TN über gesamten Testzeitraum 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantitative und qualitative Daten • Längsschnittliche Daten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Validität und Reliabilität • Hoher Aufwand bei Durchführung und Auswertung • Schwierige Integration in PE-Prozess

6.1. Fragebogen

Der Fragebogen zählt zu den einstellungsbasierten Methoden der Nutzereinbindung und wird im Kontext der Produktentwicklung sowohl für die Anforderungsanalyse als auch für die Evaluation von Teilfunktionalitäten eingesetzt.

Ziele für die Produktentwicklung

Der deskriptive Einsatz von Fragebögen in frühen Entwicklungsphasen (Schritt 1) verfolgt das Ziel, Innovationspotentiale anhand der aktuellen Lebensumstände, Probleme oder auch Einstellungen potentieller Zielgruppen zu ermitteln. Beispielsweise nutzten Boron und Kollegen (2006) die Methode, um Merkstrategien und Hilfsmittel älterer Erwachsener bei der Medikamenteneinnahme zu erfragen und davon Anforderungen für die Gestaltung entsprechender e-Health Services abzuleiten.

Der prädiktive Einsatz der Methode erfolgt in frühen Phasen (Schritt 3) ausschließlich mit Nutzervertretern (d. h. Mediziner, Gerontologen, Psychologen), die auf Basis ihrer Informationen über die Zielgruppe vorausschauend bewerten, wie gut das Produkt angenommen und verwendet werden wird. Im weiteren Entwicklungsprozess wird der Fragebogen vorrangig deskriptiv eingesetzt, um einzelne Funktionalitäten oder auch das Gesamtsystem zu bewerten (vgl. Fragebögen aus dem Bereich Usability Engineering).

Daneben finden Fragebögen in Ergänzung zu anderen Methoden der Nutzereinbindung Anwendung. So lassen sich persönliche Daten der Teilnehmer (wie z. B. Alter, Geschlecht, Bildung), soweit sie für die Fragestellung relevant sind, im Vorfeld oder Nachgang einer Sitzung mittels schriftlicher Befragung erheben.

Untersuchungsgegenstand: Fragebogenkonstruktion

Die Konstruktion eines guten Fragebogens ist eine Wissenschaft für sich und in zahlreichen Lehrbüchern beschrieben (eine umfassende Einführung gibt Bühner, 2010). Dennoch lassen sich einige generelle Regeln und Kriterien für die Gestaltung eines Fragebogens zusammenfassen, die nicht auf die schriftliche Befragung älterer Erwachsener beschränkt sind. Denn um auf Basis von Fragebögen aussagekräftige und verlässliche Ergebnisse zu erzielen, müssen diese hinsichtlich der Instruktion, der Formulierung der Fragen und des Antwortformats standardisiert werden. Dies geschieht zum einen über die sorgfältige Konstruktion des Fragebogens, dessen Pilotierung an einer ausreichend großen Personengruppe (Richtwert $N = 300$) sowie dessen Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der wissenschaftlichen Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität, Validität).

Grundsätzlich startet ein Fragebogen mit einer Instruktion, die die Teilnehmer zur Handhabung anleitet. Die Abfolge der einzelnen Fragen unterliegt einer vordefinierten Reihenfolge, die sich an den adressierten Themen orientiert. Dabei sollten der erste und der letzte Teil des Fragebogens möglichst einfach gehalten sein (z. B. soziodemographische Angaben, Angaben zum Gerätebesitz) und Interesse wecken. Was die Formulierung der Items angeht, so bieten sich zwei Formate an: Fragen, die der Erkundung konkreter Sachverhalte dienen (z. B. „Wie häufig nutzen Sie das Internet?“), und Behauptungen, die das Ziel verfolgen Positionen oder Einstellungen der Befragten zu erfassen (z. B. „Die Benutzung eines Navigationsgeräts führt zu Abhängigkeiten.“). Während Behauptungen immer mit einem geschlossenen Antwortformat (z. B. „trifft gar nicht zu“ – „trifft voll und ganz zu“) verbunden sind, werden bei Fragen offene und geschlossene Antwortformate unterschieden. Letztere finden in schriftlichen Befragungen bevorzugt Verwendung, da offene Antwortformate häufig kurze und unvollständige Antworten produzieren (Bortz & Döring, 2002). Bei der sprachlichen Formulierung der einzelnen Items sollte jeweils nur ein Inhaltspunkt adressiert werden. Insbesondere bei der Befragung von Endnutzern ist es für die Verständlichkeit des Fragebogens entscheidend, dass die adressierten Konstrukte alltagssprachlich und möglichst eindeutig benannt werden (z. B. anstelle von „Fehleranfälligkeit des Systems“ – „System informiert über Fehler bei der Bedienung“). Darüber hinaus sollte bei der Formulierung der Items auf doppelte Verneinungen (z. B. nicht unwesentlich), kausale Nebensätze (z. B. wenn, sobald, insofern) und Verallgemeinerungen (z. B. alle, immer, keiner, nie) verzichtet werden (Bühner, 2010).

Empfehlungen für die Erhebung soziodemographischer Merkmale und die Formulierung entsprechender Fragebögen geben Jöckel und Kollegen (1998). Daneben existieren gerade in der Psychologie eine Vielzahl von standardisierten Verfahren zur Erfassung von Einstellungen, Erleben und Verhalten in unterschiedlichen Kontexten und über die gesamte Lebensspanne (siehe Testdatenbank PSYINDEX). Für den entwicklungsbegleitenden Einsatz gibt es darüber hinaus einige standardisierte Fragebögen aus dem Bereich des Usability Engineering, wie beispielsweise der Questionnaire for User Interface Satisfaction (QUIS; Shneiderman, 1998), die Short Usability Scale (SUS; Brooke, 1996), das IsoMetrics-Inventar (Gediga, Hamborg, & Düntsch, 1999) oder ISONORM (Prümper & Anft, 1993). Den Verfahren ist gemeinsam, dass die Formulierung der Fragen wie auch Antwortformate sehr abstrakt gehalten ist, und die Fragebögen sich demnach insbesondere für die Befragung von testerfahrenen Probanden oder Nutzervertretern eignen.

Teilnehmer

Bei schriftlichen Befragungen lassen sich üblicherweise hohe Teilnehmerzahlen rekrutieren, die als solche nötig sind, um zum einen die Heterogenität der Stichprobe abzubilden und zum anderen eine Auswertung mittels multivariater statistischer Verfahren zu ermöglichen. Dennoch sollten gerade bei postalischen Befragungen geringe Rücklaufquoten (etwa 30 Prozent) und lange Rekrutierungszeiträumen eingeplant werden.

Insbesondere offene Rekrutierungen (z. B. über öffentliche Medien) erzeugen eine positiv verzerrte Stichprobe hinsichtlich Motivation wie auch Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Teilnehmer. Auch ist im Zusammenhang mit selbstbeschreibenden Fragebögen, wie sie beispielsweise in der Anforderungsanalyse Einsatz finden, von einer Verzerrung der Ergebnisse im Sinne der sozialen Erwünschtheit auszugehen. Danach betonen Teilnehmer in ihrem Antwortverhalten vermeintlich positive Eigenschaften und Merkmale und versuchen, unerwünschtes Verhalten und Eigenschaften zu verbergen. Diesem Effekt lässt sich in Teilen durch die Zusicherung und Einhaltung von kompletter Anonymität begegnen (Bortz & Döring, 2002; Bühner, 2010).

Versuchsleiter: Paper-Pencil vs. Online-Fragebogen

Für die Beantwortung eines Fragebogens ist im Allgemeinen keine Betreuung durch den Versuchsleiter nötig. Schriftliche Befragungen erfolgen deshalb zunehmend online bzw. computergestützt. Obwohl sich die Datenerhebung und -auswertung auf diesem Weg sehr ökonomisch gestaltet, ist im Kontext der altersgerechten Produktentwicklung der Einsatz konventioneller Befragungsmethoden zu bevorzugen, da computergestützte Befragungen eine positiv verzerrte Stichprobe hinsichtlich der technischen Vorerfahrung bzw. des sozioökonomischen Status erzeugen (Richter, 1999). So zählen in Deutschland aktuell etwa 50 % der 60 bis 69-Jährigen und lediglich 25 % der 70 bis 79-Jährigen zu den Onlinern (Nonliner-Atlas, 2011). Darüber hinaus ist die Nutzung von Computer und Internet im höheren und hohen Erwachsenenalter positiv mit dem Bildungsstatus und Einkommen korreliert (Fox, 2006).

Ergebnisse

Die Generierung quantitativer Daten ermöglicht eine Auswertung mit multivariaten statistischen Verfahren, mittels derer sich komplexe Zusammenhänge zwischen den zu untersuchenden Variablen abbilden lassen (z. B. Attraktivität einer technischen Lösung in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Berufsgruppe der Teilnehmer). Durch den Ein-

satz standardisierter Verfahren lassen sich darüber hinaus Ergebnisse über unterschiedliche technische Lösungen oder Personengruppen hinweg vergleichen.

Stärken und Schwächen

Eine Stärke der Fragebogenmethode besteht darin, dass sie mit geringem finanziellem und organisatorischem Aufwand über den gesamten Produktentwicklungsprozess eingesetzt werden kann. Die Methode weist eine hohe Objektivität auf, da die Daten weitgehend unabhängig vom Versuchsleiter erhoben und ausgewertet werden können. Nachteilig ist im Vergleich zu mündlichen Befragungsmethoden (Einzelinterview, Fokusgruppe) anzumerken, dass insbesondere standardisierte Fragebögen ein begrenztes Antwortformat erlauben und somit nur in eingegrenztem Rahmen (z. B. über offene Fragen) zusätzliche oder vertiefende Informationen erhoben werden können. Gerade im Hinblick auf die Evaluation von Teilfunktionalitäten lassen sich darüber hinaus meist keine direkten Verbesserungsvorschläge aus den Ergebnissen ableiten. Die Konstruktion von eigenen Fragebögen erfordert darüber hinaus einen hohen Vorbereitungsaufwand.

6.2. Einzelinterview

Einzelinterviews lassen sich nahezu über den gesamten Produktentwicklungsprozess einsetzen und adressieren in Abhängigkeit dessen unterschiedliche Teilnehmer und Fragestellungen.

Ziele für die Produktentwicklung

Der deskriptive Einsatz von Einzelinterviews in frühen Entwicklungsphasen (Schritt 1) verfolgt das Ziel, Anforderungen an das zu entwickelnde System anhand von Vorerfahrungen mit etablierten technischen Lösungen und aktuellen Lebensumständen, Problemen oder auch Einstellungen der Zielgruppe zu ermitteln. Abhängig von der leitenden Fragestellung des Interviews, wird in diesem Entwicklungsstadium die Einbindung von Nutzervertretern wie auch potentiellen Endnutzern empfohlen.

Der prädiktive Einsatz der Methode in frühen Phasen (Schritt 3) erfolgt hingegen ausschließlich mit Nutzervertretern (d. h. Usability Professionals, Mediziner, Gerontologen, Psychologen), die auf Basis ihrer Informationen über die Zielgruppe vorausschauend bewerten, wie gut das Produkt angenommen wird, grobe Systemmängel detektieren und möglicherweise Verbesserungsvorschläge generieren. Auch ist an dieser Stelle

die Skizzierung unterschiedlicher Szenarien, die das zu entwickelnde System beinhalten, sowie deren Bewertung und Analyse durch den Interviewten denkbar.

Auf der Basis von funktionsfähigen Prototypen (Schritt 5) lassen sich Einzelinterviews insbesondere als Ergänzung zu beobachtenden Verfahren einsetzen, um weiterführende Informationen und Bewertungen zu den Erfahrungen mit der Systeminteraktion einzuholen (z. B. „Warum wird das System gut/schlecht bewertet?“, „Gibt es Verbesserungsvorschläge?“).

Untersuchungsgegenstand: Strukturierung des Interviews

Mündlichen Befragungen liegt im Unterschied zu Fragebögen ein offenes Antwortformat zugrunde, was dazu führt, dass Teilnehmer zumeist umfassende und vielschichtige Antworten generieren. Thematische Grundlage für die Befragung ist ein Leitfaden, der sich an zuvor recherchierten und definierten Fragestellungen orientiert, wie beispielsweise Unterstützungsbedarf in ausgewählten Bereichen des täglichen Lebens, Bewertung einzelner Funktionalitäten oder Verbesserungsvorschläge für die gestalterische Umsetzung eines Systems.

Hinsichtlich des Standardisierungsgrads der Fragen werden drei Formen von Interviews unterschieden. Beim standardisierten Interview sind alle Themen und Fragen in ihrer Reihenfolge vordefiniert und die Fragen werden präzise nach vorgegebenem Wortlaut formuliert. Das Vorgehen eignet sich damit insbesondere bei klar umgrenzten Themenbereichen, über die bereits Vorkenntnisse vorhanden sind. Um sicher zu stellen, dass die Fragen in ihrer Formulierung unmissverständlich sind, ist eine Pilotierung empfehlenswert. Da die Standardisierung erlaubt, Ergebnisse aus unterschiedlichen Einzelinterviews zu vergleichen und Aussagen zu generalisieren, findet diese Interviewform häufig Anwendung. Hingegen ist beim freien Interview lediglich der thematische Rahmen vorgegeben, die Formulierung der Fragen erfolgt frei in Abhängigkeit der Gesprächssituation. Der Einsatz dieser Interviewform ist insbesondere in explorativen Phasen oder als Vorbereitung für eine standardisierte Befragung (mündlich, schriftlich) geeignet. Eine Mischform aus beiden Interviewvarianten bildet das halb- oder teilstandardisierte Interview. Wie beim standardisierten Interview orientiert sich die Themenauswahl inhaltlich wie auch chronologisch an einem Leitfaden. Die Formulierung der einzelnen Fragen erlaubt jedoch die gleiche Flexibilität wie das freie Interview (Bortz & Döring, 2002).

Um sicher zu stellen, dass die interviewte Personen die Fragen versteht und in der gleichen Weise interpretiert wie der Versuchsleiter und Interviewer, sollten entweder standardisierte Interviewverfahren verwendet oder der Leitfaden vorab pilotiert wer-

den (Breakwell, 2006). Im Hinblick auf die Produktentwicklung gibt es kaum standardisierte Interviewverfahren. Für die Evaluation von Software-Lösungen existiert beispielsweise die Repertory Grid Methode, ein Verfahren, bei dem die Teilnehmer gebeten werden, eine begrenzte Anzahl von Gestaltungsvarianten hinsichtlich ausgewählter Kriterien bzw. Leitfragen vergleichend zu bewerten (siehe Hassenzahl & Wessler, 2000).

Teilnehmer

Einzelinterviews sind im Allgemeinen sehr zeitaufwändig in der Durchführung und Auswertung und deshalb mit einer geringeren Teilnehmerzahl als beispielsweise schriftliche Befragungen verbunden. Um dennoch interindividuelle Unterschiede und Gemeinsamkeiten ermitteln zu können, sollten die Teilnehmer genau hinsichtlich der betreffenden Unterscheidungsmerkmale spezifiziert und ausgewählt werden. Dies kann beispielweise über eine vorgeschaltete telefonische Kurzbefragung erfolgen.

Auch im Zusammenhang mit Einzelinterviews ist gerade bei der Befragung von testun-erfahrenen Probanden von einer Verzerrung der Ergebnisse im Sinne der sozialen Erwünschtheit auszugehen. Danach betonen Teilnehmer in ihrem Antwortverhalten vermeintlich positive Eigenschaften und Merkmale und versuchen, sozial unerwünschtes Verhalten und Eigenschaften zu verbergen. Diesem Effekt lässt sich in Teilen durch eine vertrauensvolle Gesprächssituation und die Zusicherung und Einhaltung von kompletter Anonymität begegnen (Bortz & Döring, 2002)

Versuchsleiter

Einzelinterviews erfolgen mündlich im Rahmen einer persönlichen oder telefonischen Befragung, wobei letztere ausschließlich bei sehr kurzen Interviews (maximal zehn Minuten) und wenig privaten Themen geeignet erscheinen (Bortz & Döring, 2002). Um bei dieser Interaktion Versuchsleitereffekte zu vermeiden, sollte der Interviewer sorgfältig ausgewählt und geschult werden. So ist es Aufgabe des Interviewers, eine angenehme Gesprächssituation zu schaffen, aktiv zuzuhören und keine eigene Meinung oder Wertung in das Interview einzubringen. Darüber hinaus sollte der Versuchsleiter über entsprechendes Fachwissen verfügen, um Gesagtes einordnen und eventuelle Rückfragen formulieren zu können (vgl. Mitzer & Dijkstra, 2011).

Ergebnisse

Die Dokumentation des Gesagten erfolgt entweder schriftlich (z. B. über ein Ergebnisprotokoll) oder über Video- bzw. Audioaufzeichnung, wobei letztere das Einverständnis des Interviewten voraussetzen. Die resultierenden Daten sind qualitativer Art und bedürfen einer sorgfältigen Textanalyse, deren Herausforderung darin besteht, Regelmäßigkeiten und Unterschiede zwischen einzelnen Teilnehmern zu erkennen und entsprechende Trends zu quantifizieren (eine beispielhafte Einführung in die qualitative Inhaltsanalyse gibt Mayring, 2008). Das methodische Vorgehen sieht dabei vor, die Video-/Audiodateien zunächst anhand vorgegebener Analyseeinheiten und -merkmale zu transkribieren. Die Daten werden anschließend durch mindestens zwei unabhängige Rater anhand eines zu entwickelnden Kodiersystems kategorisiert und ausgewertet. Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Rater (Interrater-Reliabilität) bestimmt die Qualität der Analyse. Diese lässt sich durch ein gut begründetes Kodiersystem wie auch eine umfassende Schulung der Rater positiv beeinflussen.

Stärken und Schwächen

Die Stärken der Methode werden darin gesehen, dass Interviews in ihrer Entwicklungsökonomie weitaus günstiger sind als Fragebögen. Gerade im Hinblick auf die Befragung älterer Nutzer ist positiv hervorzuheben, dass der Interviewer sich in seinen Fragen flexibel an die Aussagen des Befragten und an unvorhergesehene Wendungen (wie z. B. vorzeitige Unterbrechung des Gesprächs, Verständnisschwierigkeiten) anpassen kann. Darüber hinaus lässt sich auch bei mehr- oder uneindeutigen Antworten Klärung schaffen und die Beobachtung verbalen wie auch nonverbalen Verhaltens (Gestik, Mimik) geben Aufschluss über Informationen, die sich in anderen Evaluationskontexten nicht oder nur eingeschränkt erschließen lassen. In Abgrenzung zur Fokusgruppe lassen sich beim Einzelinterview auch private Themen, wie z. B. die gesundheitliche Situation der Teilnehmer oder der Umgang mit persönlichen Problemen, behandeln. Nachteilig ist bei dieser Methode anzumerken, dass sowohl die Durchführung der Sitzungen als auch die Auswertung der Ergebnisse mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden sind.

6.3. Gruppeninterview (Fokusgruppe)

Eine weitere Form der Befragung ist das Gruppeninterview, das zumeist in Form von Fokusgruppen durchgeführt wird. Das methodische Vorgehen entspricht im Grunde einer parallelen Durchführung von mehreren Interviews, wobei die Teilnehmer jeweils durch die Diskussionsbeiträge der anderen in ihren Meinungen und Äußerungen beeinflusst werden.

Ziele für die Produktentwicklung

Der deskriptive Einsatz von Fokusgruppen in frühen Entwicklungsphasen (Schritt 1) verfolgt das Ziel, Innovationspotentiale anhand der aktuellen Lebensumstände, Probleme oder auch Einstellungen der Zielgruppen zu ermitteln. Beispielsweise nutzten Melenhorst und Kollegen (2006) die Methode, um die Nutzungsvorteile traditioneller vs. neuer Kommunikationswege (z. B. Brief, Email, Telefon) in ausgewählten Situationen des täglichen Lebens aus Sicht älterer Erwachsener zu ermitteln und vergleichend zu bewerten. Der Einsatz der Methode erfolgt in Abhängigkeit der Abstraktheit bzw. Spezifität der Fragestellung wahlweise mit potentiellen Nutzern oder Nutzervertretern.

Der prädiktive Einsatz der Methode in frühen Phasen (Schritt 3) erfolgt ausschließlich mit Nutzervertretern (d. h. Usability Professionals, Mediziner, Gerontologen, Psychologen), die auf Basis ihrer Informationen über die Zielgruppe vorausschauend bewerten, wie gut das Produkt angenommen wird, grobe Systemmängel detektieren und möglicherweise Verbesserungsvorschläge generieren. Auch ist an dieser Stelle die Skizzierung unterschiedlicher Szenarien, die das zu entwickelnde System beinhalten, sowie deren Bewertung und Analyse durch die Interviewten denkbar.

Auf der Basis von funktionsfähigen Prototypen (Schritt 5) lassen sich Gruppeninterviews in späteren Produktentwicklungsphasen insbesondere als Ergänzung zu beobachtenden Verfahren einsetzen, um weiterführende Informationen und Bewertungen zu den Erfahrungen mit der Systeminteraktion einzuholen und bereits erzielte Befunde zu validieren.

Untersuchungsgegenstand: Strukturierung des Gruppeninterviews

Grundlage für das Gruppeninterview ist ein halb- oder teilstrukturierter Leitfaden. Der Leitfaden gibt die Inhalte wie auch Reihenfolge der zu behandelnden Themen und Fragestellungen vor. Die Formulierung der Fragen durch den Versuchsleiter/Moderator erfolgt frei in Abhängigkeit der Gesprächssituation., was der Dynamik einer Gruppendiskussion entgegenkommt Bei der Erstellung des Leitfadens ist darauf zu achten, dass

die Untersuchungsmethode ausschließlich offene Antwortformate erlaubt. Um sicher zu stellen, dass die interviewten Personen die Fragen verstehen und in der gleichen Weise interpretieren wie der Versuchsleiter und Moderator, sollte der Leitfaden vorab an einer kleinen Personengruppe pilotiert werden. Eine entsprechende Teilstandardisierung erlaubt darüber hinaus, Ergebnisse über unterschiedliche Gruppen hinweg zu vergleichen und Aussagen zu generalisieren (Bortz & Döring, 2002).

Teilnehmer

Eine Fokusgruppe setzt sich idealerweise aus fünf bis zwölf Teilnehmern zusammen, die über Expertenwissen aus unterschiedlichen Domänen verfügen und bereit sind, sich aktiv in eine Diskussion einzubringen. Da das Diskussionsergebnis nicht die Differenziertheit der Meinungen der einzelnen Teilnehmer, sondern vielmehr einen Gruppenkonsens abbildet (vgl. Fisk et al., 2009; Krueger & Casey, 2008), entscheidet die Gruppenzusammensetzung über die Aussagekraft der Ergebnisse. Eine homogene Zusammensetzung erlaubt, unterschiedliche Meinungen über mehrere Gruppen hinweg zu vergleichen, die sich jeweils hinsichtlich des eines bestimmten Kriteriums (z. B. Alter, Gesundheit) unterscheiden. Eine heterogene Gruppenzusammensetzung kann genutzt werden, um konträre Sachverhalten und Meinungen innerhalb einer Sitzung gegenüberzustellen. So zeigen beispielsweise die Erfahrungen mit dem „Seniorenbeirat für die Produktentwicklung“, dass die Zusammensetzung von Gruppen nach technischem Vorwissen und Erfahrungshintergrund von großer Bedeutung dafür ist, wie nutzbar die so gewonnenen Erkenntnisse und Einsichten der Zielgruppe für Ingenieure und Produktentwickler sind. Ein ausgeglichener Anteil von technischen Experten in Kombination mit technischen Laien erweist sich hier von Vorteil.

Gerade bei Fokusgruppen ist aufgrund der entstehenden Gruppendynamik von einer Verzerrung der Ergebnisse im Sinne der sozialen Erwünschtheit auszugehen. Danach betonen Teilnehmer in ihrem Antwortverhalten vermeintlich positive Eigenschaften und Merkmale und versuchen, sozial unerwünschtes Verhalten und Eigenschaften zu verbergen. Diesem Effekt lässt sich durch eine vertrauensvolle Gesprächssituation begegnen (Bortz & Döring, 2002)

Versuchsleiter

Das Gruppeninterview wird durch einen Moderator anhand eines teilstandardisierten Interviewleitfadens geleitet. Dieser sollte über entsprechendes Fachwissen verfügen, um Gesagtes einordnen und eventuelle Rückfragen formulieren zu können. Es ist Aufgabe des Moderators, eine angenehme Gesprächssituation zu schaffen, für eine aus-

gegliche Verteilung der Teilnehmerbeiträge zu sorgen und unterschiedliche Standpunkte ohne Wertung aufzunehmen. Ein Ko-Moderator übernimmt die Visualisierung der Beiträge über Flipchart, Whiteboard oder Pinnwände. Diese ist ein wichtiges Element für die Strukturierung der Diskussion und dient gleichzeitig als Gedankenstütze für Moderator wie auch Teilnehmer (Krueger & Casey, 2009).

Ergebnisse

Die Dokumentation der Ergebnisse ist Aufgabe eines Ko-Moderators. Diese erfolgt gerade in frühen Pilotierungsphasen oder im Rahmen nicht-wissenschaftlicher Untersuchung schriftlich, z. B. über ein Ergebnisprotokoll. Für eine detaillierte und wissenschaftliche Aufbereitung der Daten oder zur Rückversicherung bietet sich zusätzlich eine Video- bzw. Audioaufzeichnung an, die allerdings das vorherige Einverständnis aller Teilnehmer voraussetzt (Fisk et al., 2009). Die resultierenden Daten sind qualitativer Art und bedürfen einer sorgfältigen Textanalyse, deren Herausforderung darin besteht, Regelmäßigkeiten und Unterschiede zwischen einzelnen Teilnehmern zu erkennen und entsprechende Trends zu quantifizieren (eine beispielhafte Einführung in die qualitative Inhaltsanalyse gibt Mayring, 2008). Das methodische Vorgehen sieht dabei vor, die Video-/Audiodateien zunächst anhand vorgegebener Analyseeinheiten und -merkmale zu verschriften. Die Daten werden anschließend durch mindestens zwei unabhängige Rater anhand eines zu entwickelnden Kodiersystems kategorisiert und ausgewertet. Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Rater (Interrater-Reliabilität) bestimmt die Qualität der Analyse. Diese lässt sich durch ein gut begründetes Kodiersystem wie auch eine umfassende Schulung der Rater positiv beeinflussen.

Stärken und Schwächen

Die Stärken der Methode sind vergleichbar mit den Vorzügen von Einzelinterviews. So lassen sich Fokusgruppen schnell und kostengünstig durchführen und decken durch die Flexibilität in der Schwerpunktsetzung und Themenwahl ein weites Anwendungsfeld ab. Nachteilig bei dieser Form der Gruppendiskussion ist, dass das Ergebnis sehr stark von den inhaltlichen und rhetorischen Fähigkeiten der Moderatoren und der Diskussionsbereitschaft der Teilnehmer abhängig ist. Darüber hinaus ist die Auswertung der Ergebnisse mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden.

6.4. Beobachtung

Verhaltensbasierte Methoden haben eine besondere Bedeutung für die altersgerechte Produktentwicklung, da sie einen unmittelbaren und weitgehend objektiven Einblick in das Erleben und Verhalten potentieller Nutzer bei der Interaktion mit neuen technischen Lösungen erlauben. So sieht die Methode der Beobachtung vor, dass ein Studienteilnehmer im Alltag oder während der Interaktion mit dem zu erprobenden System von einer unabhängigen Person beobachtet wird.

Ziele für die Produktentwicklung

In einer frühen Phase der Produktentwicklung (Schritt 1) wird die Beobachtung ausschließlich deskriptiv eingesetzt. Entsprechend werden potentielle Nutzer im Umgang mit verwandten technischen Lösungen (bzw. Vorvarianten) in ihrem Erleben und Verhalten beobachtet, um spezifische Anforderungen an Neuentwicklungen ableiten zu können (z. B. Verbesserung der visuellen Gestaltung, Verbesserung fehleranfälliger Funktionen, Entfernung ungenutzter Features).

Die Anwendung der Methode im Zusammenhang mit ausgereiften Prototypen, Simulationen (beispielsweise Wizard of Oz; Kelley, 1984) oder Produkten verfolgt zum einen das Ziel, über die genaue Lokalisierung von Problemen Gestaltungs- und Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten. Auf Basis von frühen Prototypen und Teilfunktionalitäten (Schritt 4) erfolgt dies vor allem mit Nutzervertretern (wie z. B. Gerontologen, Psychologen, Usability Engineers), für die Erprobung funktionsfähiger Gesamtsysteme (Schritt 5) werden vorrangig potentielle Endnutzer rekrutiert. Darüber hinaus ermöglicht ein strukturiertes Vorgehen bei der Beobachtung die vergleichende Bewertung unterschiedlicher Gestaltungsalternativen oder Systeme (z. B. Produkt vs. Konkurrenzprodukt).

Untersuchungsgegenstand

Abhängig von Untersuchungsziel und Beobacherverhalten werden mehrere Formen von Beobachtung unterschieden. Die Alltagsbeobachtung dient der freien Beobachtung im Feld und eignet sich damit insbesondere für die Exploration eines Themenfelds ohne explizite Hypothese. Die wissenschaftliche Form der Beobachtung ist die systematische Beobachtung, die sich an einem zu erarbeitenden Beobachtungsplan orientiert. Dieser schreibt vor, welche Aspekte des Erlebens und Verhaltens einer Versuchsperson beobachtet werden sollen, in welchem organisatorischen Rahmen die Untersuchung stattfindet (zumeist im Labor) und auf welche Weise die Dokumentation und

Auswertung der Daten erfolgen. Eine entsprechende Standardisierung der Testbedingungen ist von Vorteil, da sich die Ergebnisse so über mehrere Systeme oder Gestaltungsalternativen vergleichen lassen (Greve & Wentura, 1997).

Im Allgemeinen sieht der Beobachtungsplan eine Reihe von Leitfragen oder Aufgaben vor, die die Teilnehmer in einer vorgegebenen Reihenfolge bearbeiten. Die Beobachtung dabei erfolgt anhand vordefinierter Kriterien. Neben reinen Performanzdaten (z. B. Bearbeitungszeit für eine Aufgabe, Verhältnis zwischen erfolgreichen und fehlerhaften Aktionen, Fehleranzahl, Wartezeiten für Nutzereingaben) lassen sich auch der mimische und gestische Ausdruck der Versuchspersonen (z. B. Stirnrunzeln, Schmunzeln, Verärgerung) berücksichtigen. Da fehleranfällige Systeme die Interaktion und Bewertung negativ beeinflussen können (z. B. lange Wartezeiten), sollten die zu erprobenden Systemfunktionalitäten möglichst robust und realitätsgetreu umgesetzt sein (Sarodnick & Brau, 2006).

Die Differenzierung von Beobachtungsformen nach dem Beobachterverhalten sieht eine Unterscheidung von teilnehmenden und beobachtenden Verfahren vor. Bei der teilnehmenden Beobachtung bringt sich der Beobachter (z. B. durch Anwesenheit, Rückfragen und Arbeitsaufträge) direkt in die Versuchssituation ein. Der Versuchsleiter hat damit einen unmittelbaren Einblick in das Geschehen, seine Präsenz kann jedoch den Versuchsablauf beeinflussen und von der Versuchsperson als störend empfunden werden. Ein rein beobachtendes Vorgehen, bei dem der Versuchsleiter ausschließlich auf die Einhaltung des Beobachtungsplans und die Protokollierung der Ergebnisse fokussiert, wird demnach in wissenschaftlichen Untersuchungen bevorzugt (Greve & Wentura, 1997). Alternativ empfiehlt sich die zeitversetzte retrospektive Beobachtung auf Basis von Videoaufzeichnungen im Nachgang einer Sitzung. Dieses Vorgehen erfordert das vorherige Einverständnis der Teilnehmer für die Videoaufzeichnung, ermöglicht jedoch eine detaillierte Analyse aller beobachtbaren Aktionen und Reaktionen (vgl. Gediga & Hamborg, 2002).

Teilnehmer

Im Zusammenhang mit verhaltensbasierten Methoden ist grundsätzlich mit einer geringeren Teilnehmerzahl als bei Befragungen zu rechnen, da die Durchführung und Auswertung der Testungen mit einem hohen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden ist. Gilt es, wie z. B. bei Alltagsbeobachtungen, einen groben Einblick in ein Themenfeld zu bekommen, sind Teilnehmerzahlen von fünf bis zehn Personen ausreichend. Bei der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen sollte hingegen auf statistisch verwertbare Stichprobengrößen und die Repräsentativität der Teilnehmerzu-

sammensetzung geachtet werden (z. B. technische Vorerfahrung, Gesundheit, Geschlecht).

Da die meisten Beobachtungen offen durchgeführt werden (d. h. die Teilnehmer wissen, dass sie beobachtet werden) ist gerade zu Beginn der Beobachtungsphase mit reaktiven Effekten zu rechnen. Danach könnten die Teilnehmer über das Ziel der Untersuchung spekulieren und bewusst sozial erwünschtes bzw. unerwünschtes Verhalten zeigen (Greve & Wentura, 1997).

Versuchsleiter

Aufgabe des Versuchsleiters, in diesem Fall des Beobachters, ist es, das Geschehen objektiv, unauffällig und aufmerksam zu protokollieren. Die Vielzahl an Aktionen und Reaktionen erfordern ein schnelles und automatisiertes Handeln in der Beobachtungssituation. Eine umfassende Einführung in den Beobachtungsplan (zu beobachtende Merkmale, Abstraktionsniveau, Abkürzungen etc.) sowie Gelegenheit zum Training, beispielsweise auf der Basis von Videodaten, bestimmen somit die Qualität der erzielten Daten. Um Versuchsleitereffekte zu vermeiden, ist dem Beobachter die der Untersuchung zugrunde liegende Hypothese häufig nicht bekannt (Greve & Wentura, 1997). Darüber hinaus sollte der Versuchsleiter nicht an der Entwicklung des Systems beteiligt sein (vgl. Durchführungsobjektivität).

Ergebnisse

Die Beobachtung zählt zu den qualitativen Verfahren und bedarf demnach einer Textanalyse auf Basis der Beobachtungsprotokolle oder der aufgezeichneten Videodaten (eine beispielhafte Einführung gibt Mayring, 2008). Während die Kategorisierung der Daten bei der Beobachtung ohne technische Unterstützung bereits im Prozess erfolgt, erfordert die Analyse der Videodaten eine Verschriftung der Ergebnisse gemäß der im Beobachtungsplan vorgesehenen Analysekriterien. Um die Validität der Ergebnisse zu überprüfen, werden zwei oder mehr Beobachter parallel eingesetzt und ihre Ergebnisse auf Übereinstimmung getestet.

Die Beobachtung wird häufig in Kombination mit anderen Methoden der Nutzereinbindung, wie z. B. Logfiles (synchronisierte Eingabeprotokolle), Eye-Tracking, Lautes Denken oder auch ergänzenden Befragungen, kombiniert. Die Daten erfordern unterschiedliche Auswertungsmethoden und finden darüber hinaus ebenfalls für die Validierung der erzielten Ergebnisse Einsatz (externe Validität; Bortz & Döring, 2002).

Stärken und Schwächen

Eine große Stärke der Beobachtung besteht darin, dass sie einen unmittelbaren und weitgehend objektiven Einblick in das Erleben und Verhalten potentieller Nutzer bei der Interaktion mit neuen technischen Lösungen erlaubt. Mit dem beschriebenen Vorgehen können positive wie auch negative Systemeigenschaften auch dann detektiert werden, wenn der Nutzer diese nicht genau verbalisieren kann (Nielsen, 1993). Nachteilig ist anzumerken, dass die Beobachtung mit einem hohen personellen und organisatorischen Aufwand sowohl in der Vorbereitung als auch Durchführung verbunden ist. Darüber hinaus ist die Ergebnisqualität direkt von der Objektivität und Aufmerksamkeit der Beobachter abhängig. Durch den Einsatz technischer Hilfsmittel (z. B. Video, Eye-Tracking, Logfiles) kann der Zeitdruck für die Protokollierung und Auswertung der Daten verringert werden.

6.5. Lautes Denken

Das Laute Denken (oder Think Aloud) gehört zu den verhaltensbasierten Methoden der Nutzereinbindung und findet häufig ergänzend zur Beobachtung Einsatz. Ziel der Methode ist es, neben dem objektiv beobachtbaren Verhalten über Selbstbeobachtung auch kognitive und emotionale Prozesse eines Nutzers messbar zu machen (z. B. Nielsen, 1993).

Ziele für die Produktentwicklung

Das Laute Denken fand ursprünglich in der Kognitionspsychologie Einsatz, um kognitive Prozesse beispielsweise bei der Lösung von Problemen und der Verarbeitung von Informationen zu rekonstruieren. Unter diesem Gesichtspunkt lässt sich die Methode auch auf die nutzerzentrierte Produktentwicklung übertragen und vorrangig deskriptiv im Entwicklungsprozess implementieren.

In einer frühen Phase der Produktentwicklung (Schritt 1) lassen sich durch das Laute Denken Nutzungspräferenzen und -probleme bei der Interaktion mit (Vor-)Varianten des zu entwickelnden Systems detektieren und Anforderungen an die Neuentwicklung ableiten (z. B. Aufbau der Menühierarchie, Sichtbarkeit einzelner Funktionen).

Im Zusammenhang mit ausgereiften Prototypen oder Produkten bietet die Methode die Möglichkeit, Probleme in der Nutzerinteraktion genau zu lokalisieren und entsprechende Gestaltungs- und Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten. Auf Basis von frühen Prototypen (Schritt 4) erfolgt dies vor allem mit Nutzervertretern (wie z. B. Gerontolo-

gen, Psychologen, Usability Engineers), für die Erprobung funktionsfähiger Gesamtsysteme (Schritt 5) werden vorrangig potentielle Endnutzer rekrutiert.

Untersuchungsgegenstand

Das methodische Vorgehen orientiert sich an der Beobachtung mit dem Unterschied, dass die Teilnehmer gebeten werden, sich während der Interaktion mit dem System selbst zu beobachten und ihre Beobachtungen zu verbalisieren. Um auf Basis der Methode unterschiedliche Personen bzw. Systeme vergleichend bewerten zu können, werden die Modalitäten und der Ablauf der Untersuchung vorab in einem Leitfaden bzw. Beobachtungsplan festgelegt.

Im Allgemeinen sieht der Leitfaden eine Reihe von Leitfragen oder Aufgaben vor, die die Teilnehmer in einer vorgegebenen Reihenfolge bearbeiten. Parallel werden die Teilnehmer aufgefordert, ihr Erleben und Verhalten während der Interaktion mit dem zu erprobenden System (z. B. Ereignisse, Gedankengänge, Gefühle, Handlungen) lautsprachlich zu beschreiben. Da die Verbalisierung von kognitiven und emotionalen Prozessen zunächst nicht intuitiv ist, werden die Teilnehmer im Vorfeld der Untersuchung in einer Trainingsphase anhand einer Übungsaufgabe (z. B. Recherche im Internet) mit der Methode vertraut gemacht. Während der anschließenden Erprobungsphase sollte den Teilnehmern deutlich sein, dass das Laute Denken mindestens genauso wichtig ist wie das Lösen der Aufgabe.

Die Beobachtung erfolgt anhand vordefinierter Kategorien wie beispielsweise Bearbeitungszeit, Fehlverhalten, Anstrengung oder Stimmung (vgl. Bortz & Döring, 2002). Da die Teilnehmer in ihren Äußerungen beim Lauten Denken nicht beeinflusst werden sollen, decken die Rückmeldungen zumeist nicht alle Beobachtungskategorien ab. Nicht oder nur unzureichend adressierte Aspekte der Interaktion lassen sich im Anschluss an die Erprobung in einem abschließenden Interview diskutieren.

Anders als die Beobachtung sieht das Laute Denken ein teilnehmendes Beobachterverhalten vor. Danach befindet sich der Beobachter zwar außerhalb des unmittelbaren Sichtfelds, kommuniziert jedoch gelegentlich mit den Teilnehmern, um die Selbstbeobachtung zu unterstützen. Dies geschieht beispielsweise über kurze Zwischenfragen, Erinnerungen an die Verbalisierung der Gedanken und Emotionen oder positive Rückmeldungen bezüglich des Methodeneinsatzes. Eine Unterstützung bei der Bearbeitung der Aufgabe ist möglichst zu vermeiden. Darüber hinaus protokolliert der Beobachter das Äußerungen und Verhalten der Teilnehmer gemäß der im Beobachtungsplan festgelegten Kategorien.

Das methodische Vorgehen kann dahingehend abgewandelt werden, dass die Systeminteraktion per Video aufgezeichnet wird und der Teilnehmer seine Eindrücke und sein Verhalten im Rahmen einer Videokonfrontation im Anschluss an die Erprobungsphase kommentiert (retrospektives Lautes Denken).

Teilnehmer

Wie bei der Beobachtung ist grundsätzlich mit einer geringeren Teilnehmerzahl als bei Befragungen zu rechnen, da die Durchführung und Auswertung der Testungen mit einem hohen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden sind. Bei der Teilnehmerauswahl ist demnach auf deren Repräsentativität hinsichtlich relevanter Eigenschaften (z. B. technische Vorerfahrung, Gesundheit, Geschlecht) zu achten.

Insbesondere Teilnehmer, die erstmalig mit der Methode konfrontiert sind, können Schwierigkeiten bei der Verbalisierung von kognitiven Prozesse und Emotionen haben. Diesem Effekt lässt sich jedoch durch die einführende Trainingsphase begegnen. So zeigt eine Meta-Analyse von Fox und Kollegen (2011), dass die Aufforderung zum Lauten Denken keinen Einfluss auf die Performanz in parallel durchgeführten Aufgaben hat.

Daneben kann der Einsatz von Methoden der Selbstbeobachtung zu Reaktivität auf Seiten der Teilnehmer führen, so dass sich Selbstauskunft und aktuelles Erleben und Verhalten wechselseitig beeinflussen und zu verfälschten Ergebnissen führen. Darüber hinaus können die Teilnehmer wie bei allen Methoden der Nutzereinbindung bewusst sozial erwünschtes bzw. unerwünschtes Verhalten berichten (Bortz & Döring, 2002).

Versuchsleiter

Aufgabe des Versuchsleiters, in diesem Fall des Beobachters, ist es, das Geschehen objektiv, unauffällig und aufmerksam zu protokollieren. Die Vielzahl an Aktionen und Reaktionen erfordern ein schnelles und automatisiertes Handeln in der Beobachtungssituation. Eine umfassende Einführung in den Beobachtungsplan (zu beobachtende Merkmale, Abstraktionsniveau, Abkürzungen etc.) sowie Gelegenheit zum Training bspw. auf der Basis von Videodaten bestimmen somit die Qualität der erzielten Daten. Um Versuchsleitereffekte zu vermeiden, ist dem Beobachter die der Untersuchung zugrunde liegende Hypothese häufig nicht bekannt. (Bortz & Döring, 2002). Darüber hinaus sollte der Versuchsleiter nicht an der Entwicklung des Systems beteiligt sein (vgl. Durchführungsobjektivität).

Ergebnisse

Die Äußerungen werden entweder schriftlich mitprotokolliert oder per Video- oder Audioaufzeichnung mitgeschnitten. Letztere erfordern das vorherige Einverständnis der Teilnehmer. Insbesondere die Videoaufzeichnung hat den Vorteil, dass zusätzlich zu den Äußerungen der Probanden nonverbale Kontextinformationen (z. B. Gestik, Mimik) registriert werden, die ggf. zum Verständnis der Äußerungen und deren Auswertung herangezogen werden können (Gediga & Hamborg, 2002). Die Auswertung der Daten orientiert sich an den textanalytischen Verfahren und verfolgt das Ziel, Regelmäßigkeiten und Unterschiede zwischen einzelnen Teilnehmern zu erkennen und entsprechende Trends zu quantifizieren (eine beispielhafte Einführung gibt Mayring, 2008). Das methodische Vorgehen sieht dabei vor, die Beobachtungsdaten (lautsprachliche Äußerungen, ggf. Logfiles und zusätzliche Beobachtungen) zunächst anhand vorgegebener Analyseeinheiten und -merkmale zu verschriften. Die Daten werden anschließend durch mindestens zwei unabhängige Rater anhand eines zu entwickelnden Kodiersystems kategorisiert und ausgewertet. Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Rater (Interrater-Reliabilität) bestimmt die Qualität der Analyse. Diese lässt sich durch ein gut begründetes Kodiersystem wie auch eine umfassende Schulung der Rater positiv beeinflussen.

Stärken und Schwächen

Zu den Stärken der Methode zählt, dass neben objektiv beobachtbarem Verhalten auch kognitive und emotionale Prozesse eines Nutzers messbar gemacht werden können, was ein präzises Verorten von Nutzungsproblemen ermöglicht. Daneben lässt sich das Laute Denken gut mit anderen Methoden der Nutzereinbindung kombinieren. So entsteht beim gemeinsamen Einsatz der Methode mit der Beobachtung, mit Ausnahme der Trainingsphase, kein zusätzlicher Aufwand für die Durchführung einer Sitzung. Nachteilig ist anzumerken, dass die Auswertung und Durchführung wie alle verhaltensbasierten Methoden mit einem hohen zeitlichen und personellen Aufwand verbunden ist.

6.6. Eye-Tracking

Eine weitere Form der Verhaltensbeobachtung besteht in der Registrierung der Blickbewegungen von Nutzern während der Interaktion mit displaygesteuerten Systemen. Die Methode erlaubt zum Teil Rückschlüsse auf kognitive Prozesse und wird häufig ergänzend zur Beobachtung oder zum Lauten Denken eingesetzt.

Ziele für die Produktentwicklung

Die Anwendung von Eye Tracking Verfahren erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit ausgereiften Produkten oder Prototypen, die möglichst robust und realitätsgetreu umgesetzt sind (Schritt 5). Die entsprechenden Systeme werden unter Laborbedingungen und vorrangig mit potentiellen Endnutzern erprobt. Die Blickbewegungsdaten ermöglichen eine genaue Lokalisierung von Problemen und eine Typisierung des Fehlerverhaltens. Von den Daten lassen sich meist direkt Gestaltungs- und Verbesserungsvorschläge ableiten, beispielsweise für die Platzierung von Informationen, die Gestaltung von Menüstrukturen, oder die Auswahl von Bild- und Schriftgrößen (Goldberg & Wichansky, 2003; Jacob & Karn, 2003). Darüber hinaus kann von den Blickbewegungsdaten (mit einigen Einschränkungen) auf die Aufmerksamkeitsverteilung der Nutzer geschlossen werden. Zusätzlich geben die mittlere Fixationsdauer, die Länge des Blickpfads und die Pupillenweite Aufschluss über die kognitive Beanspruchung und damit auch die Einfachheit der Nutzung (z. B. Goldberg, Zak, & Probart, 1999; Rötting, 2001).

Durchführung

Auf dem Markt existiert mittlerweile eine Vielzahl von Blickregistrierungssystemen von diversen Herstellern (z. B. Sensomotoric Instruments GmbH,, Tobii Technologies AB, Smart Eye AB), die sich insbesondere hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung unterscheiden. Für die Durchführung von Studien im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung sind meist schon Systeme mit einer zeitlichen Auflösung von 60 Hz und einer räumlichen Genauigkeit von 0.5° Sehwinkel ausreichend. Die entsprechenden Systeme gibt es entweder in einer Kopf getragenen Variante (head mounted system) oder als Stand-Alone Lösung, die zum Beispiel an einem Monitor angebracht werden kann (Duchowski, 2007). Die räumliche Ausdehnung der Blickbewegungen wird bei den meisten Messsystemen über die Pupillen-Kornealreflex-Methode erfasst. Danach gibt das räumliche Verhältnis zwischen der Pupillenmitte und einem mittels Infrarotlicht erzeugten Reflex auf der Hornhaut (Cornea) Aufschluss über die Blickposition und Blickrichtung (Wohlschläger & Backes, 2007). Da dieser Parameter von individuellen Bedingungen (z. B. Pupillengröße, Körpergröße, Augenform, Augenfarbe) abhängig ist, erfordert eine valide Registrierung eine initiale Kalibrierung des Eye-Tracking Systems für jeden Teilnehmer.

Der Ablauf eines Eye-Tracking Experiments orientiert sich an einem Leitfaden, der gleichzeitig die Grundlage für das Experimentalprogramm zur Steuerung des Tracking-Systems ist. In diesem Leitfaden wird festgelegt, in welcher Reihenfolge und wie lange einzelne Stimuli präsentiert werden sollen. Darüber hinaus ist die Einbindung zusätzli-

cher Elemente wie Instruktionen, Fragebögen oder Distraktoren möglich. Bei der Auswahl des Stimulusmaterials wird zwischen statischen und bewegten Bildern unterschieden. Da es kaum automatisierte Auswertungsverfahren für bewegte Bilder (d. h. Videos, freie Exploration einer Benutzerschnittstelle) gibt, erfahren statische Stimuli (z. B. Screenshots, Photos) bevorzugt Verwendung. Durch die beschriebene Standardisierung der Testbedingungen lassen sich Ergebnisse über mehrere Systeme oder Gestaltungsalternativen vergleichen.

Teilnehmer

Bei der Rekrutierung von Teilnehmern ist mit einer hohen Ausfallquote zu rechnen. So führt die Aufzeichnung von Blickbewegungen bei älteren Erwachsenen aufgrund alterskorrelierter Visuserkrankungen, wie grauer Star, grüner Star oder Makuladegeneration, und physiognomischen Veränderungen, wie hängende Augenlider und verengte Pupillen, in annähernd 30 Prozent der Fälle zu Schwierigkeiten (vgl. Kapitel 2.1.1.). Auch die Kalibrierung und Aufzeichnung von Personen mit harten Kontaktlinsen, Gleitsichtbrillen oder rahmenlosen Brillengestellen kann Probleme verursachen. Entsprechende Informationen lassen sich beispielweise über eine vorgeschaltete telefonische Kurzbefragung erfragen. Während der Blickbewegungsregistrierung sind die Teilnehmer aufgefordert, sich möglichst ruhig zu verhalten, d. h. die Sitzungsdauer sollte auf ein zeitliches Minimum beschränkt sein und sich an der gesundheitlichen Situation der Teilnehmer orientieren.

Die Methode findet vorrangig in Laboruntersuchungen Anwendung. Die Umgebungsbedingungen sowie die genannten Verhaltensrestriktionen können das Teilnehmerverhalten beeinflussen (z. B. Spekulationen über den Sinn der Untersuchung, erhöhte Beanspruchung, sozial erwünschtes bzw. unerwünschtes Verhalten).

Versuchsleiter

Obwohl handelsübliche Geräte über weitgehend intuitive Benutzerschnittstellen verfügen, bedarf die Planung und Durchführung von Eye-Tracking Studien einigem Training und Vorwissen bezüglich des visuellen Systems. Insbesondere bei problematischen Versuchsbedingungen (z. B. Brille, Kontaktlinsen, Physiognomie) können zusätzliche Erfahrungswerte und Handlungshilfen die Qualität der Kalibrierung positiv beeinflussen und so den Teilnehmerausfall verringern (vgl. Holmqvist, Nystrom et al., 2011).

Ergebnisse

Augenbewegungen lassen sich grob in die drei Klassen der stabilisierenden Augenbewegungen, der zielsuchenden Augenbewegungen und der Mikrobewegungen einordnen (Joos, Rötting, & Velichkovsky, 2003). Eine zentrale Rolle bei der visuellen Informationsaufnahme spielen relativ stabile Blickausrichtungen in Form von Fixationen. Dabei wird über mehrere hundert Millisekunden ein idealerweise ruhendes Objekt auf der Fovea centralis, dem Ort des schärfsten Sehens, abgebildet (Büttner & Siebold, 2003) und kognitiv verarbeitet. Die Dauer einer Fixation ist stark von der jeweiligen Aufgabe abhängig. So beträgt die mittlere Fixationsdauer beim Lesen 225 ms, bei der Betrachtung visueller Szenen 330 ms und beim Tippen in etwa 400 ms (vgl. Rayner, 1998). Neben der Fixationsdauer zählen die Fixationsanzahl, die Fixationsdichte, die Länge des Blickpfads sowie die Verweildauer in ausgewählten Bildanteilen (sogenannten areas of interest) zu den am häufigsten verwendeten Parametern bei Studien im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung (Goldberg & Wichansky, 2003; Rötting, 2001). Die Auswertung der Blickbewegungsdaten entsprechend dieser Parameter erfolgt insbesondere bei statischen Stimuli automatisiert über die Herstellerprogramme. Dynamische Stimuli erfordern eine manuelle Auswertung oder die Programmierung geeigneter Analyseprogramme.

Stärken und Schwächen

Eine Stärke der Methode liegt darin, dass sich Probleme in der Interaktion mit Nutzerschnittstellen sehr genau verorten lassen und Rückschlüsse auf kognitive Prozesse erlauben. Nachteilig ist anzumerken, dass die Datenerfassung und -auswertung sehr zeitaufwändig ist. Da die Blickbewegungsregistrierung mit vielen potentiellen Störvariablen verbunden ist, lässt sich von visuellen Aufmerksamkeitsprozessen nicht uneingeschränkt auf kognitive Prozesse (Belastung, Aufmerksamkeit) schließen (Irwin, 2004). Aus diesem Grund wird eine Kombination mit anderen Methoden der nutzerzentrierten Produktentwicklung, wie beispielsweise Interviews oder Fragebögen, empfohlen, um die erzielten Ergebnisse zu validieren. Schließlich müssen auch die hohen Anschaffungskosten für das Eye Tracking System und die Auswertungssoftware als Nachteile angeführt werden.

6.7. Pilotierung

Während die bislang beschriebenen verhaltens- und einstellungsbasierten Methoden vorrangig in experimentellen (Labor-)Umgebungen Einsatz finden, wird im Rahmen einer Pilotierung ein Produkt oder Prototyp unter Alltagsbedingungen (z. B. im häuslichen Umfeld, im Auto, am Arbeitsplatz) getestet.

Ziele für die Produktentwicklung

Die Pilotierung findet ausschließlich im Zusammenhang mit ausgereiften Produkten oder realitätsgetreu umgesetzten Prototypen Anwendung (Schritt 6). Ziel dieses Verfahrens ist es, die Robustheit eines Systems unter Alltagsbedingungen über einen längeren Testzeitraum zu überprüfen und Rückmeldungen für dessen weitere Optimierung zu sammeln. Darüber hinaus bietet die längsschnittliche Erprobung eines Produkts beispielsweise im Gesundheitskontext die Möglichkeit Auswirkungen der Nutzung auf die Lebensbedingungen der Teilnehmer (z. B. Gesundheit, Selbständigkeit, Lebensqualität; vgl. klinische Studie) zu untersuchen.

Durchführung

Das methodische Vorgehen sieht vor, dass Teilnehmer das zu evaluierende System unter Alltagsbedingungen erproben. Wie alle Methoden der Befragung oder Beobachtung orientiert sich die Pilotierung an einem Leitfaden bzw. Studienprotokoll, das die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über unterschiedliche Teilnehmer und Gestaltungsvarianten hinweg ermöglicht. Darin wird beispielsweise festgelegt, ob der Erprobungsphase eine Trainingsphase vorangestellt wird und welche Informationen in diesem Zusammenhang vermittelt werden. Darüber hinaus definiert der Leitfaden den Pilotierungszeitraum und die Teilnahmemodalitäten (z. B. wer kann an der Untersuchung teilnehmen? wie häufig und in welchen Situationen sollen die Teilnehmer das Produkt anwenden und bewerten?). Die beschriebene Erprobungsphase wird durch eine Kombination aus einstellungs- wie auch verhaltensbasierten Methoden begleitet. Über die Aufzeichnung von Logfiles, das Führen von Nutzungstagebüchern und initiale sowie abschließende Befragungen der Teilnehmer erhalten Entwickler Aufschluss über Vor- und Nachteile des Systems (vgl. Sarodnick & Brau, 2006).

Mit Ausnahme der Nutzungstagebücher sind die Methoden bereits an einer anderen Stelle im Text beschrieben. Erstere sehen vor, dass Teilnehmer im Laufe einer Pilotierungsphase wiederholt ihre aktuelle Situation bzw. die Nutzung des Systems bewerten. Die Bewertung erfolgt jeweils anhand vorgegebener Fragen und Kategorien entweder

zu ausgewählten Tageszeiten oder in Abhängigkeit einzelner Ereignisse (z. B. mehrmals täglich, täglich, wöchentlich, bei jeder Autofahrt, bei jeder Medikamenteneinnahme). Die Befragung ist in das Alltagsgeschehen integriert und kann damit nur wenige Minuten in Anspruch nehmen, was die Auswahl geeigneter Instrumente einschränkt. Die Bewertungskategorien umfassen beispielsweise die Systemfunktionalität (Einfachheit, Nützlichkeit etc.) oder das Nutzererleben und –verhalten (z. B. Emotion, Anstrengung). Die Dokumentation erfolgt dabei entweder über ein klassisches Tagebuch (paper-pencil) oder digital über einen PDA, Computer oder Online-Fragebogen. Nutzungstagebücher bieten vor allen anderen Methoden den Vorteil, dass das Erlebte unmittelbar in der Alltagssituation dokumentiert und evaluiert wird (Borger, Davis, & Rafaeli, 2003). Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit der altersgerechten Produktentwicklung von Bedeutung, da die retrospektive Evaluation, wie sie beispielsweise in Befragungen zum Abschluss der Pilotierungsphase eingesetzt wird, bei älteren Erwachsenen zu einer positiven Verzerrung der Ergebnisse führen kann (vgl. Ready, Weinberger, & Kones, 2007).

Teilnehmer

Pilotierungen sind sehr zeitaufwändig in der Durchführung und deshalb mit einer geringeren Teilnehmerzahl als Befragungen und Beobachtungen im Kontext der formativen Evaluation verbunden. Insbesondere bei der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen sollte dennoch auf statistisch verwertbare Stichprobengrößen und die Zusammensetzung der Teilnehmergruppe hinsichtlich der relevanten Unterscheidungsmerkmale (z. B. technische Vorerfahrung, Gesundheit, Geschlecht) geachtet werden.

Die zeitliche Belastung, die durch die Einführungsphase, wiederholte Befragungen und Beobachtungen in der Erprobungsphase sowie die abschließende Befragung entsteht, erfordert ein großes Engagement der Teilnehmer und kann damit zu einer positiven Stichprobenselektivität führen. Darüber hinaus ist nicht geklärt, inwieweit wiederholte Befragungen, wie sie beispielsweise beim Einsatz von Nutzungstagebüchern erfolgen, Effekte auf das Antwortverhalten der Teilnehmer haben (z. B. Habituation, Reaktanz, soziale Erwünschtheit; Bolger et al., 2003).

Versuchsleiter

Die Planung, Durchführung und Auswertung von Pilotierungen ist mit hohem personalem wie auch zeitlichen Aufwand verbunden. Um sicherzustellen, dass die Pilotierung gemäß des Studienprotokolls abläuft, ist eine umfassende Einführung der Teilnehmer

in die eingesetzten Forschungsmethoden nötig, da eventuelle Verständnisschwierigkeiten nicht in der Untersuchungssituation geklärt werden können (Reis & Gable, 2000). Darüber hinaus muss selbst beim Einsatz ausgereifter und wenig stör anfälliger Produkte und Prototypen über den gesamten Pilotierungszeitraum die Betreuung der Teilnehmer bei Rückfragen, Systemausfall oder -wartung, sicher gestellt sein. Der kombinierte Einsatz von einstellungs- wie auch verhaltensbasierten Methoden setzt eine hohe Methodenkompetenz in der Durchführung und Auswertung der einzelnen Verfahren voraus.

Ergebnisse

Das längsschnittliche Vorgehen sowie der kombinierte Einsatz von einstellungs- und verhaltensbasierten Methoden sichern eine hohe Validität und Reliabilität der Ergebnisse einer Pilotierung. Die Datenauswertung erfolgt in Abhängigkeit der Methode mittels qualitativer oder quantitativer Verfahren.

Die erzielten Daten ermöglichen es, die Nutzung eines Produkts auf unterschiedlichen Ebenen zu verstehen und in der Folge zu optimieren. So erlauben die zu erwartenden Ergebnisse zum einen Rückschlüsse auf die Bedingungen der Systemnutzung (d. h. in welchen Situationen wird ein Produkt genutzt? welche Funktionen und Eigenschaften werden genutzt?) und dessen Evaluation (d. h. wie werden die Funktionen und Eigenschaften bewertet? unterscheidet sich die Bewertung in Abhängigkeit des Kontexts oder der Zielgruppe?). Darüber hinaus lassen sich durch die längsschnittliche Begleitung der Teilnehmer inter- wie auch intraindividuelle Unterschiede in der Akzeptanz und Nutzung des Produkts über die Zeit (z. B. wie verändert sich das Nutzungsverhalten über die Zeit? gibt es Trainingseffekte?) sowie dessen Auswirkungen auf die Alltagsgestaltung einer älteren Zielgruppe untersuchen.

Stärken und Schwächen

Durch die Erprobung eines Produkts oder Prototyps im Feld lassen sich in der Anwendungssituation Rückmeldungen zu Systemeigenschaften wie auch potentiellen Effekten der Systemnutzung generieren, die sich durch eine hohe Validität und Reliabilität auszeichnen. Jedoch lässt sich die Pilotierung nur schwierig in den Produktentwicklungsprozess integrieren, da sie zum einen mit einem hohen personalen wie auch organisatorischen Aufwand verbunden ist, zum anderen ausschließlich auf Basis robuster und funktionsfähiger Produkte Einsatz finden kann. Diese sind zumeist erst zum Ende des Entwicklungsprozesses verfügbar, in dem keine weiteren Iterationsschleifen im Gestaltungsprozess vorgesehen sind. Die erzielten Ergebnisse finden demnach häufig

frühestens bei der Konzeption von Folgeprodukten oder Variantenkonstruktionen Berücksichtigung.

7. Altersgerechte Produktentwicklung am Beispiel „Fitnessbegleiter“

Martin Rulsch, Bettina Williger, Christina Stöber, Frieder R. Lang & Harald Meerkamm

Die vorgestellten Methoden und Prozesse der altersgerechten Produktentwicklung fanden im Rahmen der Aktivitäten des Forschungsverbundes FitForAge direkte Erprobung. Im folgenden Kapitel werden am Beispiel des Projekts „Fitnessbegleiter“, welches in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Abteilung für Bildverarbeitung und Medizintechnik, bearbeitet wurde, die Anwendung ausgewählter Methoden und Leitlinien sowie der Produktentwicklungsprozess skizziert. Da sich das Projekt in einem sehr frühen Stadium der Produktentwicklung befand, fokussierte die Kooperation insbesondere auf eine umfassende Anforderungsanalyse und die Umsetzung und Evaluierung erster prototypisch umgesetzter Teilfunktionalitäten. Bild 63 zeigt den Entwicklungsprozess im Überblick.

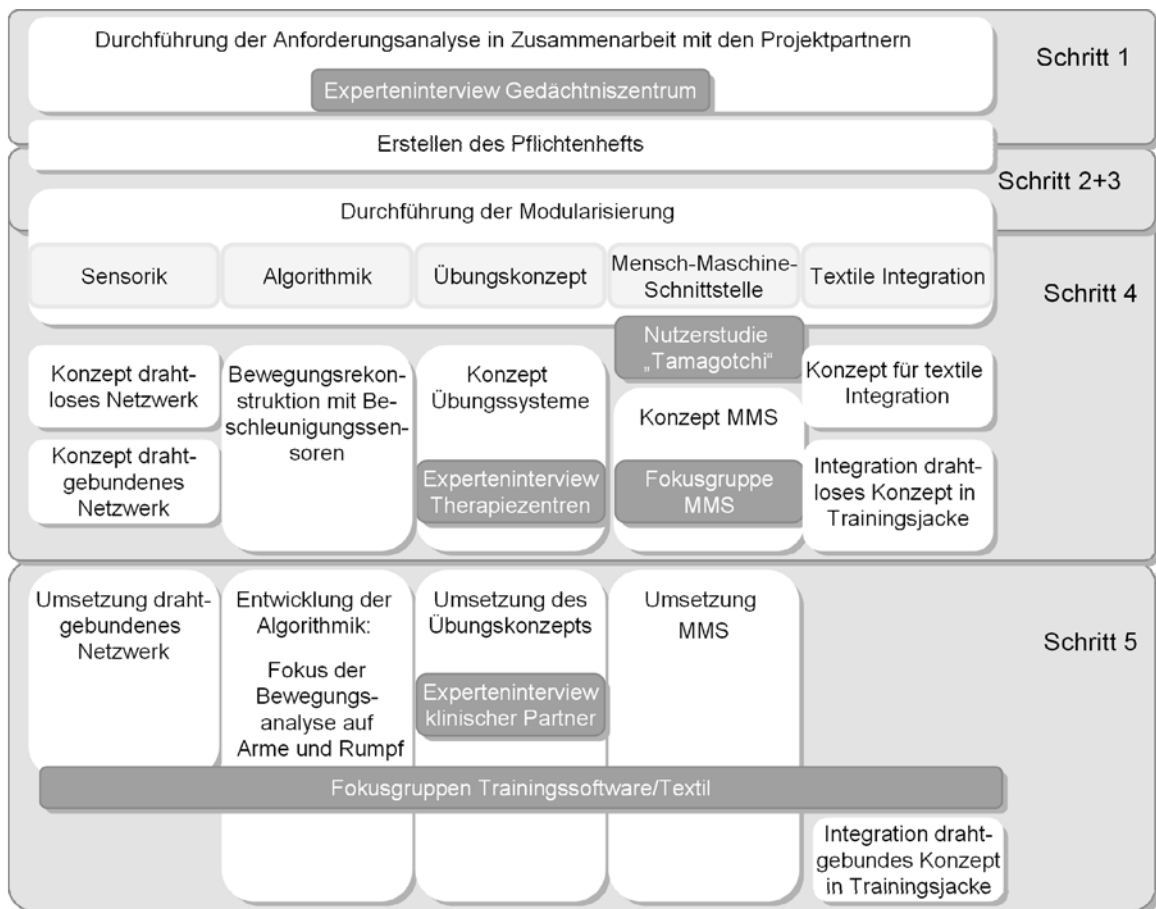


Bild 63 Ablauf des Entwicklungsprozesses für den Fitnessbegleiter

7.1. Schritt 1: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

In frühen Phasen der Produktentwicklung besteht ein essentieller Schritt in der Definition und Präzisierung der Ziele und Aufgaben, die die Neuentwicklung erfüllen soll (Anforderungsanalyse). Zu Beginn des Projekts stellten sich daher Fragen wie: Für welche Zielgruppe(n) ist der Fitnessbegleiter konzeptioniert? Wie soll der Fitnessbegleiter technisch umgesetzt werden? Welche Anforderungen ergeben sich daraus für den Entwicklungsprozess? Die primäre Motivation für das Projekt entstand auf Basis technischer Überlegungen, denn das Thema Bewegungssensorik sollte innerhalb der entwickelnden Abteilung des Fraunhofer IIS aufgegriffen und weiterentwickelt werden. Für Bewegungssensorik sind zahlreiche Anwendungskontexte denkbar, wie z. B. Bewegungsdiagnostik im Leistungssport, in der Physio-/Ergotherapie oder bei Fehlhaltungen. Den Kontexten ist gemeinsam, dass sie eine möglichst exakte Detektion von Haltungen oder Bewegungen erfordern. In einem ersten Entwicklungsschritt war aber nicht davon auszugehen, dass diese Genauigkeit erreicht werden kann. Darüber hinaus lag der Fokus des Forschungsverbundes auf der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen für primär ältere Zielgruppen, diese Prämisse war folglich auch der Konzeption und Entwicklung des Fitnessbegleiters vorangestellt. Über ein Experteninterview mit dem Gedächtniszentrum des Instituts für Psychogerontologie wurde deshalb nach alternativen Anwendungskontexten im gerontologischen oder geriatrischen Kontext gesucht und eine vielversprechende Zielgruppe identifiziert.

Eine Erkrankung, die mit zunehmendem Alter häufiger auftritt und sich durch Bewegungstrainings positiv in ihrem Verlauf beeinflussen lässt, ist die leichte kognitive Beeinträchtigung, im englischsprachigen Raum als Mild Cognitive Impairment (MCI) bezeichnet. MCI wird definiert als Prodromal- oder Risikosyndrom einer Demenz und geht einher mit über das durchschnittliche Ausmaß hinausgehenden Gedächtnisstörungen, die sowohl von den Betroffenen subjektiv wahrgenommen werden, als auch objektiv testpsychologisch festgestellt werden können (Engel, Mück, & Lang, 2009). In Abgrenzung zu einer manifesten Demenz sind die Symptome aber nicht so weit fortgeschritten, dass dadurch basale alltägliche Aktivitäten beeinträchtigt werden (Gainotti, 2010; Petersen et al., 1997). Zur Behandlung eines Mild Cognitive Impairment gibt es bisher keine eindeutigen Therapierichtlinien. Als ein Therapieansatz, der sich positiv auf die weitere Entwicklung eines MCI auswirken könnte, wird die körperliche Aktivierung diskutiert (Lautenschlager, Cox, & Kurz, 2010). Nach der aktuellen Befundlage ist Physical Activity als protektiver Lifestyle-Faktor für die Prävention von kognitiven Beeinträchtigungen anzusehen. Regelmäßige körperliche Aktivitäten begünstigen zum einen Herz-Kreislauf, Kraft, Ausdauer und Gleichgewicht und scheinen auch positive Auswirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten zu haben (Colcombe & Kramer, 2003) und leichte kognitive Beeinträchtigungen und Demenzen zu verzögern (z. B. Yaffe et

al., 2001). Trotz wissenschaftlichen Nachweises für den positiven Einfluss von körperlicher Aktivität zeigen internationale und nationale Daten, dass der Großteil der älteren Menschen sich nicht ausreichend bewegt (Conn et al., 2008; Haskell et al., 2007). In den letzten Jahren wurden neue Wege zur Steigerung von körperlicher Aktivität beschritten. Dabei haben Studien gezeigt, dass individuell zugeschnittene Trainingsprogramme effektiv sind und dem Patienten helfen, langfristige Verhaltensänderungen umzusetzen (Ahern, 2007; Norman, 2008). Ein direktes Feedback in der Bewegungsausführung sowie eine Aufforderung zur Bewegung helfen älteren Erwachsenen eigenverantwortlich und eigenständig entsprechende Übungssequenzen zu absolvieren. Der Fitnessbegleiter wurde demnach als technikbasiertes Trainingsprogramm für die körperliche Aktivierung von älteren Menschen mit leichten kognitiven Beeinträchtigungen konzipiert. Der Fitnessbegleiter bietet eine Ergänzung zu bestehenden Angeboten und soll die selbständige Wiederholung motorischer Übungen erleichtern. Eine Übersicht über die Systemfunktionalitäten gibt Bild 64.

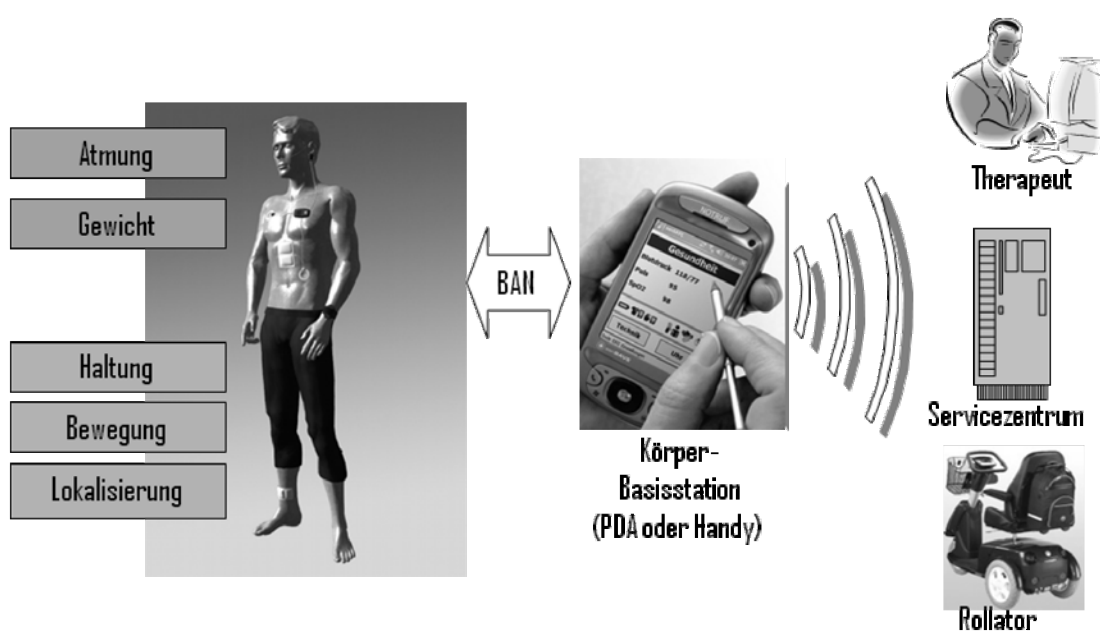


Bild 64 Systemübersicht Fitnessbegleiter

Der Fitnessbegleiter sieht zwei Benutzerschnittstellen vor: der Übungsplan für den Betroffenen und eine entsprechende Akte, die vom behandelnden Therapeuten verwaltet wird. Therapeuten können je nach Kompetenzen der Betroffenen aus einer Bibliothek Übungen freischalten oder deaktivieren. So lässt sich für jede Person ein individueller Übungsplan zusammenstellen. Mit Einverständnis des Nutzers schreibt der Fitnessbegleiter seine Übungsergebnisse in die Akte. Auf Basis der Rückmeldungen über die absolvierten Übungen und der damit verbundenen Anstrengung können Therapeuten die Belastung der Nutzer analysieren und die Qualität der Übungsausführung überprüfen. Aus diesen Ergebnissen können neue effektivere Fitnesspläne erstellt werden.

Von der beschriebenen Anwendung wurden in einem nächsten Schritt Anforderungen für den Entwicklungsprozess abgeleitet. Unter einer Anforderung wird die knappe und präzise Formulierung eines gewünschten Sachverhaltes in der Sprache der Konstrukteure verstanden, die sich in Forderungen und Wünsche einteilen lassen (Conrad, 2005). Tabelle 9 zeigt einen Auszug der Anforderungsliste für den Fitnessbegleiter.

Tabelle 9 Auszug aus Anforderungsliste für den Fitnessbegleiter

Anforderungsliste Fitnessbegleiter
- Aufgabe: Fitnessbegleiter: Umsetzung eines technischen Trainingsprogramms für körperliche Aktivierung von älteren Menschen
- Zielgruppe: Konzeption für MCI-Patienten
- Modularer Aufbau
- Geringe Kosten in der Umsetzung
- Sensornetzwerk: <ul style="list-style-type: none"> •Robust •Geringe Anschaffungspreis •Körpernahe Sensoren: Integration in Textil •Erfassung der Bewegungen der Arme und Beine •Erfassung der Atmung •Einfache Kalibrierung •Plug-and-Play Einbindung
...

Neben einer kostengünstigen Herstellung und einem modularen Aufbau zur einfachen Individualisierung und Anpassung an die einzelnen Nutzer kommt der Erfassung der Bewegungen große Bedeutung zu. Hierzu sollte ein Sensornetzwerk aufgebaut werden, das die Atmung, die Bewegungen des Rumpfes, der Arme und der Beine körpernah erfasst. Die Sensoren sollen einen geringen Anschaffungspreis besitzen und robust im Gebrauch sein, so dass sie zuverlässig die gewünschten Daten erfassen. Für den alltagspraktischen Einsatz sollten eine einfache Kalibrierung und eine Plug-and-Play Schnittstelle ermöglicht werden.

7.2. Schritt 2 und 3: Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen / Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

Ausgehend von der Anforderungsanalyse (Schritt 1) wurden in einem zweiten und dritten Schritt potentielle Funktionalitäten des Fitnessbegleiters ermittelt. Diese bezogen sich auf die Erfassung der benötigten Parametern und die Verarbeitung, Speicherung und Visualisierung der aufgezeichneten Daten. Die ermittelte Gesamtstruktur des Fitnessbegleiters ist

Bild 65 zu entnehmen. Danach soll die Basisstation Fitnessbegleiter über Sensoren Daten zur Bewegung und Lokalisierung sowie Vitalparameter des Trägers aufnehmen, zwischenspeichern, visualisieren und verarbeiten. Die Daten werden über eine Serverplattform gespeichert und dem Träger wie auch dem Therapeuten übermittelt.

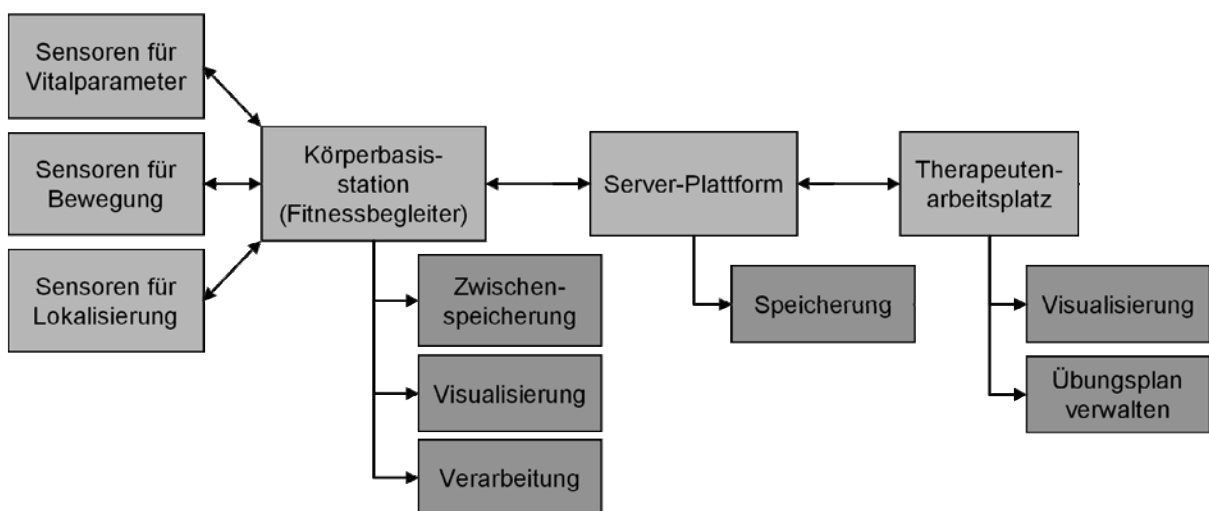


Bild 65 Blockschaltbild des Gesamtsystems

Entsprechend soll das Gesamtsystem aus drei Hauptbestandteilen zusammengesetzt werden. Der Fitnessbegleiter dient als Körperbasisstation, der zur Zwischenspeicherung, Visualisierung, Verarbeitung und Übertragung der aufgezeichneten Daten dient. Über ein Sensornetzwerk, das sich am Körper des Übenden befindet, werden Vitalparameter wie Puls und Atmung aufgenommen. Um die korrekte Durchführung einer Übung und deren Erfassung sicherstellen zu können, werden ebenfalls Sensoren zur Bewegungsdetektion und zur Lokalisierung in die Sensorjacke eingebracht. Die Online-Plattform dient zur Kommunikation zwischen Proband und Therapeut. Auf der Plattform können darüber hinaus mit Einverständnis des Anwenders die gemessenen Daten der Probanden gespeichert werden (nach erfolgreicher Authentifizierung und Autorisierung). Über den Therapeutenarbeitsplatz greift der Therapeut auf die Akte des Anwenders zu. Unterstützt von diesen Daten kann er z.B. einen Übungsplan aufstellen oder anpassen.

7.3. Schritt 4: Gesamtkonzept entwickeln

Nach der Klärung der Anforderungen und der Funktionsweise erfolgt in einem weiteren Schritt die Modularisierung des Produktes, das speziell auf die Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden sollen. Aus Schritt 2 und 3 lassen sich folgende Module ableiten:

- Sensorik
- Algorithmen
- Übungskonzept
- Mensch-Maschine-Schnittstelle
- Textile Integration

Um ein einwandfreies Zusammenspiel der Komponenten nach Fertigstellung der Entwicklung zu gewährleisten, müssen die Schnittstellen zwischen den Komponenten eindeutig definiert werden. Zur Einteilung der Module stehen Methoden wie die MIM nach Erixon (1996) und die Matrix nach Pimpler und Eppinger (1994) zur Verfügung. Da es sich beim Fitnessbegleiter um ein Softwareprodukt handelt, das auf einer Hardwarebasis läuft, ist zwischen hardware- und softwareseitigem Modularisierungskonzept zu unterscheiden. Auf Hardwareseite wurden neun Module identifiziert (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10 Komponentenanalyse des Fitnessbegleiters in tabellarischer Form

Technisches System	Hauptfunktion	Komponenten	Supersystem Komponenten
Fitnessbegleiter	Anwender bei Sportübungen unterstützen	<ul style="list-style-type: none"> • Gehäuse • GUI • Lautsprecher • Regler • Akku • Ein/Ausschalter • Hardware-Schnittstellen • drahtlose Schnittstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Benutzer • Arbeitsfläche • Klima

Als Rahmenwerk dient ein Gehäuse, in das alle übrigen Komponenten (Ein-/Ausschalter, Hardwareschnittstellen, drahtlose Schnittstellen) integriert sind. Die Interaktion mit dem Nutzer erfolgt über eine visuelle (Graphical User Interface; GUI) und eine auditive Schnittstelle (Lautsprecher). Zur Stromversorgung des Fitnessbegleiters ist ein Akku in das Gehäuse eingebracht und mit den Stromabnehmern (z. B. Tastatur, Lautsprecher) verbunden.

Zur Modulfindung fand das Vorgehen nach Erixon Einsatz (siehe Tabelle 11; Kapitel 3.3.2). Die Komponenten des Fitnessbegleiters wurden in die erste Zeile der MIM eingetragen, in den ersten beiden Spalten stehen die Modultreiber, welche den Maßstab für die Bewertung bilden. Die einzelnen Komponenten wurden gemäß des Bewertungsschemas nach Erixon mit den Werten 0, 1, 3 oder 9 bewertet. Diese Werte zeigen an, wie stark die Beteiligung eines Funktionsträgers bei einem Modultreiber ist. Die Werte wurden zur Komponentenbewertung aufsummiert (unterste Zeile), wobei sich die Komponenten mit den höchsten Summen, in diesem Fall GUI und Lautsprecher, als Module für eine Individualisierung anbieten. Für unerfahrene Entwickler ist es hilfreich, sämtliche auftretende Funktionen der Komponenten zu ermitteln, die die Bauteile umsetzen sollen. Zum Abschluss der Funktionsanalyse kann eine Funktionsmodellierung nach der TRIZ Methodik (Altschuller, 1998) durchgeführt werden. Die ermittelten Module liefern die Basis für die Interaktionsmatrix, mit deren Hilfe sich Beziehungen und Abhängigkeiten der einzelnen Module aufzeigen lassen (Tabelle 12).

Tabelle 11 MIM Matrix nach Erixon

	Modultreiber	Gehäuse	Tastatur	GUI	Lautsprecher	Regler	Akku	Ein / Aus Schalter	Hardware Schnittstellen	Drahtlose Schnittstellen
Variance	Technische Spezifikation	3	3	9	3	3	3	3	9	9
Qualität	Seperates Testen	3	9	9	9	9	9	9	9	9
Beschaffung	Beschaffung	1	1	1	3	3	3	1	1	1
After Sales	Service / Wartung	3	3	1	1	3	9	1	1	1
	Upgrading	1	3	3	3	3	3	3	0	0
	Recycling	1	1	0	0	0	0	0	1	1
Handhabung	Handhabung	0	9	9	9	3	0	0	0	0
Anpassung	Veränderte Funktionserfüllung	0	9	9	9	3	0	1	1	1
Summe		12	38	41	37	27	27	18	22	22

Tabelle 12 Interaktionsmatrix der Module

	Gehäuse	Tastatur	GUI	Lautsprecher	Regler	Akku	Ein / Aus Schalter	Hardware Schnittstellen	Drahtlose Schnittstellen
Gehäuse	0	++	++	+	+	++	+	+	+
Tastatur	++	0	+	+	-	-	-	+	+
GUI	++	+	0	+	+	+	-	-	-
Lautsprecher	+	+	+	0	+	+	-	-	-
Regler	+	-	+	+	0	-	-	-	-
Akku	++	-	+	+	-	0	+	-	-
Ein / Aus Schalter	+	-	-	-	-	+	0	-	-
Hardware Schnittstellen	+	+	-	-	-	-	-	0	-
drahtlose Schnittstellen	+	+	-	-	-	-	-	-	0

Das Entwicklerteam bewertet mit seinem Fachwissen die Wechselwirkungen der einzelnen Bestandteile. Als Bewertungsskala wird die Intensität von Abhängigkeiten zugrunde gelegt, diese variiert von einer starken (++) bis hin zu keiner Abhängigkeit (-). Die Analyse zum Fitnessbegleiter zeigt, dass die ermittelten Module wenig starke Abhängigkeiten aufweisen. Dies ist eine gute Voraussetzung für die Individualisierung der

einzelnen Komponenten, da diese ohne viel Aufwand ausgetauscht werden können. Bei der Konzeption des Fitnessbegleiters war es von besonderer Bedeutung sicherzustellen, dass die Komponenten der Mensch-Maschine-Schnittstelle individualisiert werden können. Regler und GUI sind bei dem vorgesehenen Touchscreen einfach zu individualisieren, da beide Elemente softwareseitig verändert werden können.

Die Interaktionsmatrix liefert einen allgemeinen Überblick über die vorhandenen Abhängigkeiten. Für eine weiterführende Untersuchung der Schnittstellen zwischen den Modulen ist die Matrix nach Pimmler und Eppinger (s. Kapitel 3.3.2) anzuwenden. Hier werden die identifizierten Module hinsichtlich Raum, Energie, Information und Material bewertet und ihre Austauschbarkeit ermittelt bzw. ermöglicht (Tabelle 13).

Tabelle 13 Matrix nach Pimmler und Eppinger für den Fitnessbegleiter

		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Gehäuse	1			2	0	2	0	2	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tastatur	2	2	0			1	0	1	0							0	1	0	1
		0	0			1	0	1	0							1	0	1	0
GUI	3	2	0	1	0			1	0	1	0	1	2						
		0	0	1	0			1	0	1	0	1	0						
Lautsprecher	4	2	0	1	0	1	0			1	0	1	2						
		0	0	1	0	1	0			1	0	0	0						
Regler	5	1	0			1	0	1	0										
		0	0			1	0	1	0										
Akku	6	2	0			1	2	1	2					0	2				
		0	0			1	0	0	0					0	0				
Ein-/Aus-schalter	7	1	0									0	2						
		0	0									0	0						
Hardware Schnittstellen	8	1	0	0	1														
		0	0	1	0														
Drahtlose Schnittstellen	9	1	0	0	1														
		0	0	1	0														

Legende

Räumlich:	R	E	:Energie
Information:	I	M	:Material

Im Weiteren wurden Konzepte für die Umsetzung der einzelnen Module erarbeitet, welche schließlich in ein Gesamtkonzept des Fitnessbegleiters mündeten. Der Fitnessbegleiter verknüpft Sensoren zur Erfassung von Bewegung, Gleichgewicht und Atmung zu einem Sensornetzwerk. Es wird ein Sensorbaukasten angestrebt, aus dem Sensoren ausgewählt werden können. Die gemessenen Daten fließen auf dem Fitnessbegleiter Basismodul zusammen, werden dort weiterverarbeitet, zwischengespeichert und an ein Plugin zur Analyse der Übungen und Visualisierung der Ergebnisse weitergereicht.

Für die Erfassung von Bewegung und Atmung kommen am Fraunhofer IIS entwickelte Sensormodule zum Einsatz. Das Modul zum Aufzeichnen der Bewegung baut auf handelsüblichen dreiachsigen Beschleunigungssensoren auf. Der Sensor zur Kontrolle der Atmung basiert auf Elektronik, mit der in einem Textil das Heben und Senken des Brustkorbs bzw. der Bauchdecke gemessen werden kann. Ergänzt werden diese Sensoren um Nintendos Wii-Balance-Board, das geeignet ist, das Gleichgewicht des Anwenders zu messen.

Aufgrund des zu erwartenden Komforts bezüglich der textilen Integration wurde das Sensornetzwerk zunächst als drahtloses Netzwerk konzeptioniert. Allerdings hat sich bei ersten Testläufen gezeigt, dass die Qualität der Ergebnisse nicht ausreichend für eine wenig störänfallige Bewegungsrekonstruktion ist. Auch die Stromversorgung der insgesamt 11 Beschleunigungssensoren zur Erfassung der Bewegung hätte im Feldeinsatz einen unverhältnismäßig hohen Wartungsaufwand verursacht. Aus diesem Grund wurde das Sensorkonzept in einer Iterationsschleife in ein drahtgebundenes Netzwerk geändert.

Die auf Hardwareseite aufgezeigten Methoden sind auch für die Modularisierung von Software einsetzbar. Bild 66 zeigt ein Schema für den Aufbau der Fitnessbegleiter-Software. Wie aus der Abbildung deutlich wird, besteht das System aus folgenden Komponenten: Kernfunktionen (core-functions), Framework, Plugins, Protokolle, Sensoren und Schnittstellen. Für eine Individualisierung sollten die Softwarekomponenten untereinander unabhängig gestaltet werden. Ziel ist es, eine modulare Software-Struktur zu erzeugen, die auf ausgereiften Basiskomponenten aufbaut. Dies ermöglicht den leichten Ausbau von Softwarebestandteilen, späterer Änderung oder Anpassung von Übungsinhalten sowie zukünftige Updates der Software. Ausgehend von einem etablierten und stabilen Software-Protokoll, welches über ausgewählte Schnittstellen mit der Umgebung kommuniziert, werden die einzelnen Software-Bausteine unabhängig voneinander erzeugt. Basis des Systems bilden die Kernfunktionen (core-functions).

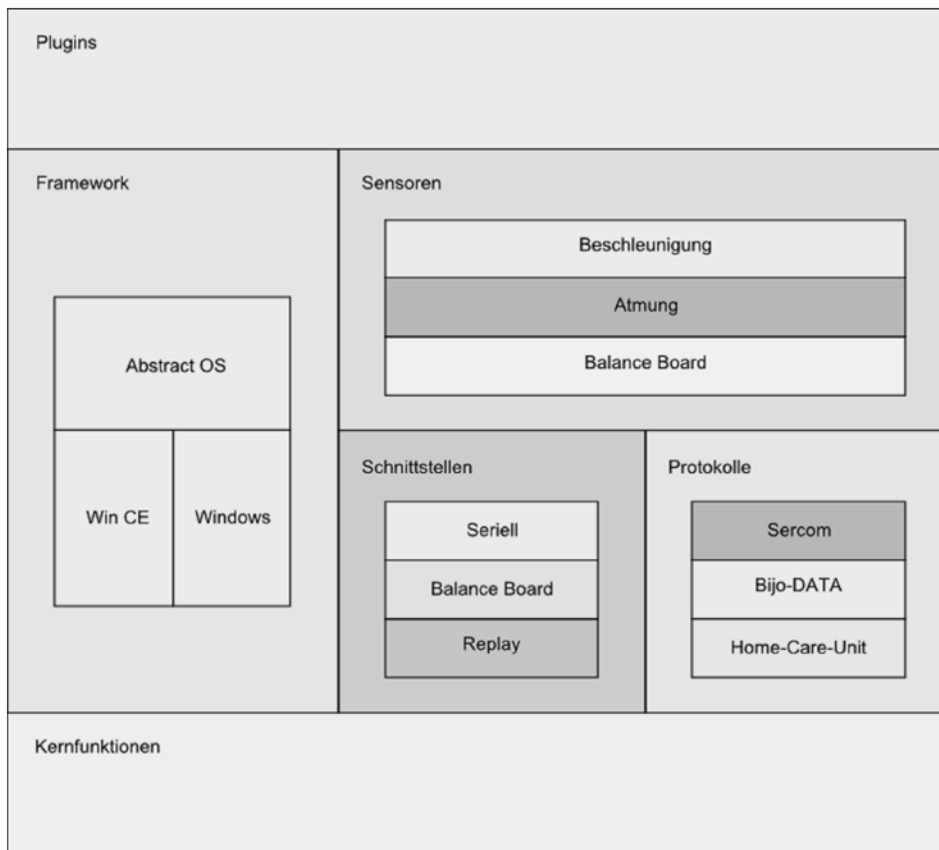


Bild 66 Softwareseitiger modularer Aufbau des Fitnessbegleiters

Diese enthalten systemweit gültige Schnittstellendefinitionen, um die Kommunikation zwischen den Komponenten zu ermöglichen, z. B. über welche Schnittstellen verfügt ein Sensor, wie kann seine Abtastrate verändert und wie können seine Daten ausgelesen werden. Architektur und Struktur des Systems bildet das Framework. Diese Komponente unterteilt sich in einen plattformabhängigen und einen plattformunabhängigen Teil. Während der plattformunabhängige Teil hauptsächlich den Kommunikationsfluss regelt und eine Steuerung sämtlicher Funktionen, z. B. des Übungsprogramms, ermöglicht, kapselt der plattformabhängige Teil das zugrunde liegende Betriebssystem und erfüllt Aufgaben wie das Laden der Plugins. Durch den Austausch der Framework-Komponente können unterschiedliche Plattformen wie Smartphones oder herkömmliche Windows-Systeme verwendet werden. Die Kommunikation mit Sensoren und Drittsystemen erfolgt über proprietäre Protokolle. Diese Protokolle sind ebenfalls als Komponenten realisiert, die nach Bedarf ausgetauscht werden können.

Eng verbunden mit der Erfassung der Parameter ist die Verarbeitung dieser Daten. Dazu ist die Entwicklung einer entsprechenden Algorithmik nötig, auf Basis derer die erfassten Daten in auswertbare Daten für den Nutzer und Therapeuten umgerechnet

werden. Hierbei wurde auf die Bewegungsrekonstruktionen mit Beschleunigungssensoren fokussiert mit einem Schwerpunkt auf der Bewegungsanalyse des Rumpfs und der Arme.

Zur Erstellung des Übungskonzepts wurde ein Experteninterview im Therapiezentrum durchgeführt. Das Interview wurde mit der Leiterin des Therapiezentrums und einem im Therapiezentrum angestellten Sportwissenschaftler durchgeführt. In dem Interview wurde besprochen, in welcher Form die Sitzungen im Gedächtniszentrum ablaufen, welchen Stellenwert das selbständige Training zuhause hat und wie die Nutzer zum selbständigen Training motiviert werden können. Darüber hinaus wurde auf die im Gedächtniszentrum eingesetzten psychomotorischen Übungen eingegangen. Als Ergebnis des Interviews wurden zwei Aspekte in das Konzept aufgenommen. Zum einen soll der Anwender seine bereits ausgeführten Übungen in Form eines Übungstagebuches noch einmal einsehen können. Dieser Punkt wird als motivationssteigernd beim selbständigen Training empfunden. Zum anderen soll der Anwender vor der Ausführung einer Übung die Möglichkeit haben, die Übung anhand einer Schritt-für-Schritt-Anleitung zu rekapitulieren.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der intuitiven Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (z. B. hinsichtlich Funktionalität, Bedienbarkeit) gewidmet. So wurden bereits in diesem frühen Produktentwicklungsstadium (erstes Projekthalbjahr) zwei Nutzerstudien mit älteren Erwachsenen durchgeführt.

Ziel der ersten Studie war es, drei unterschiedliche anthropomorphe Schnittstellen zur Visualisierung kurz- und langfristiger Trainingsbewertungen hinsichtlich ihrer Effektivität/Effizienz und ihrer Attraktivität durch potentielle Endnutzer zu evaluieren:

- Avatar, der den aktuellen Fitnesszustand des Benutzers direkt widerspiegelt (Selbstidentifikationsfunktion)
- Agent (Arzt), der dem Benutzer beratend zur Seite steht
- Puzzlespiel, das sich mit zunehmender Anzahl der Fitnesspunkte zusammensetzt

An der Studie nahmen drei Senioren im Alter zwischen 64 und 74 Jahren teil, welche sich insbesondere hinsichtlich ihrer Vorerfahrung im Umgang mit technischen Geräten unterschieden. Den Teilnehmern wurde in Einzelsitzungen in randomisierter Reihenfolge auf einem Laptop eine der drei virtuellen Figuren gemeinsam mit einer schriftlichen Aufgabenbeschreibung präsentiert. Darin wurden Sie aufgefordert, die einzelnen Tasten des Geräts (in diesem Fall des Emulators) mithilfe der Computermaus zu bedienen und jeweils zehn Fragen zum Zustand der virtuellen Figur schriftlich zu beantworten (z. B. Bewertung der Trainingseinheit, Trainingsfortschritt). Die einzelnen Interaktionsschritte wurden mittels Log Files protokolliert. Alle Möglichkeiten der Trainingsbe-

wertung (optimales Training, Überforderung, Unterforderung; kurz-, langfristige Bewertung) wurden für jede Schnittstelle systematisch variiert. Die Versuchsleiter hatten die Aufgabe, die Probanden bzw. deren (non-)verbales Verhalten während der Interaktion mit dem Gerät zu beobachten und Verstöße gegen vordefinierte Heuristiken zu notieren. Nach der Bearbeitung aller Aufgaben zu einem Szenario wurden den Probanden zwei Fragebögen zur subjektiven Bewertung der jeweiligen Benutzungsschnittstelle vorgelegt (AttrakDiff2, SUS). Im Anschluss an die Einzeltestungen kamen die Versuchspersonen zu einer Gruppendiskussion zusammen. Dabei sollte ermittelt werden, welche Gestaltungsalternative die Probanden am meisten angesprochen hat und inwieweit für die einzelnen Lösungen Verbesserungsvorschläge bestehen.

Mittels der Nutzertest und Beobachtungen auf der Basis von Heuristiken konnten für alle drei virtuellen Figuren Schwierigkeiten bei der Interpretation der Visualisierung negativer Trainingsbewertungen ermittelt werden. Darüber hinaus wurde Verbesserungsbedarf bei der Hilfefunktion, bei der Gestaltung der Icons und bei der Belegung der Funktionstasten zum Screen-Wechsel beschrieben. Positiv kann angemerkt werden, dass insbesondere die beiden technikerfahrenen Versuchspersonen trotz der schwierigen Interaktion mit den Prototypen eine gewisse Routine bei der Aufgabenbearbeitung entwickelten, was für die Lernförderlichkeit einer anthropomorphen Schnittstelle spricht. Alle Probanden bestätigten die motivierende Funktion einer virtuellen Figur und bewerteten auch die allgemeine Produktidee des Fitnessbegleiters positiv.

Aufbauend auf den Ergebnissen des ersten Nutzertests wurde ein Konzept für die Ausgestaltung der Bedienoberfläche für die Übungsanleitung und -auswertung erarbeitet. Da keine der drei Gestaltvarianten der anthropomorphen Schnittstelle im ersten Nutzertest überzeugte, wurde ein neuer Avatar (Seemann) entwickelt. Die Menüstruktur wurde in mehreren Ebenen aufgebaut, wobei sich ausgehend von einem Hauptmenü die einzelnen Anwendungen (Trainingsplan, Trainingsfortschritt/Statistik, Übungspertoire) starten lassen (siehe Bild 67).

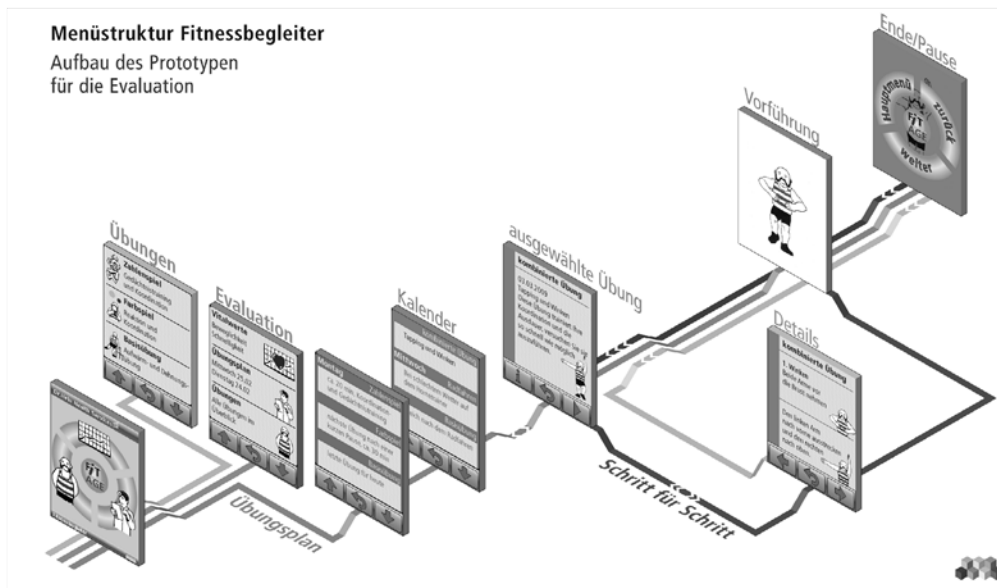


Bild 67 Struktur des Menüs des Fitnessbegleiters

Das Konzept wurde prototypisch ausgearbeitet und auf zwei handelsüblichen PDAs umgesetzt, welche sich vor allem hinsichtlich der Geräteergonomie unterscheiden (Größe, Gewicht, Display). Ein zweiter Nutzertest im zweiten Projekthalbjahr diente nun dazu, die Endgerätewahl sowie die Gestaltung der Benutzerschnittstelle (Funktionalität, Bedienbarkeit) zwischen zu evaluieren. Dabei wurde ein Fokusgruppenansatz gewählt, da sich durch dieses Vorgehen globale Nutzeranforderungen und Erwartungen an technische Lösungen in frühen Produktentwicklungsstadien ermitteln lassen. Unter den 41 Teilnehmern waren 17 Frauen und 24 Männer im Alter von 59 bis 85 Jahren (mittleres Alter: 67.88 ± 5.24 Jahre) ohne kognitive Beeinträchtigungen. Ein Einbezug der primären Zielgruppe wäre wünschenswert gewesen, jedoch ist die Einbindung von gesundheitlich beeinträchtigten Personen zu einem frühen Zeitpunkt der Produktentwicklung kontraindiziert (geringe Systemstabilität, Bedienschwierigkeiten etc.).

Die Fokusgruppen fanden in vier dreistündigen Sitzungen mit jeweils zehn bis zwölf Personen statt. Nach einer kurzen Einführung in die Thematik wurden die Teilnehmer aufgefordert, eine prototypische Umsetzung der Bedienschnittstelle des Fitnessbegleiters in Kleingruppen (mit zwei bis drei Personen) anhand vorgegebener Aufgaben zu testen. Die Aufgaben verfolgten das Ziel, den Teilnehmern einen umfassenden Einblick in die Bedienschnittstelle zu geben, und beinhalteten folgende Fragestellungen: Inbetriebnahme des Geräts, Nachvollziehbarkeit der Menühierarchie, Einsehen des Trainingsplans, Starten der Übungsanleitung (Schritt-für-Schritt Anleitung, Video), Abbrechen einer Übung. Die bei der Bearbeitung der Aufgaben auftretenden Schwierigkeiten, Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge von Seiten der Testpersonen hin-

sichtlich unterschiedlicher Geräteeigenschaften (Gewicht/Größe, Display, Eingabemöglichkeit, Statusanzeige, Menüführung, Rückmeldungen durch das Gerät, Funktionsumfang) wurden jeweils von einem Beobachter mit protokolliert. Im Anschluss an den Nutzertest erfolgte eine Zusammenfassung der Ergebnisse im Plenum. Dabei wurde den Teilnehmern die Gelegenheit gegeben, anhand eines teilstrukturierten Leitfadens über ihre Erfahrungen im Umgang mit den Geräten zu berichten und die jeweiligen Vorzüge und Nachteile herauszustellen und zu diskutieren.

Die Ergebnisse der Kleingruppentests und der Gruppendiskussion zeigten, dass beide PDAs nur bedingt für die Anleitung und Rückmeldung zu vorrangig motorischen Übungen einsetzbar sind. Das verhältnismäßig kleine Display lässt sich aus größerer Distanz auch bei großzügiger Icon- und Avatargestaltung nicht erkennen. Die Teilnehmer regten deshalb eine Verknüpfung mit einem größeren Ausgabemedium, wie Monitor oder Fernseher, an. Was das Übungskonzept angeht, so präferierten die Teilnehmer eine Kombination aus visuellen (piktorial, sprachlich) und auditiven Übungsanleitungen und -rückmeldungen. Die Sprachausgabe könnte in diesem Zusammenhang insbesondere Hinweise zu Übungsquantität und -qualität (Überforderung, Unterforderung), Pausen, Trainingsende und einen kritischen Akkuzustand geben. Hinsichtlich der Softwareumsetzung wurde eine dreidimensionale Darstellung des Avatars (bislang nur zweidimensional umgesetzt) angeregt, dessen Übungsgeschwindigkeit an die physischen und konditionellen Möglichkeiten des Nutzers adaptiert. Als Eingabemodalität wurde eine reine Fingerbedienung vor einer Bedienung mittels Pen präferiert. Die Rückmeldungen wurden soweit als möglich bei der Weiterentwicklung des Fitnessbegleiters berücksichtigt, wobei ein besonderer Fokus auf der Anbindung alternativer Ausgabemedien (Fernseher, Monitor) und der dreidimensionalen Gestaltung des Avatars lag.

7.4. Schritt 5: Systemgestaltung

In Schritt 5 wurden die in Schritt 4 erstellten Konzepte umgesetzt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Nutzertests werden die einzelnen Module im Detail ausgearbeitet. Für die Ausgestaltung der Bedienoberfläche stehen verschiedene Normen und Richtlinien zur Verfügung. Je nach Nutzerprofil sind verschiedene Hinweise zu berücksichtigen. Ein Überblick über vorhandene Gestaltungsrichtlinien bezüglich Menüführung und Softwareergonomie bei sensorischen und kognitiven Einschränkungen ist Tabelle 14 und 15 zu entnehmen.

Tabelle 14 Berücksichtigung sensorischer Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. Menüführung und Softwareergonomie

Menüführung und Softwareergonomie	sensorisch			
	Sehen	Hören	Tasten	Riechen/ Schmecken
Größe und Art von Schriftzeichen	Sensi DIN EN ISO894-2			
Bildzeichen und Illustrationen	DIN EN ISO 9241-7		Sensi DIN EN ISO 9241-7	
Klare Sprache in schriftl. und gesprochenen Informationen	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12		
Dialoggestaltung	DIN EN ISO 9241-14/110	DIN EN ISO 9241-14/110		
Akustische Signale		Sensi Ergon. Arbeits- mit- telgestaltung 1		
Farbe/Kontrast	Sensi DIN EN ISO 9241-8			
Logik von Abläufen				
Navigation im Menü	DIN EN ISO 9241-13; DIN EN ISO 14915-2	DIN EN ISO 9241-13; DIN EN ISO 14915-2		
Art der Informationsbereitstellung	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12		
Ein- /Ausgabe	DIN EN ISO 9241-4/9/410	DIN EN ISO 9241-4/9/410		

Ein besonderer Fokus bei der Ausgestaltung des Systems lag auf der Auswahl von motorischen Übungen, welche sich mittels des entwickelten Sensornetzwerks detektieren lassen. In Zusammenarbeit mit dem klinischen Projektpartner wurden einzelne Übungen ausgewählt, die zum selbständigen Training geeignet sind. Beispiele für mögliche Übungen sind:

Tabelle 15 Berücksichtigung kognitiver Anforderungen in Gestaltungsrichtlinien bzgl. Menüführung und Softwareergonomie

Menüführung und Softwareergonomie	kognitiv			
	Informationsverarbeitung	Gedächtnis	Reaktion	Koordination
Größe und Art von Schriftzeichen	Sensi DIN EN ISO 894-2	Sensi DIN EN ISO 894-2		Sensi DIN EN ISO 894-2
Bildzeichen und Illustrationen	Sensi DIN EN ISO 9241-7	Sensi DIN EN ISO 9241-7		Sensi DIN EN ISO 9241-7
Klare Sprache in schriftl. und gesprochenen Informationen	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12		Sensi DIN EN ISO 9241-12
Dialoggestaltung	DIN EN ISO 9241-14/110	DIN EN ISO 9241-14/110	DIN EN ISO 9241-14/110	DIN EN ISO 9241-14/110
Akustische Signale	Sensi Ergon. Arbeitsmittelgestaltung 1			
Farbe/Kontrast	Sensi DIN EN ISO 9241-7	Sensi DIN EN ISO 9241-7		Sensi DIN EN ISO 9241-7
Logik von Abläufen	Sensi DIN EN ISO 9241-13	Sensi DIN EN ISO 9241-13	Sensi DIN EN ISO 9241-13	Sensi DIN EN ISO 9241-13
Navigation im Menü	DIN EN ISO 9241-13 DIN EN ISO 14915-2	DIN EN ISO 9241-13 DIN EN ISO 14915-2		DIN EN ISO 9241-13 DIN EN ISO 14915-2
Art der Informationsbereitstellung	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12	Sensi DIN EN ISO 9241-12
Ein- /Ausgabe	DIN EN ISO 9241-4/9/410		DIN EN ISO 9241-4/9/410	DIN EN ISO 9241-4/9/410

- Tapping (mit gleichmäßig hoher Frequenz auf der Stelle gehen)
- Ausführung unterschiedlicher Armbewegung mit dem linken und rechten Arm, durch die die Koordination trainiert wird
- Kombination von Tapping und einer Arm-Koordinationsübung, um zusätzlich die Koordination zwischen Beinen und Armen zu trainieren

Das Tapping erfordert ein an den Fitnessbegleiter angeschlossenes Wii-Balance-Board. Für die Beobachtung der Armbewegung kann die Sensorjacke mit Beschleunigungssensoren eingesetzt werden. Damit Übungen auf dem Fitnessbegleiter hinterlegt werden können, wurde eine formale XML-Beschreibung von Übungen erarbeitet. Jede Übung wird in elementare Übungsschritte zerlegt. Diese Übungsschritte enthalten die bei der Ausführung der Übung zu beobachtenden Parameter, Referenzdaten für den korrekten Ablauf, einen Toleranzbereich für die Ausführung und auszuführende Aktionen, wenn der Toleranzbereich eingehalten oder verlassen wird. Anschließend wird festgelegt, in welcher Reihenfolge die Schritte abzuarbeiten sind, oder ob die Schritte auch parallel ablaufen können. Wenn eine bestimmte Übung durchgeführt werden soll, wechselt der Fitnessbegleiter in den Vorführmodus. Hier wird die Übung neben einer Textanzeige, welche die Übung Schritt für Schritt beschreibt, auch über visuelle Animation durchgeführt und angeleitet.

Als Sensoren wurden 3D-Beschleunigungssensoren gewählt. Für den Oberkörper wurde ein Modell erstellt, mit denen natürliche Bewegungen beschrieben werden können. Aus diesem Modell wurden hochgradig nichtlineare Gleichungen abgeleitet, die einen Zusammenhang zwischen der Körperhaltung und den gemessenen Beschleunigungen herstellen. Das Oberkörpermodell, das 13 Freiheitsgrade beinhaltet, besteht aus den Segmenten Rumpf, linker und rechter Oberarm und Unterarm. Das Modell bildet einen Kompromiss zwischen der zu erwartenden Genauigkeit der Bewegungsrekonstruktion und der mathematischen Komplexität.

Durch durchgeführte Versuche wurden geeignete Positionen für die Platzierung der Sensoren beispielsweise am Oberkörper ermittelt, so dass die Freiheitsgrade gut beobachtet werden können. Die fehlerfreie Erfassung der Freiheitsgrade ist wichtig für die Berechnung der Position im Raum durch den entwickelten Algorithmus. Ferner wurden maßgebliche Einflussfaktoren identifiziert, die für die Messung von beispielsweise der Winkelauflösung zu beachten sind. Die ausgewählten Sensoren wurden in einer drahtgebundenen Lösung in einer eng anliegenden Jacke integriert.

Aufbauend auf der prototypischen Umsetzung der textilen Integration und der Software zur Trainingsanleitung und -auswertung wurden zum Ende des dritten Projektjahres erneut Fokusgruppen zum Fitnessbegleiter durchgeführt. An der Untersuchung nahmen 18 Personen im Alter von 59 bis 79 Jahren teil ($M = 70.06$, $SD = 5.29$; 27.8 %

weiblich), von denen 83.3 % bereits an einem früheren Nutzertest teilgenommen haben. Die Untersuchung nahm in etwa 120 Minuten in Anspruch, wobei an den fünf Sitzungsterminen jeweils zwei bis vier Probanden teilnahmen. Die Teilnehmer wurden zu Beginn der Sitzung jeweils durch den Leiter des Fitnessbegleiter-Projekts in die Ziele und Fragestellungen des Projekts eingeführt. Dabei wurde den Teilnehmern das System in seiner aktuellen Form und Funktion demonstriert:

- Übungsplan (PC basiert; Ausgabe über Beamer)
- Sporttextilien mit integrierter Bewegungs- und Atmungssensorik (Jacke, T-Shirt)
- Wii Balance Board
- Funktionsumfang (Navigieren im Übungsplan, Kalibrierung des Sensornetzwerks, Auswahl und Durchführung von drei beispielhaft umgesetzten Übungen, Anleitung und Rückmeldung zu den Übungen)

Zusätzlich bestand für alle Teilnehmer die Möglichkeit, die Textilien anzuziehen und einzelne Übungen mittels einer Klettband-Version des Sensornetzwerks, welche aus hygienischen Gründen Anwendung fand, zu erproben. Während der Demonstrations- und Erprobungsphase waren die Teilnehmer angehalten, ihre Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge zu dem System in die Diskussion einzubringen. Gleichzeitig wurden diese von einem Beobachter mit protokolliert. Um die Diskussion zu strukturieren, waren dafür folgende Bewertungskategorien vorgegeben: Hardware, Übungsanleitung und Durchführung, visuelle Gestaltung, Menüführung/Navigation, mögliche Anwendungskontexte.

Die Ergebnisse dieser Fokusgruppen replizierten die Rückmeldungen der Teilnehmer des zweiten Nutzertests bezüglich der Wahl des Endgeräts (Monitor, Fernseher), der Adaptivität der Übungsgeschwindigkeit und der Dreidimensionalität des Avatars. Was die textile Integration der Sensoren angeht, so betonten die Teilnehmer die Wichtigkeit der Waschbarkeit der Textilien und wünschten sich eine weniger körpernahe Ausgestaltung. Alternativ wurde eine Integration der Sensoren in Accessoires (wie Bandagen, Schweißband) oder Unterwäsche angeregt. Auch eine Erweiterung der Sensorjacke um Puls- und Atmungssensorik wurde positiv bewertet. Die Darstellung der Übungsanleitung (Avatar, Sprachausgabe, schriftliche Anleitung) sollte adaptierbar sein, jedoch schien eine Kombination aus Bild (Avatar) und gesprochener Sprache am zielführendsten. Dabei sollte der Trainingsavatar etwas größer gestaltet sein und sich in Form und Größe von dem Nutzeravatar unterscheiden. Die schriftliche Schritt-für-Schritt Anleitung wurde aktuell als zu klein wahrgenommen. Hinsichtlich der Übungsbewertung wünschten sich die Teilnehmer möglichst konkrete Verbesserungsvorschläge, die eventuell um eine Visualisierung (am Traineravatar) ergänzt werden. Daneben sollten generelle Tipps (beispielsweise zu Atmung, Pausen) Eingang in die Übungs-

rückmeldung finden. Lob oder motivierende Worte zu Beginn des Trainings könnten die Motivation des Nutzers steigern.

Die Rückmeldungen flossen hauptsächlich in die Weiterentwicklung der Software zur Übungsanleitung und -auswertung ein. Die textile Integration der Sensoren wurde in der restlichen Projektlaufzeit nicht weiter betrachtet, da diese Thematik nicht unmittelbar dem wissenschaftlichen Erkenntnisinteresse diene und vorrangig auf Herstellerseite von Relevanz ist.

7.5. Schritt 6: Produktionsanlauf und -betreuung

Da es sich um ein Forschungsprojekt handelte, das eine prototypische Umsetzung des Fitnessbegleiters fokussierte, entfällt Schritt 6 während der Projektlaufzeit.

An der prototypischen Entwicklung des Fitnessbegleiters wurde gezeigt, dass eine strukturierte Vorgehensweise und der Einsatz von geeigneten Methoden für die Entwicklung von Produkten für älteren Menschen hilfreich sind. Durch die Einbeziehung der Nutzer in den Produktentwicklungsprozess können frühzeitig spezifische Anforderungen erhoben, Konzepte und Prototypen abgesichert werden, um Fehlentwicklungen zu vermeiden.

8. Referenzen

- Ahern, D.K. (2007). Challenges and opportunities of eHealth research. *American Journal of Preventive Medicine*, 32, 75-82.
- Alber-Laukant, B. (2008). Struktur- und Prozesssimulation zur Bauteildimensionierung mit thermoplastischen Kunststoffen: Validierung von Werkstoffbeschreibungen für den technischen Einsatz. Dissertation. Universität Bayreuth.
- Allaire, J.C. & Marsiske, M. (1999). Everyday cognition: Age and intellectual ability correlates. *Psychology and Aging*, 14, 627-644.
- Altschuller, G.S. (1998). *Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme*. VEB Verlag Technik, Berlin 1984. Limitierter Nachdruck.
- Andreasen, M.M. (2005). Concurrent Engineering – effiziente Integration der Aufgaben im Entwicklungsprozess. In: *Handbuch Produktentwicklung*. München, Wien: Hanser.
- Baltes, P.B. (2006). Hoffnung mit Trauerflor: Lebenslänge contra Lebensqualität -- von der Menschenwürde im hohen Alter. *Neue Zürcher Zeitung*, 4./5. November 2006.
- Baltes, P.B. & Baltes, M.M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In: P.B. Baltes & M.M. Baltes (Eds.), *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1-34). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Bauer, S. (2003). Design for X-Ansätze zur Definition und Strukturierung. In: H. Meerkamm (Hrsg.), *Design for X*. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Becker, S., Böhm, U., Röhrig, A., Stuhler, H. & Wurm, S. (2007). Akzeptanz von innovativen Netztechnologien. In: W. Friesdorf & A. Heine (Eds.), *Sentha - seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag. Ein Forschungsbericht* (pp. 82-88). Heidelberg: Springer.
- Beitz, W., Grote, K.-H., & Dubbel (1997). *Taschenbuch für Maschinenbauer*. Berlin [u. a.]: Springer-Verlag.
- Berg, C. & Strough, J. (2011). Problem solving across the lifespan. In K. Fingerman, C. Berg, T. Antonucci, & J. Smith (Eds.), *Handbook of Lifespan Development* (pp. 239-267). New York: Springer.
- Bernstein, H. (2002). *Automatisierungstechnik und Visualisierung, Simulation mechatronischer Systeme*. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag.
- Biermann, H. & Weißmantel, H. (2003). *Regelkatalog SENSI-Geräte – Bedienung freundlich und barrierefrei durch das richtige Design*.
- Bolger, N., Davis, A., & Rafaeli, E. (2003). Diary Methods: Capturing Life as it is Lived. *Annual Review of Psychology*, 54, 579-616.
- Boron, J.B., Rogers, W.A., & Fisk, A.D. (2006). Medication adherence strategies in older adults. *Proceedings of the human factors and ergonomics society 50th annual meeting* (pp. 170-174). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg: Springer.

- Breakwell, G.M.(2006). Interviewing methods. In: G.M. Breakwell, S. Hammond, C. Fife-Shaw, & J.A. Smith (Eds.), *Research methods in psychology* (pp. 232-253). London [u. a.]: Sage.
- Breakwell, G.M., Hammond, S., Fife-Shaw, C., & Smith, J.A. (2006). *Research methods in psychology*. London [u. a.]: Sage.
- Bühner, M. (2010). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München [u. a.]: Pearson Studium.
- Büttner, U. & Siebold, C. (2003), Fixation. In A. Huber und D. Kömpf (Hrsg.), *Klinische Neuroophthalmologie* (S. 86-87). Stuttgart, New York: Thieme.
- Buhl, A. (2004). *Grundkurs Software-Projektmanagement*, München, Wien: Carl Haser Verlag.
- Bullinger, H.-J. & Solf, J.J. (1979a). *Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung 1 - Systematik*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.
- Bullinger, H.-J. & Solf, J.J. (1979b). *Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung 2 – Handgeführte Werkzeuge, Fallstudien*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.
- CADFEM (2011). <http://www.cadfem.de>, Abruf: Februar 2011.
- Carstensen, L.L., Isaacowitz, D.M., & Charles, S.T. (1999). Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *American Psychologist*, *54*, 165-181.
- Caesar, C (1991). Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte. Dissertation. Universität Düsseldorf.
- Charles, S.T. & Carstensen, L.L. (2010). Social and Emotional Aging. *Annual Review of Psychology*, *61*, 383-409.
- Clement, A. & van den Besselaar, P. (1993). A retrospective look at PD projects. *Communications of the ACM*, *36*(6), 29-37.
- Colcombe, S. & Kramer, A.F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, *14*, 125-130.
- Conn, V.S., Hafdahl, A.R., Brown, S.A., & Brown, L.M. (2008). Meta-analysis of patient education interventions to increase physical activity among chronically ill adults. *Patient Education and Counseling*, *70*, 157–172.
- Conrad, K.-J. (2005): *Grundlagen der Konstruktionslehre, Methoden und Beispiele für den Maschinenbau*. Hanser-Verlag.
- Czaja, S, (1997). Using technology to aid the performance of home tasks. In A.D. Fisk & W.A. Rogers (Eds.), *Handbook of human factors and the older adult* (pp. 311-334). San Diego: Academic Press.
- D21 (2011). (N)ONLINER Atlas 2011. Zugang unter: <http://www.nonliner-atlas.de/>
- Damodaran, L. (1996). User involvement in the system design process – a practical guide for users. *Behaviour & Information Technology*, *15*, 363-377.

Deutsches Grünes Kreuz (1985). *Hörtest 1985*. München: Infratest Gesundheitsforschung.

Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (2006). *ICD-10 – Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme*. 10. Revision.

Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (2005). *ICF – Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit*.

DIN EN ISO 9241 (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit-Leitsätze: Allgemeine Einführung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (2006). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 14915 (2002). *Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen - Teil 1: Gestaltungsgrundsätze und Rahmenbedingungen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN ISO 13407 (2000). *Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (2010). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9000 (2000). *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2000)*, Dreisprachige Fassung EN ISO 9000:2000, Berlin: Beuth Verlag.

DIN-Fachbericht 124 (2002). *Gestaltung barrierefreier Produkte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN ISO 20282-1 (2006). *Einfachheit der Handhabung von Produkten des täglichen Gebrauchs – Teil1: Gestaltungsanforderungen im Kontext von Anwendungs- und Benutzermerkmalen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN ISO/TS 20282-2 (2006). *Vornorm, Einfachheit von Produkten des täglichen Gebrauchs - Teil 2: Prüfverfahren für öffentlich zugängliche Produkte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 32977 (1992). *Behinderungsgerechtes Gestalten: Begriffe und allgemeine Leitsätze*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33402-1 (2005). *Ergonomie - Körpermaße des Menschen – Teil 1: Begriffe, Messverfahren*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33402-2 (2005). *Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33402-3 (1964). *Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 3: Bewegungsraum bei verschiedenen Grundstellungen und Bewegungen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 894-1 (2009). *Sicherheit von Maschinen- Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer- Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 894-2 (2009). *Sicherheit von Maschinen- Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 894-3 (2009). *Sicherheit von Maschinen- Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33411-1 (2007). *Körperkräfte des Menschen – Teil 1: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33411-3 (1986). *Körperkräfte des Menschen – Teil 3: Maximal erreichbare statische Aktionsmomente männlicher Arbeitspersonen an Handrädern*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33411-4 (1999). *Körperkräfte des Menschen – Teil 4: Maximale statische Aktionskräfte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN 33411-5 (1999). *Körperkräfte des Menschen – Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 7250 (1997). *Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (2002). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 1: Allgemeine Einführung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 4: Anforderungen an Tastaturen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (2001). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 9241 (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexion (zurückgezogen)*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.

- DIN EN ISO 9241 (1997). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 8: Anforderungen an Farbdarstellung (zurückgezogen)*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241 (2002). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 9: Anforderungen an Eingabemittel - ausgenommen Tastaturen*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241 (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit-Leitsätze: Allgemeine Einführung*, Hrsg. DIN- Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241 (2000). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 12: Informationsdarstellung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241 (2008). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 410: Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241 (1996). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung*, Hrsg.: DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag.
- Duchowski, A.T. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. Heidelberg: Springer.
- Dumke, R. (2001). *Software Engineering, Eine Einführung für Informatiker und Ingenieure: Systeme, Einführungen, Methoden, Tools*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Eckstein, R., Henrich, A., & Weber, N. (2009). Das LFRP-Framework zur Beherrschung komplexer Suchsituationen. In T. Mandl & I. Frommholz (Hrsg.), *Tagungsband zum Workshop Information Retrieval* (pp. 84-91). Darmstadt.
- Engel, S., Mück, A., & Lang, F.R. (2009). Diagnostik des Demenzsyndroms: Kognitives Screening. In R. Mahlberg & H. Gutzmann (Hrsg.). *Demenzkrankungen erkennen, behandeln und versorgen* (S. 122-131). Köln: Deutscher Ärzteverlag.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215–251.
- Erixon, G. (1996). Modular Function Deployment (MFD), Support for Good Product Structure Creation. Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring, Delft.
- Faerber, M., Stöber, C., Jochaud, F., Jablonski, S., & Meerkamm, H. (2008). Knowledge oriented process management. In: *Proceedings on the 10th International Design Conference (DESIGN 2008)*, Dubrovnik.
- Fisk, A.D., Rogers, W.A., Charness, N., Czaja, S.J., & Sharit, J. (2009). *Designing for older adults: principles and creative human factors approaches* (2nd edition). Boca Raton [u. a.]: CRC Press.

Fox, M.C., Ericsson, K.A., & Best, R. (2011). Do Procedures for Verbal Reporting of Thinking Have to Be Reactive? A Meta-Analysis and Recommendations for Best Reporting Methods. *Psychological Bulletin*, 137(2), 316-344.

Fox, S. (2006). Seniors and the Internet. Zugang unter:
<http://www.pewinternet.org/Presentations/2006/Seniors-and-the-Internet.aspx>

Gainotti, G. (2010). Origins, controversies and recent developments of the MCI construct. *Current Directions in Alzheimer Research*, 7, 271-279.

Gassmann, O. & Reepmayer, G. (2005). *Wachstumsmarkt Alter. Innovationen für die Zielgruppe 50+*. München, Wien: Carl Hanser.

Gausemeier, J., Lindemann, U., Reinhart, G., & Wiendahl, H.-P. (2000). Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. *HNI-Verlagsschriftenreihe*, Band 79, Paderborn.

Gausemeier, J. & Möhringer, S. (2003). Ein Vorgehensmodell für den Entwurf mechatronischer Systeme. In Gausemeier, J., Lückel, J. & Wallaschek, J. (Hrsg.), *Intelligente mechatronische Systeme, Grundlagen, Methoden, Werkzeuge, Adaption und Selbstoptimierung, Mechatronik und Mikrosystemtechnik*. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 122.

Gausemeier, J., Ramminger, F., Schäfer, W., Trächtler, A., & Wallaschek, J. (2006). Entwurf mechatronischer Systeme, 4. *Paderborner Workshop*, Heinz-Nixdorf Institut, Paderborn.

Gediga, G. & Hamborg, K.-C. (2002). Ergonomische Evaluation von Software: Methoden und Modelle im Software-Entwicklungsprozess. *Zeitschrift für Psychologie*, 210, 40-57.

Gitlin, L.N. (2003). Next steps in home modification and assistive technology research. In: N. Charness & K.W. Schaie (Eds.), *Impact of technology on successful aging* (pp. 188-202). New York: Springer.

Glende, S. (2010). *Entwicklung eines Konzepts zur nutzergerechten Produktentwicklung - mit Fokus auf die „Generation Plus“*. Dissertation. TU Berlin.

Glende, S. & Friesdorf, W. (2011). Integration of Elderly Users into Product Development Processes – Senior Research Groups as Organisational and Methodical Approach. In N. Stanton (Ed.), *Handbook of Human Factors in Consumer Product Design*. Boca Raton: CRC Press.

Goldberg, J.H., & Wichansky, A.M. (2003). Eye tracking in usability evaluation: A practitioner's guide. In J. Hyönä, R. Radach & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 494-516). Amsterdam: Elsevier.

Goldberg, J.H., Zak, R.E., & Probart, C.K. (1999). Visual Search of Food Nutrition Labels. *Human Factors*, 41.

Göpfert, J. (1998). *Modulare Produktentwicklung – Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*. Wiesbaden: Gabler.

- Greve, W. & Wentura, D. (1997). *Wissenschaftliche Beobachtung. Eine Einführung*. Weinheim: Beltz.
- Haberfellner, R., Nagel, P., & Becker, M. (2002). *Systems Engineering, Methodik und Praxis*. Zürich: Verlag Industrielle Organisation.
- Hanke, H.-J. & Fabian, H. (1975). *Technologie elektronischer Baugruppen*. Berlin: VEB Verlag Technik.
- Haskell, W.L., Lee, I-M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D., & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 1423-1434.
- Hassenzahl, M., & Tractinsky, N. (2006). User Experience - a research agenda. *Behavior & Information Technology*, 25(2), 91-97.
- Hassenzahl, M. & Wessler, M. (2000). Capturing Design Space From a User Perspective: The Repertory Grid Technique Revisited. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 12, 441-459.
- Heeg, S., Heusel, C., Kühnle, E., Külz, S., et al. (2007). *Technische Unterstützung bei Demenz*. Bern: Huber.
- Heimann, B., Gerth, W., & Popp, K. (2001). *Mechatronik, Komponenten-Methoden-Beispiele*. München, Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.
- Hertzog, C., Kramet, A.E., Wilson, R.S., & Lindenberger, U. (2009). Enrichment effects on adult cognitive development. *Psychological Science in the Public Interest*, 9, 1-65.
- Hessenberger, M. (2002). *Materialwissenschaft, Einkauf und Logistik*. Umdruck zur Vorlesung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen: WS 2002/03, 40.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Halszka, J., & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: University Press.
- Hubka, V. (1996). Design for – Df. H. Meerkamm (Hrsg.), *Fertigungsgerechtes Konstruieren*. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Huch, R. & Jürgens, K.D. (2007). *Mensch Körper Krankheiten*. Urban & Fischer Verlag.
- Isaacowitz, D.M., Wadlinger, H.A., Goren, D., & Wilson, H.R. (2006). Selective preference in visual fixation away from negative images in old age? An eye tracking study. *Psychology and Aging*, 21, 40-48.
- ISO/IEC (2011): *Draft Guide 71 – Guidelines for standardization to address the needs of older persons and people with disabilities*, Genf: ISO/IEC, URL [http://www.cetti-co.fi.upm.es/aenor/BTWG101-5\(Sec\)22.pdf](http://www.cetti-co.fi.upm.es/aenor/BTWG101-5(Sec)22.pdf). [Abruf: 30.09.2011].
- Irwin, D.E. (2004). Fixation location and fixation duration as indices of cognitive processing. In: J.M. Henderson und F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision and*

action: *Eye movements and the visual world* (pp. 105-133). New York: Psychology Press.

Jacob, R.J.K. & Karn, K.S. (2003). Eye tracking in human computer interaction and usability research: ready to deliver the promises. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 573-605). Amsterdam: Elsevier.

Jöckel, K.-H., Babitsch, B., Bellach, B.-M., Bloomfield, K., Hoffmeyer-Zlotnik, J., Winkler, J., & Wolf, C. (1998): Messung und Quantifizierung soziodemographischer Merkmale in epidemiologischen Studien. Empfehlungen. In: *Messung soziographischer Merkmale in der Epidemiologie*, RKI-Schriften 1/1998. München: MMV Medizin Verlag, 7-38.

Joos, M., Rötting, M. & Velichkovsky, B. M. (2003). Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen. In: G. Rickheit, T. Herrmann und W. Deutsch (Hrsg.), *Psycholinguistik. Ein internationales Handbuch* (S. 142-168). Berlin, New York: deGruyter.

Kallmeyer, F. (1998). *Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme*. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe.

Kelley, J.F. (1984). An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 2(1), 26–41.

Koller, R. (1985). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen des methodischen Konstruierens* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Kopenhagen, F. (2004). *Systematische Ableitung modularer Produktarchitekturen. Komplexitätsreduzierung in der Konzeptphase*. Aachen: Shaker.

Krehmer, H., Eckstein, R., Lauer, W., Roelofsen, J., Stöber, C., Troll, A., Zapf, J., Weber, N., Meerkamm, H., Henrich, A., Lindemann, U., Rieg, F., & Wartzack, S. (2009). Coping with multidisciplinary product development – a process model approach. *eProceedings of the 17th International Conference on Engineering Design 2009, ICED'09*, Vol. 1, Stanford, August 2009, 241-252.

Krehmer, H., Eckstein, R., Lauer, W., Roelofsen, J., Stöber, C., Troll, A., Zapf, J., Weber, N., Meerkamm, H., Henrich, A., Lindemann, U., Rieg, F., & Wartzack, S. (2010). Das Forflow-Prozess-Modell zur Unterstützung der multidisziplinären Produktentwicklung. *Konstruktion 2010*, 10/2010, 59-68.

Krehmer, H., Stöber, C., & Meerkamm, H. (2008). Approach on the control of iterations in the multidisciplinary development of technical systems. In: *Proceedings on the 10th International Design Conference (DESIGN 2008)*, Dubrovnik, pp. 1303-1310.

Krueger, R.A. & Casey, M.A. (2008). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research*. Thousand Oaks: Sage.

Krüger, D., Stockinger, A., & Wartzack, S. (2011). A haptic based Hybrid Mock-Up for mechanical products supporting human-centered design. *International Conference on Engineering Design – ICED11*, Kopenhagen.

- Kujala, S. (2003). User involvement: A review of the benefits and challenges. *Behavior and Information Technology*, 22, 1-16.
- Lang, F.R., Rohr, M.K., & Williger, B. (2011). Modeling Success in Lifespan Psychology - The Principles of Selection, Optimization, and Compensation. In: K. Fingerma, C. Berg, T. Antonucci, & J. Smith (Eds.). *Handbook of Lifespan Development*. New York: Springer.
- Langford, J., & McDonagh, D.(2003).*Focus groups: Supporting effective product developing*. New York: Taylor & Francis.
- Laslett, P. (1991). *A fresh map of life: The emergence of the third age*. Cambridge: Harvard.
- Lauer, W. (2010). *Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen*. Dissertation. TU München.
- Lauer, W., Faerber, M., Roelofsen, J., Jochaud, F., Jablonski, S., & Lindemann, U. (2008). Process Management System for the Integration of Situation Dependent Process Planning. In: *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, pp. 1788-1792.
- Lautenschlager, N.T., Cox, K., & Kurz, A.F. (2010). Physical activity and mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Current Neurology and Neuroscience Report*, 10, 352-358.
- Lawton, M.P. (1999). Environmental taxonomy: Generalizations from research with older adults. In: S.L. Friedman & T D. Wachs (Eds.), *Measuring environment across the life span* (pp. 91-124). Washington: APA.
- Lawton, M.P. & Nahemow, L. (1973). Ecology and the aging process. In: C. Eisdorfer & M.P. Lawton (Eds.), *The psychology of adult development and aging* (pp. 619-675). Oxford: APA.
- Lindemann, U. (2007). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lindemann, U., Reichwald, R., & Zäh, M.F. (2006). *Individualisierte Produkte: Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lindenberger, U. (2000). Intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne: Überblick und ausgewählte Forschungsbrennpunkte. *Psychologische Rundschau*, 51, 135-145.
- Lindenberger, U., Lövdén, M., Schellenbach, M., Li, S.-C., & Krüger, A. (2008). Psychological Principles of Successful Aging Technologies: A Mini-Review. *Gerontology*, 54, 59-68.
- Linß, G. (2005). *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Linse, H. & Fischer, R. (2000). *Elektrotechnik für Maschinenbauer, Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: B.G. Teubner.

- Maier, H. & Vaupel, J.-W. (2003). Age differences in cultural efficiency: Secular trends in longevity. In: U.M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Understanding human development. Dialogues with lifespan psychology* (pp. 59-78). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Masing, W. (1999). *Handbuch Qualitätsmanagement*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Meerkamm, H. & Koch M. (2005). Design for X . In: Clarkson & Eckert (Eds.), *Design Process improvement: A review of current practice*. London: Springer.
- Mather, M. & Carstensen, L.L. (2005). Aging and motivated cognition: The positivity effect in attention and memory. *Trends in Cognitive Science*, 9, 496-502.
- Mayer, R. (1993). *Strategien erfolgreicher Produktgestaltung*. Wiesbaden: DUV.
- Mayhorn, C.B., Nichols, T.A., Rogers, W.A., & Fisk, A.D. (2004). Hazards in the home: using older adults' perceptions to inform warning design. *Injury Control and Safety Promotion*, 11, 211-218.
- Melenhorst, A.-S., Rogers, W. A., & Bouwhuis, D. G. (2006). Older adults' motivated choice for technological innovation: Evidence for benefit-driven selectivity. *Psychology and Aging*, 21, 190-195.
- Meyer, M.H. & Lehnerd A.P. (1997). *The Power of Product Platforms: Creating and Sustaining Robust Corporations*. New York: The free press.
- Meyer, S. & Mollenkopf, H. (2010). *AAL in der alternden Gesellschaft - Anforderungen, Akzeptanz und Perspektiven*. Berlin, Offenbach: VDE Verlag.
- Mitzner, T.L. & Dijkstra, K. (2011). E-Health for older adults: Assessing and evaluating user centered design with subjective methods. In M. Ziefle & C. Röcker (Eds.), *Human-centered design of ehealth technologies: technologies, methods, and applications* (pp. 1-21).. Hershey, PA: Medical Information Science Reference.
- Mollenkopf , H., Mix, S., Gäng, K., & Kwon, S. (2001). Alter und Technik. In: Deutsches Zentrum für Altersfragen (Hrsg.), *Personale, gesundheitliche und Umweltressourcen im Alter (Vol. 1 - Expertisen zum Dritten Altenbericht der Bundesregierung, S. 253-438)*. Opladen: Leske und Buderich.
- Müller M. (2000). *Modularisierung von Produkten: Entwicklungszeiten und Entwicklungskosten reduzieren*. München, Wien: Hanser-Verlag.
- Mwangi, S.; Spiegl, W.; Hönig, F.; Haderlein, T.; Maier, A., & Nöth, E. (2009). Effects of Vocal Aging on Fundamental Frequency and Formants, In: *Proceedings of the International Conference on Acoustics NAG/DAGA*, Rotterdam.
- National Center for Health Statistics (1992). Vital and health statistics: Current estimates from the National Health Interview, 1991. *Series 10: Data from the National Health Survey, 184*. Hyattsville, MD: US Department of Health and Human Services.

- NC State University, Center for Universal Design(2011). The Principles of Universal Design. Zugang unter: www.ncsu.edu [Abruf: 30.09.2011].
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: AP Professional.
- Norman, G.J. (2008). Answering the “What works?” question in health behavior change. *American Journal of Preventive Medicine*, 34, 449–450.
- O’Brian, M.A (2010). *Understanding human-technology interactions: the role of prior experience and age*. Unpublished doctoral dissertation. Georgia Institute of Technology.
- Orpwood, R., Bjerneby, S., Hagen, I., Mäki, O., Faulkner, R. & Topo, P. (2004). User involvement in dementia product development. *Dementia*, 3, 263-279.
- Oswald, W.O., Lehr, U., Sieber, C., & Kornhuber, J. (2006). *Gerontologie. Medizinische, psychologische und sozialwissenschaftliche Grundlagen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Owsley, C., Sekuler, R., & Siemen, D. (1983). Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Research*, 23, 689-699.
- Paetzold, K. (2004). Workflow-Systeme im Produktentwicklungsprozess. In Meerkamm, H. (Ed.). *Beiträge zum „15. Symposium Design for X“*. Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Erlangen, 14.-15. Oktober 2004, 55-64.
- Paetzold, K. (2010). An Approach to Adapt the Product Functionality to the Abilities of Seniors, In: Ziffle, M.; Röcker, C. (Hrsg.): *Human Centered Design of E-Health*, IGI Global, 2010
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. ,& Grothe, K.-H. (2003). *Konstruktionslehre- Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung* (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Pak, R., Czaja, S.J., Sharit, J., Rogers, W.A., & Fisk, A.D. (2008). The role of spatial abilities and age in performance in an auditory computer navigation task. *Computers in Human Behavior*. 24(6).
- Pak, R. & McLaughlin, A. (2010). *Designing Displays for Older Adults*. Boca Raton [u. a.]: CRC Press.
- Pernice, K. & Nielsen, J. (2009). *Eyetracking Web Usability*. Amsterdam: Addison-Wesley Longman.
- Petersen, R.C., Smith, G.E., Waring, S.C., Ivnik, R.J., Kokmen, E., & Tangelos, E.G. (1997). Aging, memory, and mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, 9, 65–69.
- Piller, F.T. (1998). *Kundenindividuelle Massenproduktion*. München: Hanser.
- Pimmler, U. & Eppinger, S. (1994): Integration Analysis of Product Decompositions. *Proceedings of the 6th Design Theory and Methodology Conference*. New York.
- Pfeifer, T. (1993). *Qualitätsmanagement – Strategien, Methoden, Techniken*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Preece, J. (1994). *Human-Computer Interaction*. Harlow: Addison-Wesley.

QM-INFOCENTER (2007). Zugang unter: <http://www.qm-infocenter.de/qm/default.asp> (Stand: 31. 01. 2007).

Rapp T. (1999). *Produktstrukturierung: Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag Gabler.

Rapp, T. (2010). *Produktstrukturierung: Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen*. ID-Consult wissen für die Praxis.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372-422.

Ready, R.E., Weinberger, M.I., & Kones, K.M. (2007). How happy have you felt lately? Two diary studies of emotion recall in older and younger adults. *Cognition & Emotion*, 21(4), 728-757.

Regius, B. (2006). *Qualität in der Produktentwicklung – Vom Kundenwunsch bis zum fehlerfreien Produkt*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.

Reis, H.T. & Gable, S.L. (2000). Event-sampling and other methods for studying everyday experience. In T.H. Reis & M.C. Judd (Eds.), *Handbook of research methods in social and personality psychology* (pp. 190-222). New York: Cambridge University Press.

Richter, M. (1999). Online Befragung als neues Instrument zur Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit interaktiver Software am Beispiel einer Internet-Anwendung. In U.-D. Reips, B. Batinic, W. Bandilla, M. Bosnjak, L. Gräf, K. Moser & A. Werner (Hrsg.), *Current Internet Science – Trends, Techniques, Results*. Zürich.

Riepe, B. (2003). *Integrierte Produktstrukturmodellierung in den frühen Phasen der Produktentstehung*. Norderstedt: Bod.

Roddeck, W. (1997). *Einführung in die Mechatronik*. Stuttgart: B. G. Teubner Verlag.

Rodenacker, W.G. (1970). *Methodisches Konstruieren*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.

Roelofsen, J.; Krehmer, H.; Lindemann, U., & Meerkamm, H. (2008). Using the Design-Structure-Matrix for the Avoidance of Unnecessary Iterations. In: Kreimeyer, M., Lindemann, U. & Danilovic, M. (Eds), *Proceedings of the 10th International DSM Conference* (pp. 209-218). Stockholm.

Rötting, M. (2001). *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen*. Aachen: Shaker.

Rott, C., Wahl, H.-W. & Tesch-Römer, C. (1996). Die Rolle von Seh- und Höreinbußen für den Alternsprozeß. In C. Tesch-Römer & H.-W. Wahl (Hrsg.), *Seh- und Höreinbußen älterer Menschen. Herausforderungen in Medizin, Psychologie und Rehabilitation* (S. 89-106). Darmstadt: Steinkopff.

Salthouse, T.A. (1984). Effects of Age and Skill in Typing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(3), 345-371.

Salthouse, T.A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35-54.

- Sarodnick, F. & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. Bern: Huber.
- Sauerwein, E. (2000). *Das Kano- Modell der Kundenzufriedenheit*. Deutscher Universitäts-Verlag.
- Schäppi, B., Andreasen, M.A., Kirchgeorg, M., & Randermacher, F.-J. (2005). *Handbuch Produktentwicklung*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Schieber, F. (2003). Human factors and aging: identifying and compensating for age-related deficits in sensory and cognitive function. In N. Charness & K.W. Schaie (Eds.), *Impact of technology on successful aging* (pp. 42-84). New York: Springer.
- Schön, A. (2000). *Konzeption und Architektur eines Assistenzsystems für die mechatronische Produktentwicklung*. Dissertation. Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg.
- Scialfa, C.T., Ho, G., & Laberge, J. (2004). Perceptual aspects of gerontechnology. In: D.C. Burdick & S. Kwon (Eds.), *Gerotechnology. Research and practice in technology and aging* (pp. 18-41). New York: Springer.
- Simon H.A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 467-468.
- Simon, H.A. (1978). Information-Processing Theory of Human Problem Solving. In W.K. Estes (Eds.), *Handbook of Learning and Cognitive Processes*, Vol.V. (pp. 271-295). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Statistisches Bundesamt (2009). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 (12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung)*. Wiesbaden.
- Staudinger, U.M., Marsiske, M., & Baltes, P.B. (1995). Resilience and reserve capacity in later adulthood: Potentials and limits of development across the life span. In D. Cicchetti & D. Cohen (Eds.), *Developmental psychopathology*, Vol. 2: Risk, disorder, and adaptation (pp. 801–847). New York: Wiley.
- Stechert, C.; Bauer, S.; Franke, H.-J., & Meerkamm, H. (2008). Requirements management in early stages of mechatronic design by visualization of interdependencies. In: *Proceedings of the 10th International Design Conference DESIGN 2008*, Dubrovnik.
- Stöber, C. & Schmidt, J., Wartzack, S., Paetzold, K., & Meerkamm, H. (2010). *Modularisierungsstrategie für Produkte für leistungseingeschränkte Personen*. Design for X - Beiträge zum 21. Symposium, (Hrsg. Krause, Paetzold, Wartzack), 23-24. September 2010, Buchholz 2010, S. 205-222.
- Taylor, S. (2006). A new approach to empowering older people's forums: Identifying barriers to encourage participation. *Practice*, 18, 117-128.
- Tekla (2011). *Forschungsprojekt TEKLA*. Zugang unter: <http://www.tl.rwth-aachen.de/forsch-ung/tekla/index.html> [Abruf: 30.09.2011].
- Tesch-Römer, C. (2001). *Schwerhörigkeit im Alter: Belastung, Bewältigung, Rehabilitation*. Median Verlag.

- Thomas, M. (2001). *Design und Analyse integrierter Schaltungen mit evolutionären Algorithmen*. Dissertation. Universität Dortmund.
- Ulrich, K. (1995). The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm. *Research Policy*, 24 (3).
- Wahl, H.-W. (1998). Alltagskompetenz: Ein Konstrukt auf der Suche nach einer Identität. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 31 (4), 243-249.
- Wahl, H.-W., & Lang, F.R. (2006). Psychological aging: A contextual view. In P.M. Conn (Eds.), *Handbook of models for the study of human aging* (pp. 881-895). Burlington: Elsevier Academic Press.
- Wahl, H.-W., Oswald, F., & Zimprich, D. (1999). Everyday competence in visually impaired older adults: A case for person-environment perspectives. *The Gerontologist*, 39, 140-149.
- Weckenmann, A. (2006). *Qualitätsmanagement – Qualitätstechniken und Managementwissen*. Vorlesungsskript. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Westermann, R. (2002). Merkmale und Varianten von Evaluationen: Überblick und Klassifikation. *Zeitschrift für Psychologie*, 210, 4–26.
- Williger, B. & Lang, F.R. (2009). *Technologie*. Uni Kurier Magazin, 35 (110), 26.
- Winkelmann, R. (1996). *Softwareentwicklung, Leitfaden für die qualitätsorientierte Entwicklung und Einführung von DV-Verfahren und Informations-/ Kommunikationssystemen*. Erlangen. München: Publicis MCD Verlag.
- Wolter, F. (2007). *Alter und Technik*. Saarbrücken: VDM.
- Wood, L.E. (1997). Semi-structured interviewing for user-centered design. *Interactions*, 4, 48-61.
- Yaffe, K., Barnes, D., Nevitt, M., Lui, L.-Y. & Covinsky, K. (2001). A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women. *Archive of Internal Medicine*, 161, 1703-1708.

Der „Leitfaden für die altersgerechte Produktentwicklung“ adressiert Ingenieure und Informatiker in Studium und Praxis, die in der altersgerechten Produktentwicklung tätig sind. Der Fokus des Leitfadens liegt auf dem Einsatz der vorgestellten Ansätze und Methoden in der Praxis. Neben Hinweisen für die Anwendung und Durchführung der Methoden, ergänzen Beispiele und Erfahrungen aus den Aktivitäten des Forschungsverbundes FitForAge die Ausführungen.

ISBN 978-3-8396-0416-8



9 783839 604168

