



Institut für Konstruktionstechnik
und Technisches Design
Universität Stuttgart

Forschungs- und Lehrgebiet
Technisches Design

Prof. Dr.-Ing. T. Maier

Andreas Kaufmann

Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen in mobilen Maschinen

Bericht Nr. 711

Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen in mobilen Maschinen

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Andreas Kaufmann
geboren in Ulm

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier
Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2023

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design
Universität Stuttgart

2023

D 93

ISBN-13: 978-3-946924-18-0

**Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9

D-70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 685-66055

Telefax: +49 (0)711 685-66219

E-Mail: mail@iktd.uni-stuttgart.de

Vorwort

*„Glück ist das Einzige, das sich
verdoppelt, wenn man es teilt.“
(Albert Schweitzer)*

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design des Instituts für Konstruktions-technik und Technisches Design der Universität Stuttgart.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier danke ich für die Betreuung der Arbeit, für das in mich gesetzte Vertrauen, für die konstruktiven Diskussionen und die Freiheiten bei der Bearbeitung meines Forschungsthemas.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts. Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Dem kompletten Team des IKTDs möchte ich für das stets positive und produktive Institutsumfeld danken. Besonders danke ich meinen beiden ehemaligen Gruppenleitern Dr.-Ing. Markus Schmid und Dr.-Ing. Daniel Holder für die freundschaftliche und persönliche Art der Unterstützung in allen Phasen der Zusammenarbeit. Zusätzlich bin ich über sämtliche fachlichen und privaten Unterhaltungen sehr dankbar, die ich mit den einzelnen Kollegen und Freunden am Institut führen durfte.

Allen Teilnehmern meiner Experteninterviews sowie den Leitern und Leiterinnen der Projekte, die meiner Evaluation dienen, möchte ich danken.

Im privaten Umfeld möchte ich meinen Freunden danken, die stets für Abwechslung und andere Gedankengänge gesorgt haben.

Meinen Eltern und Schwestern gilt besonderer Dank für die Unterstützung auf meinem bisherigen Weg, inklusive aller Höhen und Tiefen.

Abschließend möchte ich den größten Dank an meine Verlobte richten für die permanente Unterstützung und positive Art, die einen maßgeblichen Anteil am Erfolg der Arbeit darstellen.

Stuttgart, den 21.03.2023

Andreas Kaufmann

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VII
Abstract.....	X
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit.....	3
1.3 Struktur der Arbeit.....	4
2 Theoretische Grundlagen	6
2.1 Mensch-Maschine-Schnittstelle	6
2.1.1 Virtuelles Interface	8
2.1.2 Reales Interface.....	8
2.1.3 Stellteile	9
2.1.4 Anzeigen.....	9
2.1.5 Wirkteil	10
2.1.6 UASW-Modell	10
2.1.7 Interaktionsmodalitäten.....	11
2.1.8 Interfacetechnologien.....	11
2.2 Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	13
2.2.1 Usability	13
2.2.2 Usability-Engineering und User Experience.....	14
2.2.3 Gestaltungsunterstützende Kreativitäts- und Innovationstechniken.....	15
2.3 Ergonomie	16
2.3.1 Klassische Ergonomie	17
2.3.2 Kognitive Ergonomie.....	22
2.4 Bedienszenarien	27
2.5 Komplexität	27
2.6 User	30
2.6.1 Qualifikation	30
2.6.2 Erfahrungsgrad	31
2.6.3 Kompetenz.....	31

2.7	Adaptivität	33
2.8	Konsum- und Investitionsgüter.....	35
2.9	Definition und Abgrenzung Methode und Methodik.....	37
2.10	Produktentwicklungsprozess und die frühe Phase.....	37
2.11	Wissensgenerierung	38
2.11.1	Fragebogen.....	39
2.11.2	Experteninterviews.....	39
2.11.3	Delphi-Methode.....	40
2.12	Evaluation	42
2.12.1	Formative Evaluation	43
2.12.2	Heuristische Evaluation.....	43
2.12.3	Summative Evaluation	44
3	Stand der Technik und Forschung.....	45
3.1	Forschungsprojekte zu adaptiven Interfaces.....	45
3.1.1	Forschungsprojekte aus hochschulwissenschaftlicher Entwicklung.....	47
3.1.2	Forschungsprojekte aus industrieller Entwicklung.....	51
3.1.3	Zeitliche Entwicklung von Projekten mit adaptivem Kontext.....	53
3.2	Designprozesse und Produktentwicklungsmodelle	55
4	Potenzialanalyse und Parametrisierung.....	57
4.1	Potenzialanalyse anhand von Expertenwissen	57
4.1.1	Methodische Entwicklung von Experteninterviews.....	57
4.1.2	Expertendelphi	58
4.1.3	Forschungsfragen	59
4.1.4	Experten.....	59
4.1.5	Fragebogendesign	61
4.1.6	Ergebnisse der Potenzialanalyse	63
4.1.7	Gewichtete Parametrisierung für die Methodenentwicklung.....	64
4.1.8	Gewichtete Parametrisierung zur Bedienfunktionskategorisierung	67
4.1.9	Zusammenfassung der Experteninterviews	69
4.2	Erkenntnisse für die Methodikentwicklung	70
5	Anforderungsgenerierung	71
5.1	Allgemeingültige Anforderungen	72
5.2	Spezifische Anforderungen	73
5.3	Anforderungsliste	73
6	Konzeption der Methodik.....	76
6.1	Fokusgenerierung	79
6.1.1	Motivation und Abgrenzung.....	79
6.1.2	Bewertungsskala und Bewertung.....	80

6.1.3	Berechnung.....	83
6.1.4	Diskussion.....	85
6.2	Funktions-Zuordnungsmethode	85
6.2.1	Motivation und Abgrenzung	85
6.2.2	Parameterauswahl aus Expertendelphi	87
6.2.3	Funktionscharakterisierung	87
6.2.4	Charakterisierung der Interfacetechnologie	90
6.2.5	Eignungsberechnung	91
6.2.6	Diskussion.....	92
6.3	Komplexitätsmethode	93
6.3.1	Motivation und Abgrenzung	93
6.3.2	Bewertungsskala.....	95
6.3.3	Komplexitätsberechnung	98
6.3.4	Anwendungsbeispiele und Komplexitätsdreieck	100
6.3.5	Diskussion.....	103
6.4	Funktions- und Bedienanalyse.....	103
6.4.1	Motivation und Abgrenzung	103
6.4.2	Parametrisierung.....	105
6.4.3	Kompatibilitätenabgleich	110
6.4.4	Diskussion.....	113
6.5	Layer-Methode.....	114
6.5.1	Motivation und Abgrenzung	114
6.5.2	Methodenanwendung und Anwendungsbeispiel.....	116
6.5.3	Diskussion.....	120
6.6	Methodenergebnisse	120
7	Evaluation der Methodik	122
7.1	Evaluation durch die Potenzialanalyse	127
7.2	Formative Evaluation	128
7.2.1	Formative Evaluation der Methodik.....	128
7.2.2	Formative Evaluation der Methoden	129
7.2.3	Evaluationsprojekt EvP1	129
7.2.3.1	Evaluationsergebnisse	130
7.2.3.2	Projektergebnisse	132
7.2.4	Evaluationsprojekt EvP2	133
7.2.4.1	Evaluationsergebnisse	134
7.2.4.2	Projektergebnisse	136
7.2.5	Ergebnisse der formativen Evaluation	137
7.3	Heuristische Evaluation	137
7.3.1	Heuristische Evaluation der Methodik.....	138
7.3.2	Heuristische Evaluation der Methoden	138

7.3.3	Evaluationsprojekt EvP3	138
7.3.3.1	Evaluationsergebnisse	138
7.3.3.2	Projektergebnisse.....	142
7.3.4	Evaluationsprojekt EvP4	142
7.3.4.1	Evaluationsergebnisse	142
7.3.4.2	Projektergebnisse.....	144
7.3.5	Evaluationsprojekt EvP5	146
7.3.5.1	Evaluationsergebnisse	146
7.3.5.2	Projektergebnis	149
7.3.6	Evaluationsprojekt EvP6	150
7.3.6.1	Evaluationsergebnisse	151
7.3.6.2	Projektergebnis	154
7.3.7	Ergebnisse der heuristischen Evaluation	160
7.4	Summative Evaluation	161
7.5	Gesamtevaluation der Methodik.....	165
8	Zusammenfassung	169
9	Ausblick.....	173
	Literaturverzeichnis.....	175
	Anhang	200
A1	Entwicklungsprojekte adaptiver Interfaces	200
A2	Fragebogen der Delphi-Expertenbefragung Teil 1	203
A3	Ergebnisse der Delphi-Expertenbefragung Teil 2.....	207
A4	Methodik	212
A5	Evaluation	215
	Lebenslauf.....	217

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Erläuterung	Quelle / Hinweis
A	Anzeige	Vgl. Kap. 2.1.6
AFS	Anzahl an Funktionen pro Stellteil	Vgl. Kap. 6.3.1
AFW	Anzahl an Funktionen pro Wirkteil	Vgl. Kap. 6.3.1
A.g.	Anwendungsgrenzen	Vgl. Kap. 7.2.3.1
AG	Automatisierungsgrad	Vgl. Kap. 6.3
AP	Anordnungsprinzip	Vgl. Kap. 2.3.1
AS	Anzahl an Stellteilen	Vgl. Kap. 6.3.1
AW	Anzahl an Wirkteilen	Vgl. Kap. 6.3.1
BBF	Bewertung der Bedienfunktion	Vgl. Kap. 6.2.5
BE	Bedienelement	Vgl. Kap. 2.1
BF	Bedienfunktion	Vgl. Kap. 2.3.1
BIFT	Bewertung Interfacetechnologie	Vgl. Kap. 6.2.5
BS	Bediensystem	Vgl. Kap. 2.3.1
BSZ	Bedienszenario	SCHMID & MAIER 2017, S.96
D. / Ä.	Design / Ästhetik	Vgl. Kap. 4.1.8
E	Expertise	Vgl. Kap. 6.3.1
El.	Ellenbogen	Vgl. Kap. 6.4.2
EAP	Ellenbogenauflagepunkte	KAUFMANN ET AL. 2020
EG	Eignungsgrad	Vgl. Kap. 6.2.5
EH	Expertise HMI	Vgl. Kap. 6.3.1
EP	Expertise Produkt	Vgl. Kap. 6.3.1
ErG	Erfüllungsgrad	Vgl. Kap. 7
EvP	Evaluationsprojekt	Vgl. Kap. 6
F	Festforderung	Vgl. Kap. 5.3
F.	Fokussierung	Vgl. Kap. 7.2.3.1

FE	Formative Evaluation	Vgl. Kap. 7
FF	Forschungsfrage	Vgl. Kap. 4.1.5
FG	Fokusgenerierung	Vgl. Kap. 6
Fr. E.	Frontalebene	Vgl. Kap. 6.4.2
FuB	Funktions- und Bedienanalyse	Vgl. Kap. 6
FuG	Funktionsgruppe	Vgl. Kap. 2.4
FZM	Funktions-Zuordnungsmethode	Vgl. Kap. 6
GUI	Grafisches User Interface	Vgl. Kap. 2.1.1
HE	Heuristische Evaluation	Vgl. Kap. 7
HMI	Human-Machine-Interface	Vgl. Kap. 1
HMIK	HMI-Komplexität	Vgl. Kap. 6.3.1
H. E.	Horizontalebene	Vgl. Kap. 6.4.2
Hw.E.	Hochschulwissenschaftliche Entwicklung	Vgl. Kap. 3.1
IE	Interfaceelement	Vgl. Kap. 2.5
IG	Interfacegestalt	SCHMID & MAIER 2017, S.89
IfT	Interfacetechnologien	Vgl. Kap. 4.1.6
IK	Interfacekomplexität	Vgl. Kap. 6.3.1
Ind.E.	Industrielle Entwicklung	Vgl. Kap. 3.1
iPeM	Integrated Product Engineering Model	Albers et al. 2016
IS	Interfacesystem	SCHMID & MAIER 2017, S.33
KM	Komplexitätsmethode	Vgl. Kap. 6
KS	Korrelationen zwischen den Stellteilen	Vgl. Kap. 6.3.1
KW	Korrelation zwischen den Wirkteilen	Vgl. Kap. 6.3.1
LM	Layer-Methode	Vgl. Kap. 6
MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle	Vgl. Kap. 1
MoFC	Most Frequent Case-Szenarien	Vgl. Kap. 2.4
N.v.z.	Nachvollziehbarkeit	Vgl. Kap. 7.4
PA	Potenzialanalyse	Vgl. Kap. 7

PEP	Produktentwicklungsprozess	Vgl. Kap. 2.10
PK	Produktkomplexität	Vgl. Kap. 6.3
PSB	Positionierungsstufe für Bedienelemente	KAUFMANN ET AL. 2020
R.	Rumpf	Vgl. Kap. 6.4.2
S	Stellteil	Vgl. Kap. 2.1.6
S. E.	Sagitalebene	Vgl. Kap. 6.4.2
SB	Sehbereich	Vgl. Kap. 6.4.1
S.	Schulter	Vgl. Kap. 6.4.2
SE	Summative Evaluation	Vgl. Kap. 7
U	User	Vgl. Kap. 2.1.6
UI	User Interface	Vgl. Kap. 2.12.1
UX	User Experience	Vgl. Kap. 6.2.6
VS	Varietät der Stellteile	Vgl. Kap. 6.3.1
VW	Varietät der Wirkteile	Vgl. Kap. 6.3.1
W	Wirkteil	Vgl. Kap. 2.1.6
WoC	Worst Case-Szenarien	Vgl. Kap. 2.4
Wü	Wünsche	Vgl. Kap. 5.3
ZW	Zahlenwert	Vgl. Kap. 7.1

Abstract

The goal of this work is to develop a methodology that enables the development of adaptive human-machine-interfaces (HMI) for mobile machines. An adaptive HMI enables the user to interact with the technical system in a way that is optimally adapted to the dynamic conditions. The claim of this methodology is to provide a standardized approach that can be repeated and used successfully by different developers.

„A method is more important than a discovery, since the right method will lead to new and even more important discoveries.“ [LEV LANDAU, CITED AFTER DIXON 2013]

This quote underlines the importance of applicable methods. Applied to the topic of this thesis, the methodology offers the possibility to develop diverse adaptive human-machine-interfaces. According to this quote, this possibility is worth more than the development of a single adaptive control.

The developed methodology is assigned to the fuzzy front end in the emergence of products. In terms of the classic product development process, the core of the methodology is found in the planning and conception of the product. A schematic overview of this work is shown in Figure 1.

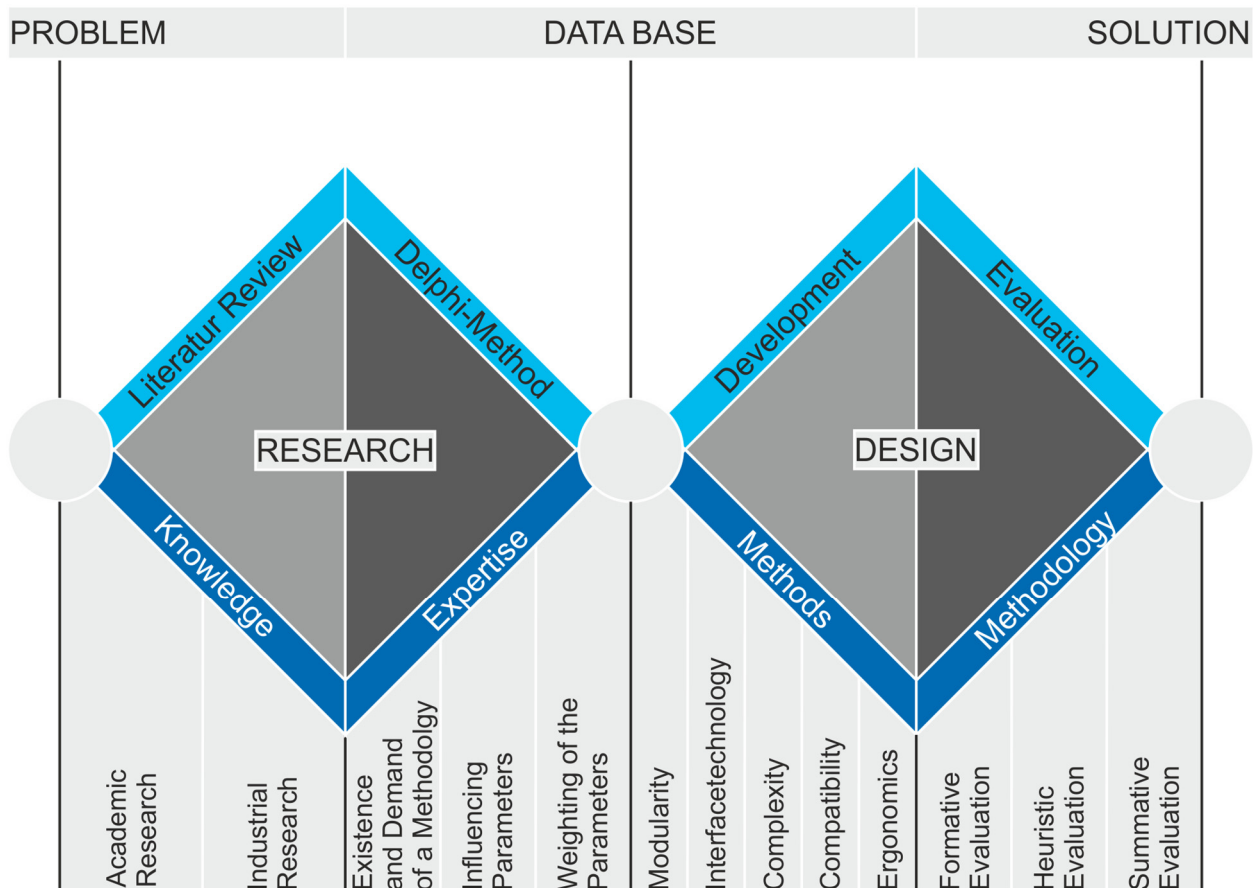


Figure 1: Schematic structure of the monography in the shape of the double diamond

A human-machine-interface represents the functionalities of a technical system in a degree of abstraction that corresponds to the cognitive abilities of the person operating the system. A certain portion of the functionalities can be performed automatically and the remaining portion is made accessible to the human through actuators and displays within the framework of a cockpit, a cabin, a terminal or merely in the form of individual actuators and displays. Three main factors influencing the design of this human-machine-interface are the complexity that needs to be adapted to the cognitive abilities of the user, the ergonomic requirements of the user, that should be taken into account, and the appropriate interface technology that is made available to the user. These factors show that a user-centered development is essential.

Technical systems and their functionalities become more extensive and complex with advancing technological developments. This inevitably carries over to the operations. It is accompanied by the fact that the demands on the user of the technical system expand, if the degree of automation cannot be increased. The extent and complexity can be kept at a manageable level for the user with the approach of adaptivity. Adaptive control elements and operating systems offer the possibility of adapting to the user and the task at hand. As a result, it is supported to an appropriate extent during operation.

To develop such an adaptive operating control a methodical approach is required. In the context of this work, development methods, processes and models that are suitable for this type of development are first examined. This research shows that no unrestricted suitable approach exists. Following this research, expert interviews are conducted in the form of a two-stage Delphi method. The result is, on the one hand, confirmation of the results of the literature research and, on the other hand, 91 influencing parameters that are suitable as a basis for the development of the methodology. These parameters are weighted in a second survey with the experts, with a total of 31 parameters being classified as the most relevant.

Subsequently, requirements are generated which are placed on the methodology to be developed. These also serve to evaluate the finished methodology.

Based on collected and weighted parameters, a modular methodology is created, which is divided into five individual methods. Ideally, the individual methods should be applied according to a predefined chronology. The five methods are briefly explained below.

The starting point of the methodical approach is the 'focus creation' method. Here, the respective project focus is clearly defined and agreement is reached among the project partners on the detailed objectives and procedures. By evaluating 20 parameters, a focus can be calculated, which determines the exact target and the further procedure.

Of the four other methods available, each with a different focus, one to four methods are recommended for further use through the 'focus creation' method.

The next method to be applied is the 'function assignment' method. Here, eleven parameters from the expert interviews and an additional three parameters are used. By means of an evaluation of the project user, the operating functions of the technical systems to be investigated are assigned to two available interface technologies. The interface technologies are the haptic operation in the form of buttons, control sticks and the like and the virtual operation in the form of touchscreens. This method can be extended to other technologies. In the context of this work, however, only these two interface technologies are relevant. A degree of suitability is calculated, which assigns the appropriate suitable interface technology to each operating function.

In the 'complexity method', key figures are calculated with regard to product complexity and HMI complexity. Those specify how complex the technical system is on the one hand and the HMI on the other. In the HMI complexity, the group of users and their skills and qualifications are taken into account in addition to the HMI. In the following, a qualitative relationship is established between the product complexity, the HMI complexity and the degree of automation of the technical system. For all results of the calculated key figures, design recommendations are given on how to proceed with the combination of the distributed complexities in further development.

In the further course of the application of the methodology, the various operating functions are analyzed in detail as well as the operating scenarios as a whole. The method is called 'function and operating analysis'. The focus here is on ergonomics and compatibility between the actuator and the active part. Moreover, the extensive investigation provides operating characteristics and necessary compatibilities. These are important in the further design process of the human-machine-interface.

Part of the results from the function and operating analysis provide the foundation of the 'layer method'. The operating characteristics, the compatibilities and the findings on the positioning of individual functions or the assigned actuators and displays are the key variables. These are required as prerequisites for the application of the 'layer method'. The different characteristics of the operating functions are positioned on a basic layout of the available installation space, which is created according to ergonomic conditions. Each operating scenario corresponds to a layer level. There is no need to compromise in positioning. These layers are then placed on top of each other. The result is an overview of the operating functions, operating scenarios, their characteristics and the idealized positioning on the layout. The overlay creates requirements for the development team in terms of positioning and characteristics for the adaptive control elements to be

developed and for the adaptive control system. In addition, the different needs for compatibility are included in the requirements.

By applying various creativity and prototyping techniques, the generated requirements, information and recommendations are processed into prototypes in several iteration loops. At this point, the application of the methodology ends.

The next section of the monography shows the evaluation of the methodology as a whole and of the five individual methods. Results from the expert interviews are used for this purpose. The majority of the evaluation is carried out with the three evaluation types of formative, heuristic and summative evaluation. For this purpose, six projects are evaluated in which the methodology is applied. The evaluation is carried out on the basis of the collected requirements and summarized in an overall evaluation. The outcome of the evaluation is extremely positive. Smaller deficits occur with the first-time application and with the efficiency of a single method. The results of the application of the methodology are adaptive control elements and adaptive control systems.

The outcome of this work is a validated methodology for the development of adaptive human-machine-interfaces in mobile machines. The five individual methods can also be used modularly as single methods.

1 Einleitung

Die Maschinenbedienung stellt den Menschen vor eine herausfordernde Aufgabe. Die Maschinenkomplexität steigt stetig und direkt proportional mit der Entwicklung von neuen Technologien. Dementsprechend steigt auch die Komplexität der Bedienung dieser Maschinen, sofern diese nicht automatisiert werden kann. Die damit verbundene Zunahme an zu beherrschenden Bedienfunktionen, die dem Maschinenanwender in Form von Stellteilen und Anzeigen zur Verfügung gestellt wird, bringt den Anwender seiner kognitiven Belastungsgrenze näher. Zusätzlich steht der Entwickler der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) vor der Herausforderung, die Vielzahl an Bedienelementen sinnvoll in den begrenzten Bauraum des Cockpits, Terminals oder der Schaltzentrale zu implementieren und dabei eine intuitive und sinnfällige Bedienung zu gewährleisten.

Die angesprochene Komplexität lässt sich auf unterschiedliche Art und Weise reduzieren. Lässt sich der Automatisierungsgrad des technischen Systems erhöhen, sinkt die Komplexität, die auf den Bediener übertragen wird. Durch den Einsatz einer multimodalen Bedienung besteht zudem die Möglichkeit die Komplexität der Bedienaufgabe zu senken. Der dritte Ansatz die Komplexität im Human-Machine-Interface (HMI) zu reduzieren besteht darin, adaptive Bedienelemente einzusetzen, welche sich auf die jeweilige Arbeitsaufgabe oder den jeweiligen User situativ anpassen. Dadurch können deutlich mehr Bedienfunktionen mit einer gleichbleibenden Anzahl an Bedienelementen ausgeführt werden und die dem User zugemutete Komplexität nimmt ab. [SCHÖLKOPF ET AL. 2021, S. 34]

Der Ansatz adaptiver Bedienelemente steht im Zentrum dieser Monografie. Es bedarf eines methodischen Vorgehens, um die Entwicklung adaptiver Bedienelemente bzw. Bediensysteme strukturiert durchzuführen. Als Anwendungsbeispiel dienen mobile Maschinen. Der stetige Wechsel von Arbeitsgeräten in mobilen Maschinen ist prädestiniert für den Einsatz adaptiver Bedienelemente, da diese in der Lage sind, sich an das jeweilige Arbeitsgerät anzupassen. Die Methodik dafür wird im Rahmen dieser Arbeit entwickelt.

Die Einführung in diese Arbeit gliedert sich im Weiteren in die Problemstellung (Kapitel 1.1), die Zielsetzung (Kapitel 1.2) und die Struktur der Arbeit (Kapitel 1.3).

1.1 Problemstellung

Die Bedienung technischer Systeme steht auf natürliche Art und Weise in ständigem Wandel. Die Natürlichkeit besteht darin, dass technische Systeme zeitgleich mit dem

technologischen Fortschritt diesen Wandel bestreiten. Werden Technologien neu- oder weiterentwickelt, ist diese Entwicklung zeitversetzt auch in technischen Systemen zu beobachten. Die Bedienung technischer Systeme befindet sich im Wandel. Von einer Bedienung mit überwiegend realen Stellteilen wie Tasten, Rädern, Joysticks und ähnlichem ist ein Übergang zur Bedienung mittels virtueller Stellteile auf Touchscreens zu beobachten.

Diese Entwicklung ist seit einigen Jahren wahrnehmbar, da die Technologie des Touchscreens bereits seit längerem in die Serienentwicklung eingezogen ist. Eine technologische Weiterentwicklung hat bereits stattgefunden. Die Technologie der Sprachsteuerung erreicht sukzessive Serienreife. Neue Technologien werden auch diese wiederum in Zukunft ersetzen.

Unabhängig von diesen Entwicklungen stellt sich die Frage, ob neue Technologien wegen der Neuartigkeit oder der Sinnhaftigkeit eingesetzt werden. Hierzu existiert folgende These: „Die Lösung liegt in der intelligenten Kombination der ‚realen‘ und der ‚virtuellen‘ Welt [...]“ [GEISBERGER 2012, S.7]. Die These beschreibt eine hybride Lösung, welche sich verschiedener zur Verfügung stehenden Technologien bedient.

Ein sinnhafter Einsatz neuer Technologien bedarf stets einer Überprüfung. Unabhängig davon, um welche Technologie es sich handelt, besteht die Pflicht beim Entwickler des Bediensystems, die Interfacetechnologie auf die Sinnhaftigkeit des Einsatzzweckes zu überprüfen.

Durch immer wiederkehrende offensichtliche Defizite bei der Bedienung von MMS wird der Ruf nach einer sinnvollen und eindeutigen Gestaltungsempfehlung für Bedienfunktionen lauter. Beispielweise besteht eine offensichtliche Unfallgefahr bei der Bedienung des Touchscreens während der Fahrt im PKW. Dies zeigt ein Unfall eines Fahrzeugs, bei dem der Fahrer von der Fahrbahn abkommt, als er die Scheibenwischerfrequenz im Touchbedienelement zu bedienen versucht [STEGMAIER 2020]. Es ist zwingend notwendig, die Auswahl der Bedienfunktionen, die auf einem Touchscreen ausgeführt werden, kritisch zu prüfen.

Die Gefahr, die von der Bedienung elektronischer Geräte, unabhängig ob Smartphone oder fest im Fahrzeug verbauten Geräten, während der Fahrt ausgeht, ist hoch. Jeder zehnte tödlich endende Verkehrsunfall lässt sich auf die Nutzung von elektronischen Geräten während der Fahrt zurückführen. [MAYER 2021]

Nicht nur in Fahrzeugen und nicht nur wegen der Ablenkung durch die Touchscreenbedienung entstehen Risiken beim Einsatz der Interfacetechnologie (IFT). Der erfolgreiche Einsatz von bestimmten Technologien in gewissen Einsatzgebieten und Branchen lässt sich nicht ungeprüft auf andere Einsatzgebiete und Branchen übertragen.

Ein Beispiel dafür ist ein Schiff der US-Marine, welches 2017 mit einem Tankschiff kollidierte. In diesem Fall wird fehlendes haptisches Feedback auf dem Touchscreen und eine nicht eindeutige Benutzeroberfläche als Kollisionsursache ausgemacht. Das zuvor forcierte Umrüsten des Kriegsschiffs von realer Bedienung mit haptischen Feedback auf Touchbedienung wird nach dem Unfall wieder rückgängig gemacht. [MARTIN-JUNG 2019] Diese Beispiele dienen als Sinnbild für die Sensibilität der Thematik. Die Gestaltung von MMS geht weit über das Verfolgen von Technologie- und Designtrends hinaus.

Zusätzliche Herausforderungen für den HMI-Entwickler bestehen einerseits in der angesprochenen Komplexität, die es dem User in einer angemessenen Ausprägung zur Bedienung bereitzustellen gilt. Andererseits stellt die Berücksichtigung ergonomischer Faktoren bei der Auslegung der MMS eine Herausforderung dar. In Summe ist es notwendig, unterschiedliche und auch teilweise konkurrierende Einflussparameter zu berücksichtigen und diese in einem strukturierten und methodischen Ansatz zu vereinen. Als Anwendungsbeispiel für die Methodenentwicklung eines adaptiven Bediensystems dienen mobile Arbeitsmaschinen wegen der komplexen Bedienung und des dynamischen Wechsels der Arbeitsgeräte.

Um diese Art der Bedienung zu ermöglichen und einen methodischen Ansatz dafür zu entwickeln, beschäftigt sich das Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design des Instituts für Konstruktionstechnik und Technisches Design der Universität Stuttgart unter anderem mit der Gestaltung von MMS, die über Einfachheit, Eindeutigkeit und Sicherheit der Bedienung einen Mehrwert für den Menschen erzielen.

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

Das Urteil über den Erfolg eines technischen Produkts wird im Wesentlichen an der Usability, der User Experience und der intuitiven Bedienung gemessen. Demnach beeinflusst das Bediensystem den User hinsichtlich der Gesamtwahrnehmung des Produkts stark. Im Umkehrschluss ist die Gestaltung der Benutzeroberfläche und die Implementierung der gesamten Funktionsstruktur des technischen Systems in die MMS von elementarer Bedeutung für einen positiven Gesamteindruck des technischen Systems beim User. Durch die stetig steigende Funktionsvielfalt technischer Systeme, welche mit der zunehmenden Komplexität dieser einhergeht, nimmt die Herausforderung zu, gebrauchstaugliche Bediensysteme mit hoher User Experience zu konzipieren, die eine intuitive Bedienung für unterschiedlich erfahrene Usergruppen ermöglichen. Um eine hohe Funktionsvielfalt bedienbar zu machen, existiert die Möglichkeit den User über adaptive Bedienelemente zu unterstützen. Passt sich das Bediensystem adaptiv

an die Bediensituation oder den User an, können Fehlbedienungen und Überforderungen beim User reduziert werden.

Die Möglichkeit adaptive Bediensysteme zu entwickeln, bedarf einer systematischen Methodenunterstützung. Diese sollte neben dem standardisierten Prozess zur Produktentwicklung und neben den Gestaltungsempfehlungen zur Entwicklung von Bediensystemen, explizit auf die Adaptivität der zu entwickelnden Bediensysteme abzielen, um Entwicklern bzw. Entwicklerteams eine strukturierte Vorgehensweise zur Verfügung zu stellen.

Zusammenfassend kann das Ziel dieser Arbeit als die Entwicklung einer Methodik beschrieben werden, mit der adaptive Interfacesysteme in mobilen Maschinen entwickelt werden können. Die Arbeit konzentriert sich auf adaptive Interfacesysteme in der Investitionsgüterbranche der mobilen Arbeitsmaschinen mit dynamischem Wechsel der Arbeitsgeräte und grenzt sich dadurch von anderen Arbeiten ab, die sich mit weniger dynamischen HMIs beschäftigen. Die Branche der mobilen Arbeitsmaschinen eignet sich sehr gut für die Implementierung von adaptiven Interfacesystemen, da diese Maschinen mit unterschiedlichen Arbeitsgeräten verbunden arbeiten. Die vielfältige Einsatzweise und die damit verbundene dynamische Veränderung der Arbeitsaufgaben ist dafür prädestiniert, durch eine sich dynamisch anpassende Bedienoberfläche einen Mehrwert für den User zu generieren. Dieser Referenzfall wird dazu genutzt, ein sich adaptiv auf das jeweilige Arbeitsgerät einstellendes Interface zu entwickeln, welches den User bei der Bedienung optimal unterstützt. Dieser komplexe Fall erfordert eine spezifische Entwicklungsmethode, welche auf die Herausforderung von adaptiven Interfacesystemen angepasst ist und hierfür Lösungen generiert.

1.3 Struktur der Arbeit

Die folgende Arbeit ist in neun wesentliche Abschnitte gegliedert. Die Einleitung, die theoretischen Grundlagen und der Stand der Technik und Forschung leiten auf die Themenstellung hin und vermitteln das relevante Wissen, um die Kernpunkte der Arbeit nachzuvollziehen. In der Potenzialanalyse wird dem Leser nähergebracht, wie das notwendige Wissen zur Erstellung dieser Arbeit generiert wird. Das Wissen wird anschließend in der Parametrisierung kategorisiert und für die weitere Anwendung aufbereitet und gewichtet. Anschließend können Anforderungen generiert werden, welche an die in dieser Arbeit entwickelte Methodik gestellt werden. Die Konzeption derselben stellt den Kern der Arbeit dar, in welchem detailliert auf ebendiese eingegangen und diese anhand von Anwendungsbeispielen erklärt wird. Die generierten Anforderungen dienen in der Evaluation dazu, Erfüllungsgrade zu berechnen, mit welcher die Methodik bewertet

werden kann. Abschließend werden die Erkenntnisse zusammengefasst und in einem Ausblick werden potentielle Anknüpfungspunkte und interdisziplinäre Forschungsthemen aufgezeigt, die in Verbindung mit der vorliegenden Arbeit stehen. Bild 1.1 zeigt den strukturellen Aufbau der vorliegenden Arbeit.

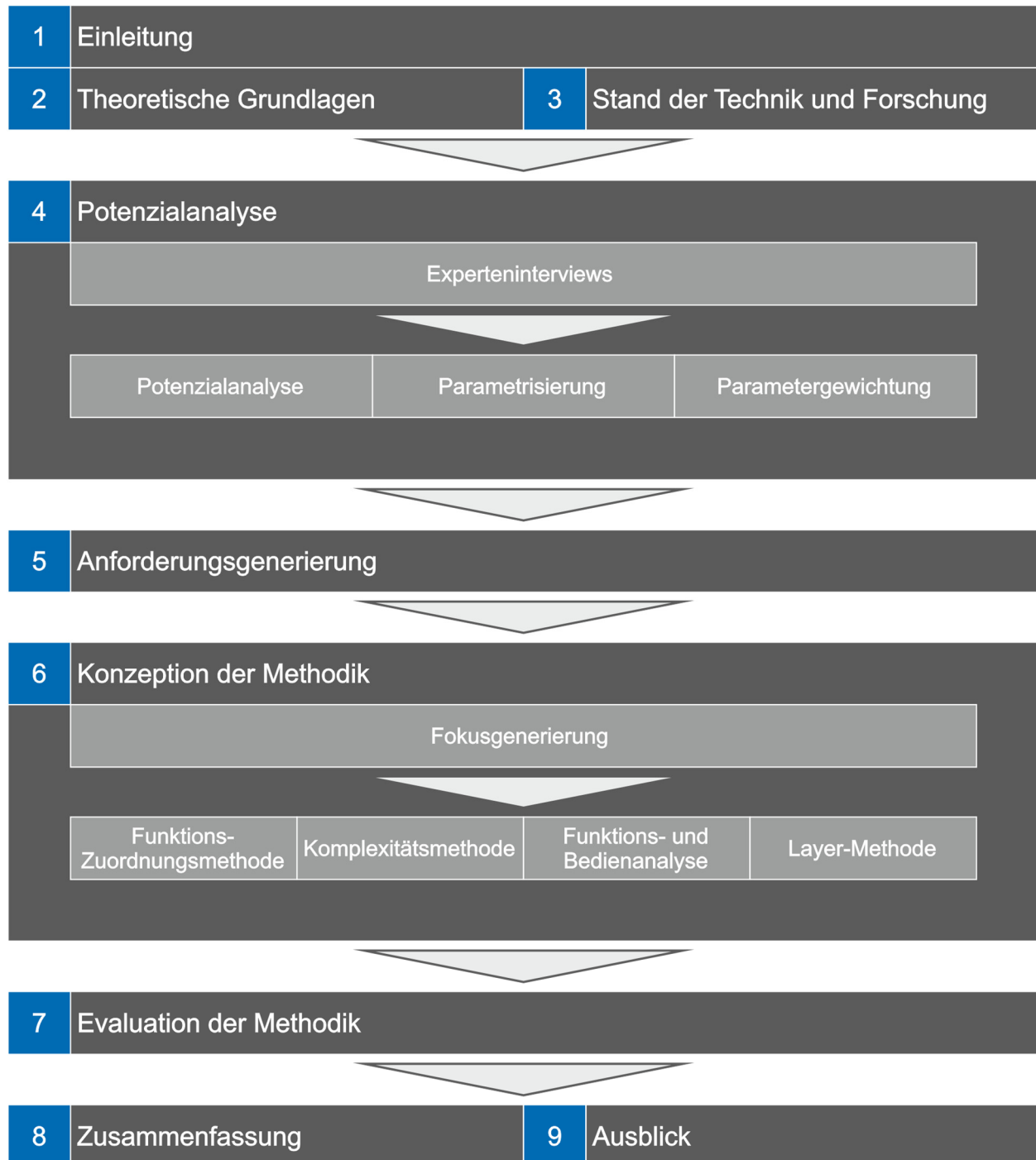


Bild 1.1: Struktur der Arbeit

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im kompletten Text auf eine Differenzierung des Geschlechts verzichtet. Es wird die männliche Schreibweise verwendet, wobei jederzeit auch andere Geschlechtsformen gemeint sind.

2 Theoretische Grundlagen

Im vorliegenden Kapitel werden Begriffe definiert, Zusammenhänge erläutert und die theoretischen Grundlagen dargelegt, die als Basis dienen, um die weiteren Ausführungen dieser Arbeit nachvollziehen und anwenden zu können.

Als Ausgangsbasis dient das Mensch-Maschine-System, welches maßgeblich von ergonomischen Aspekten beeinflusst wird. Für das Verständnis werden die Begriffe Bedienszenarien, Komplexität, User und Adaptivität grundlegend erklärt. Wesentliche Abgrenzungen zwischen Konsum- und Investitionsgütern sowie zwischen einer Methode und einer Methodik werden beschrieben. Anschließend wird eine kurze Beschreibung des Produktentwicklungsprozesses und der frühen Phase präsentiert, um abschließend auf relevante Formen und Arten der Wissensgenerierung und der Evaluation einzugehen.

2.1 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. ein Mensch-Maschine-System setzt sich grundsätzlich aus drei Komponenten, bestehend aus dem Menschen, dem Interface und der Maschine, zusammen [HOU ET AL. 2015, S.3]. Sämtliche Komponenten, die an der funktionellen Interaktion zwischen einem technischen System und dem Menschen beteiligt sind, werden unter dem Begriff Mensch-Maschine-Schnittstelle zusammengefasst [BULLINGER 1994, S. 335].

Ein nach SCHMID & MAIER [2017, S. 36] zur MMS synonym verwendeter Begriff ist die Mensch-Maschine-Interaktion. Nach HEIMGÄRTNER [2017, S. 82] handelt es sich bei der Mensch-Maschine-Interaktion um einen Kommunikationsprozess, da es sich um einen Informationsaustausch handelt, welcher mit der zwischenmenschlichen Kommunikation verglichen werden kann. Die zwischenmenschliche Kommunikation wird in verbale und nonverbale Signale unterteilt, welche jeweils Vor- und Nachteile für die spezifische Informationsübermittlung besitzen [ARGYLE 2013, S. 13].

In der Mensch-Maschine-Interaktion werden die Interaktionsmöglichkeiten des Menschen mit dem Produkt nach SCHMID & MAIER [2017, S. 58] als Modalität und nach ZÜHLKE [2012] als Sinnesmodalität beschrieben. Auf die Interaktionsmodalitäten wird im Detail in Kapitel 2.1.7 eingegangen. Synonym zur Mensch-Maschine-Schnittstelle und auch Mensch-Maschine-Interaktion werden die Begriffe Mensch-Maschine-Interface, Mensch-Maschine-Kommunikation, Interfacedesign, Human Machine Interaction und Human Machine Interaction Design verwendet [SCHMID & MAIER 2017, S. 36].

Zusätzlich ist der Begriff des Mensch-Maschine-Systems in diesem Zusammenhang zu erwähnen. Die Charakteristik eines Mensch-Maschine-Systems ist das Zusammenwirken eines technischen Systems und mindestens eines Menschen. Unter dem Begriff Maschine wird im Allgemeinen ein technisches System unterschiedlicher Ausprägung verstanden. Ausgenommen werden lediglich statische Systeme und solche mit ausgesprochen niedriger Komplexität. Die angestrebten Arbeitsergebnisse sollen durch das Zusammenwirken im Mensch-Maschine-System bestmöglich erfüllt werden. [JOHANNSEN 1993, S. 1]

Ein Synonym zur Mensch-Maschine-Schnittstelle und den vorab genannten Begriffen ist die Benutzungsschnittstelle, Englisch auch das *human-machine interface* [SCHLICK ET AL. 2018, S. 429]. Die Benutzungsschnittstelle gilt als neuerer Begriff, welcher den der Benutzerschnittstelle abgelöst hat [BUTZ & KRÜGER 2017, S. 1].

Das technische System und der Benutzer bilden die Schnittstelle, welche als Bediensystem oder auch Benutzungsschnittstelle bekannt ist. Stellvertretend werden hier die Begriffe Benutzerschnittstelle oder Benutzeroberfläche genannt, welche jedoch in der aktuellen DIN EN ISO 9241-110 [2020] nicht erwähnt sind. [HEIMGÄRTNER 2017, S. 84]

Die Benutzungsschnittstelle beinhaltet per Definition sämtliche Komponenten einer technischen Anlage, die für den Nutzer wahrnehmbar sind und zur Interaktion zur Verfügung stehen [VDI/VDE 3850-1 2014, S.2]. Die Schnittstelle wird im Englischen als *Interface* bezeichnet. Neben dem weitverbreiteten Einsatz des Begriffs Interface in der Softwareentwicklung, kann dieser durchaus synonym zu sämtlichen im Voraus genannten Begriffen im Zusammenhang mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet werden. Im Verlauf dieser Arbeit wird überwiegend der Begriff Interface verwendet.

Bei der Gestaltung von Interfaces bedarf es der Entscheidung, mit welcher Interface-technologie die MMS realisiert werden soll. Die verbreitetsten Technologien sind die Touchscreentechnologie und die klassische Bedienung mit Tasten, Tastern und Joysticks. Stehen diese beiden Technologien zur Wahl, existieren drei Möglichkeiten zur Gestaltung des HMIs. Eine ist die Umsetzung ausschließlich mit der Touchscreentechnologie als virtuellem Interface. Eine weitere Möglichkeit ist das Interface mit realen Interfaceelementen zu realisieren. Die dritte Strategie ist es, einen hybriden Mittelweg zwischen den beiden vorherrschenden Technologien zur Umsetzung von Benutzungsschnittstellen zu finden.

Zusätzlich existieren weitere Technologien zur Umsetzung von Interfaces. Hierunter fallen beispielsweise die Sprachsteuerung und die Blicksteuerung. Im Rahmen dieser Arbeit sind lediglich die Touchbedienung und die Bedienung mit konventionellen Bedienelementen (BE) relevant.

Grundlegend unabhängig von der Interfacetechnologie wird das Interface bzw. die Interfacegestalt in Stellteile und Anzeigen unterschieden. Diese werden als aktive Interfacegestalt bezeichnet. Zusätzlich fließt die Anordnung der Stellteile und Anzeigen auf dem Tragwerk in die Definition der Interfacegestalt ein. Zur passiven Interfacegestalt zählen sämtliche Kontaktflächen, die zwischen Mensch und Maschine relevant sind. [SCHMID & MAIER 2017, S. 32]

Die Interfacegestalt gliedert sich als Teilgestalt neben der Funktions- und Tragwerksgestalt in die Produktgestalt ein. Als kleinste Einheit der Interfacegestalt werden Stellteile und Anzeiger als Interfaceelemente definiert. Werden diese nach Funktionalität gruppiert, wird diese Gruppierung als Interfacemodul bezeichnet. Ein Interfacesystem fasst mehrere Interfacemodule zusammen. Bei einer Anhäufung von Interfacesystemen wird von einem Interfacemetasystem gesprochen. [SCHMID & MAIER 2017, S. 33 f.]

2.1.1 Virtuelles Interface

Die klassische Touchbedienung eines grafischen User Interfaces (GUI) wird in unterschiedlichen Quellen mit verschiedenen Begrifflichkeiten bezeichnet. Die beiden treffendsten Beschreibungen liegen in den Terminologien visuell und virtuell.

In der Arbeit von BISCHOF ET AL. [2015, S.62] wird die Bedienung von GUIs mit Hilfe von visuellen Benutzungsschnittstellen durchgeführt. Diese bilden technische Prozesse ab. Der Begriff GUI wird synonym mit dem Begriff der visuellen Benutzungsschnittstelle verwendet.

Als die rein virtuelle Interfacegestalt, die durch die Touchtechnologie umgesetzt wird, bezeichnen SCHMID & MAIER [2017, S. 155 f.] in diesem Zusammenhang die Benutzungsschnittstelle.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die am Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design der Universität Stuttgart verwendete Definition und das einhergehende Verständnis einer virtuellen Interfacegestalt bzw. eines virtuellen Interfaces verwendet. Ergänzend zu dem virtuellen Interface handelt es sich in diesem Rahmen bei der Verwendung des Begriffs einer virtuellen Bedienung um eine Bedienung einer Touch-Benutzungsschnittstelle.

2.1.2 Reales Interface

Der virtuellen Benutzungsschnittstelle steht die reale Benutzungsschnittstelle gegenüber. Die Begriffsverwendung reicht von haptischen [BERNSTEIN ET AL. 2001, S. 190], mechanischen [HIERSIG 1995, S. 113] und konventionellen [BUBB ET AL. 2015b, S. 291] über physische [LORENZ 2021, S. 137] bis hin zu realen Bedienelementen [REISINGER & WILD 2008, S. 126]. Im Rahmen dieser Arbeit wird analog zu SCHMID & MAIER [2017,

S. 119] von realen Interfaceelementen gesprochen. Reale Bedienelemente haben laut REISINGER & WILD [2008, S. 126] eine höhere haptische Qualität als Benutzungsschnittstellen, die mit der Touchtechnologie umgesetzt werden.

2.1.3 Stellteile

Stellteile kommen grundsätzlich sowohl in virtuellen als auch realen Interfaces zum Einsatz. Stellteile können in handbetätigt und fußbetätigt unterschieden werden [BUBB ET AL. 2015b, S. 273]. Laut DIN EN 894-3 [2010] handelt es sich in den meisten Fällen um Stellteile, welche per Hand gestellt bzw. verändert werden. Dadurch wird eine Veränderung des Systems verursacht.

Es existiert eine Vielzahl an Unterscheidungsmöglichkeiten für Stellteile. Die Gestaltung derselben gibt die unterschiedlichen Greifarten Kontaktgriff, Zufassunggriff und Umfassunggriff, siehe Kapitel 2.3.1, vor. Anhand der Bewegungsarten Rotation oder Translation und Bewegungsrichtung bezüglich des menschlichen Körpers können Stellteile unterschieden werden. Der zu bewältigende Stellwiderstand, Betätigungsweg und Betätigungswinkel spielt ebenso eine Rolle wie die Erreichbarkeit des Stellteils, die Betätigungsgeschwindigkeit und Betätigungsgenauigkeit. Die Anordnung der Stellteile hängt von der Wichtigkeit, der Bedienhäufigkeit und dem Kraftaufwand ab. Zusätzlich ist die Größe, Form, Beschriftung und Farbe der Stellteile ein ausschlaggebendes Gestaltungskriterium, welches auch zur Unterscheidung dient. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 454]

Nach BUBB ET AL. [2015b, S. 291] werden konventionelle Bedienelemente in fünf Kriterien untergliedert. Nach der Wirkungsweise kann in analoge und digitale Bedienelemente unterschieden werden. Das für die Bedienung genutzte Körperteil kann als Unterscheidungskriterium herangezogen werden. Die Bewegungsart unterscheidet Translations- und Rotationsbewegungen, welche auf die Kategorisierung von Stellteilen angewandt werden können. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Dimensionalität. Hierbei handelt es sich um die bauartbedingten Freiheitsgrade, in denen bedient werden kann. Das fünfte Kriterium ist in diesem Zusammenhang die Arretierbarkeit oder Nicht-Arretierbarkeit des Bedienelements. Empfehlungen für die Auswahl von bestimmten Stellteilen für bestimmte Aufgaben liefert DIN EN 894-3 [2010]. Die Verknüpfung von Funktionen und Bewegungsrichtungen sind in DIN EN 60447 [2004] und DIN 1410 [1986] festgelegt.

2.1.4 Anzeigen

Informationen (Anzeigen) werden im Kontext eines Interfaces von der Maschine an den Menschen übermittelt. Dies kann sowohl über Anzeiger als auch über Stellteile gesche-

hen. Der Anzeiger dient in einem Interfacemodul als der visuelle Teil des Interfaceelements. [SCHMID & MAIER 2017, S. 132]

Anzeigen dienen der Informationsdarstellung. Sie geben über die Wahrnehmungskanäle der Sichtbarkeit, Hörbarkeit oder der taktilen Berührung differenzierbar Sachverhalte an. [DIN EN 894-2 2009, S. 6]

Bei einer Vielzahl klassischer Stellteile lässt sich die Ausprägung der Verstellung nicht direkt beobachten. Hierfür werden Stellteile mit Anzeigen kombiniert, um die Wirkweise des Stellteils und die notwendigen Informationen über die getätigte Verstellung unmittelbar wahrzunehmen. Bei der Gestaltung der Kombination aus Stellteil und Anzeige sollte auf Kompatibilität hinsichtlich der Funktion und Bewegungsart geachtet werden. Zusätzlich sollten Anzeigen und die zugehörigen Stellteile in unmittelbarer Umgebung angeordnet werden, damit das Zusammenwirken offensichtlich ist. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 454]

Handelt es sich um Anzeigen ohne Stellteile, werden Sichtabstände im Bereich zwischen 400 mm und 700 mm empfohlen [DIN EN 894-4 2010, S. 11]. Grundsätzlich stehen visuelle Anzeigen, akustische Anzeigen, taktile Anzeigen und olfaktorische Anzeigen zur Verfügung [SCHLICK ET AL. 2018, S. 437-446]. Im Rahmen dieser Arbeit sind lediglich visuelle und taktile Anzeigen relevant.

2.1.5 Wirkteil

Mit einem Interfaceelement kann ein Wirkteil betätigt werden. Vornehmlich dient dem Nutzer das Stellteil dazu ein Wirkteil zu betätigen. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit direkt am Wirkteil zu bedienen, was ein separates Stellteil in diesem Fall überflüssig macht. [SCHMID & MAIER 2017, S. 36]

2.1.6 UASW-Modell

Der Nutzer, auch User (U) genannt, ist das zentrale Element einer Mensch-Maschine-Schnittstelle. Er bedient das Stellteil (S), erhält Informationen über die Anzeigen (A) und betätigt direkt oder indirekt das Wirkteil (W). In dem sogenannten UASW-Modell wird jedem der vier Elemente ein Symbol zugordnet. Zusätzlich werden Aktoren und Sensoren symbolisch gekennzeichnet. Das Modell wird eingesetzt, um einerseits die betrachtete Produkt- und Interfacegestalt abstrahiert darzustellen. Andererseits dient das UASW-Modell dazu Interfacesysteme bewerten zu können. [SCHMID & MAIER 2017, S. 73 ff.]

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit wird das Prinzip des UASW-Modells genutzt, um ein grundlegendes Verständnis über die Zusammenhänge bestimmter Produktgestalten bzw. Interfacegestalten zu erlangen. Auch wird die Wechselwirkung zwischen Stell- und

Wirkteil durch das UASW-Modell auf einer abstrakten Ebene zugänglich gemacht, was von Bedeutung für Kapitel 6 ist.

2.1.7 Interaktionsmodalitäten

Die Mensch-Maschine-Interaktion kann über unterschiedliche Sinneskanäle stattfinden, wobei in der Anwendung der visuelle, der akustische und der haptische Kanal die größte Berücksichtigung finden. Der haptische Kanal wird überwiegend als Eingabemedium gesehen und verwendet. Kommen verschiedene Sinneskanäle zum Einsatz, wird von der Multimodalität gesprochen. Diese verringert die Fehlbedienung und kann durch Redundanzen als Absicherung für eine korrekte Bedienung genutzt werden. [ZÜHLKE 2012, S. 227 & 231]

Zusätzliche Interaktionsmodalitäten basieren auf olfaktorischen, gustatorischen und vestibularen Dimensionen [BASDOGAN & LOFTIN 2009, S. 116]. Ein wesentlicher Aspekt beim Einsatz von haptischen Eingabegeräten ist das haptische Feedback, welches dem Nutzer zusätzliche Informationen über die Bedienung überliefert. Ist dieses haptische Feedback mit einem visuellen Feedback redundant gestaltet, kann dies die Bedienung vereinfachen und die Fehlerquote reduzieren. Im Rahmen dieser Arbeit sind lediglich die beiden Kanäle der visuellen und haptischen Interaktion relevant.

2.1.8 Interfacetechnologien

Grundsätzlich gibt es eine Vielfalt an Technologien, die eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine ermöglichen. Diese werden grundsätzlich in Eingabe- und Ausgabetechnologien unterteilt. Eine dritte Gruppierung sind Interaktionstechnologien, die sowohl die Ein- als auch die Ausgabe ermöglichen. [ZÜHLKE 2012, S. 209]

Die für den Einsatz in mobilen Arbeitsmaschinen und den branchenspezifischen Anforderungen in Frage kommenden Interfacetechnologie ist neben mechanischen Interfaces die Touchscreentechnologie.

Die verfügbaren Touchscreentechnologien sind der resistive Touch, die Bending Wave-Technologie, der kapazitive Touch, der akustische Touch, Touch über Infrarot und die damit verbundene Ob-Cell/In-Cell-Technologie sowie die kamerabasierte Touchtechnologie [VDI/VDE 3850-3 2015, S. 13-19]. Jede der genannten Ausführungen hat bestimmte Einsatzgebiete, wobei die am häufigsten und universal einsetzbarste Technologie der kapazitive Touch ist [HÄRTER 2015].

Vorteile der Touchscreentechnologie ist die verhältnismäßig simple Möglichkeit zur Abdichtung gegen äußere Einflüsse. Die geschlossene Bauform trägt dazu bei, dass eine Langlebigkeit in rauen Umgebungen garantiert werden kann. Diese Bauform liefert Schutz gegen Staub und Kleinteile. Zusätzlich sind Beschädigungen von Stellteilen auf-

grund der ebenen Oberfläche selten. Da der Touchscreen Eingabe- und Ausgabegerät vereint, kommt es zu einer vorteilhaften Platzeinsparung. Als größter Vorteil wird die Flexibilität angesehen, die von einem Touchscreen ausgeht. Die Veränderung der hinterlegten Software ist mit deutlich weniger Aufwand möglich, als es mit Hardware-Stellteilen der Fall ist. Hier können Fehlerkorrekturen, grafische Veränderungen, sprachliche Anpassungen und Anpassungen an die unterschiedlichen Nutzergruppen, wie auch das Aufspielen neuer Funktionen, über die Software getroffen werden. [BREUNINGER & POPOVA-DLUGOSCH 2017, S. 540 f.], [VDI/VDE 3850 3 2015, S.10]

Als Nachteil wird die Verschmutzung bei der Bedienung durch Fingerabdrücke aufgeführt. Auch ein Verkratzen der Touchoberfläche gilt als mögliche Gefahr. Einfallendes Sonnenlicht und Flüssigkeiten, die mit dem Touchscreen in Berührung kommen können, erschweren die Bedienung. Die interaktiven Flächen müssen für die Fingerbedienung geeignet sein und beanspruchen auf der Touchfläche zumeist mehr Platz als Hardwarelösungen. Im Vergleich mit einer Maus ist der Finger als Zeiger deutlich größer und weniger praktisch. Die unterschiedliche Qualität von Touchscreentechnologien fordert eine genaue Abstimmung zwischen Bedienkonzept und Hardware. Da der Touchscreen sowohl als Eingabe- als auch Ausgabegerät fungiert, ist ein Kompromiss bei der Anordnung im Sichtfeld und dem zur Bedienung notwendigen Erreichbarkeitsraum zu berücksichtigen. Bei der Bedienung werden Teile des Bedienfelds mit den Fingern und der Hand verdeckt, was die Informationsübermittlung erschwert und daher berücksichtigt werden muss. Die fehlende haptische Rückmeldung stellt einen großen Nachteil dar. Es bedarf bei der Nutzung von Touchscreens zwingend einer visuellen oder akustischen Rückmeldung. Eine Blindbedienung ist demnach kaum möglich, da stets eine Sichtkontrolle erforderlich ist. [VDI/VDE 3850-3 2015, S.10 f.]

Die haptische Interaktion hebt sich im Moment der Wahrnehmung wesentlich von visuellen, auditorischen, olfaktorischen und gustatorischen Reizen ab. Der haptische Reiz ist der einzige, der eine dynamische Reaktion des Objektes erzeugt und hierbei sowohl eine Stimulation des Nutzers hervorruft als auch durch seine vielschichtigen Eigenschaften in der Lage ist, einen hohen Informationsgehalt während der Bedienung zu übermitteln. [CARBON 2013]

Die Umsetzung einer haptischen Interaktion mit einem realen Interface kann vielfältig über Tastknopf, Kippschalter, Druck- oder Schiebeschalter, Kipphebel, unterschiedliche Taster, Zuggriff, verschiedene Handgriffe, Schiebeknopf, Drehschieber, Tastwippen, Joysticks und ähnlichem erfolgen. [DIN EN 894-3 2010, S. 22-31], [REISINGER & WILD 2008, S. 122 ff.]

Um diese Hardware-Stellteile umzusetzen, werden unterschiedliche Herangehensweisen eingesetzt. Hauptsächlich beruhen diese auf mechanischen Prinzipien.

Grundsätzlich sind die meisten Vorteile der Touchscreentechnologie als Nachteil realer Bedienelemente zu vermerken. Zusammenfassend bietet der Einsatz von realen Interfaces den großen Vorteil der haptischen Rückmeldung, der eine Blindbedienung bis zu einem gewissen Grad ermöglicht. Als großen Nachteil kann die geringe Flexibilität gesehen werden, da wenig Spielraum für nachträgliche Veränderungen oder Korrekturen im Bediensystem (BS) existiert und eine individuelle Einflussnahme auf unterschiedliche Nutzergruppen nur schwierig möglich ist.

2.2 Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Gestaltung von MMS basiert auf unterschiedlichen Prinzipien. Die eindeutige Informationsübermittlung und -verarbeitung zählen zu den wichtigsten Prinzipien. Es gilt sicherzustellen, dass eine Verwechslung von Informationen und eine Fehlbedienung nach Möglichkeit ausgeschlossen wird. [ZÜHLKE 2012, S. 184]

Bei der ergonomischen Gestaltung von Produkten bzw. von Mensch-Maschine-Schnittstellen wird grundsätzlich menschenorientiert vorgegangen. Bei der Gestaltung sämtlicher Komponenten wird eine Anpassung an die Merkmale der Nutzer bzw. User berücksichtigt. Hierbei werden die Charakteristiken der potentiellen User, die zu erledigende Aufgabe bzw. das zu erzielende Ergebnis und die Umgebung, in welcher das zu gestaltende Objekt eingebettet werden soll, berücksichtigt. [DIN EN ISO 26800, S. 9]

Bei der Gestaltung von Bediensystemen in mobilen Arbeitsmaschinen gilt es zweierlei Arten normativer Grundlagen zu beachten. Die prozessorientierten Normen beinhalten Verfahren und Prozesse nach denen entwickelt werden sollte. Die produktorientierten Normen schreiben erforderliche Charakteristiken von Benutzungsschnittstellen fest. [BÖTTINGER ET AL. 2011, S. 329]

DIN EN ISO 6385 [2004] beschreibt grundsätzliche Vorgehensweisen der Gestaltung von Arbeitssystemen, wohingegen DIN EN ISO 9241-210 [2020] die Gestaltung interaktiver Systeme vorgibt.

2.2.1 Usability

Benutzerfreundlich gestaltete Produkte werden immer bedeutsamer. Benutzerfreundlichkeit wird auch als Usability oder Gebrauchstauglichkeit beschrieben [SCHLICK ET AL. 2018, S. 513]. Hierbei handelt es sich um das Ausmaß, in welchem das Produkt nutzbar ist, um definierte Ziele sowohl zufriedenstellend als auch effektiv und effizient zu erreichen [DIN EN ISO 9241-11 2018, S.9].

Vorteile benutzerfreundlich gestalteter Produkte sind die einfache Verständlich- und Benutzbarkeit, die Userzufriedenheit, die Reduktion mentaler und körperlicher Beanspruchung beim User, die erhöhte Gebrauchstauglichkeit bei Usern mit verschiedenen Fähig- und Fertigkeiten und die Erhöhung der Produktivität und Produktqualität. Zusätzlich leisten benutzerfreundlich gestaltete Produkte einen Beitrag zu Nachhaltigkeitszielen. [DIN EN ISO 9241-210]

Bei der Gestaltung interaktiver Systeme gelten sieben Interaktionsprinzipien. Diese Grundsätze der Dialoggestaltung sind die Aufgabenangemessenheit, Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Fehlertoleranz, Steuerbarkeit, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit. [DIN EN ISO 9241-110]

2.2.2 Usability-Engineering und User Experience

Das Usability-Engineering setzt sich zum Ziel die Komplexität auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren und die Produktfunktionalitäten ideal an den User anzupassen [RICHTER & FLÜCKIGER 2013, S. 7].

Die User Experience besteht aus verschiedenen Eigenschaften eines interaktiven Systems. Hierzu zählen die Systemleistung, unterstützende Ressourcen, das interaktive Verhalten, die Darstellung und die Funktionalität. Dem System unterliegen sowohl die Hard- als auch Software. [DIN EN ISO 9241-210 2019, S. 16]

Das Gesamterlebnis der Interaktion zu optimieren, ist das Ziel der User Experience. Der Fokus der Usability liegt primär in den Funktionalitäten technischer Systeme, wohingegen die User Experience zusätzlich emotionale und erlebnisorientierte Faktoren implementiert. [RICHTER & FLÜCKIGER 2013, S. 157]

Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten das Gesamterlebnis der Interaktion messbar zu machen und Einblicke in die Aufmerksamkeits- und Gedankenstrukturen des Users zu bekommen, welche notwendig sind, um die Usability, im weiteren Sinne auch die User Experience, greifbar zu machen und idealerweise zu optimieren.

Menschliche Augenbewegungen sorgen dafür, dass ein bestimmter Teil des sichtbaren Blickfelds hochauflösend erscheint. Um die zentrale Blickrichtung, auf die die Augen gerichtet sind, im Detail erkennen zu können, bedarf es dieser hohen Auflösung. Richten sich die Augen auf einen bestimmten Punkt, ist es in den meisten Fällen auch von Interesse, was in diesem Punkt geschieht. Die Aufmerksamkeit beruht auf den Geschehnissen des Anvisierten. Hieraus lassen sich Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeit und die Wahrnehmung ziehen. [DUCHOVSKI 2007, S. 3]

Mit der Methode des Eye-Tracking werden Augbewegungen nachvollzogen und dokumentiert [DUCHOVSKI 2007, S. 49]. Hieraus lässt sich die Aufmerksamkeit und die Wahr-

nehmung des Users nachvollziehen. Bei der Bedienung eines technischen Systems können die situativen Eye-Tracking-Daten Aufschluss darüber geben, worin die Problematik bei Bedienungsschwierigkeiten und Fehlbedienungen besteht. Ob es sich um ein Aufmerksamkeits- oder um ein Wahrnehmungsproblem beim Bedienen handelt, ist eine wichtige Information für den weiteren Verlauf der Neu- oder Weiterentwicklung bestimmter Stellteile.

Um Einblicke in Absichten, Gedanken und Gefühle einer Person zu erhalten, wird die Methode des ‚lauten Denkens‘ eingesetzt [KONRAD 2010, S. 476]. Die mentale Repräsentation, welche während eines Handlungsprozesses entsteht, kann mit ‚lautem Denken‘ untersucht werden [ebd.]. Hierbei werden kognitive Prozesse zugänglich gemacht, die während bestimmten Arbeitsabläufen stattfinden. Die Methode dient der Analyse.

Der Einsatzbereich umfasst hauptsächlich Prozesse zur Problemlösung und Prozesse zu Denk- und Lernvorgängen. Der Proband der Untersuchung ist angehalten, alle Gedanken in bestimmten Situationen und Handlungen zu verbalisieren. Wird mit Hilfe von Video- oder Audioaufnahmen direkt nach der Handlung dokumentiert, handelt es sich um einen ‚stimulated recall‘. [SANDMANN 2014, S. 179]

Das Ziel der Methode des ‚lauten Denkens‘ ist es, Problemstellungen, die den User beim Bedienen begleiten, zu identifizieren und die Parallelen zwischen den Bedienungshandlungen und dem mentalen Modell des Users zu erkennen [NIELSEN 1993, S. 195 ff.].

Die Methode des ‚cognitive walkthrough‘ dient der Bewertung von User Interfaces, welche in frühen Designphasen zum Einsatz kommen. Die Anwendung erfolgt durch detaillierte Fragebögen, die auf die Interaktion des Users mit dem Interface abzielen. Es handelt sich um eine theoretische Bewertung, die mit Prototypen unterschiedlicher Reifegrade durchführbar ist. [RIEMAN ET AL. 1995]

2.2.3 Gestaltungsunterstützende Kreativitäts- und Innovationstechniken

Kreativitätstechniken werden eingesetzt, um aus Normen, gedanklichen Begrenzungen und Lösungsräumen auszubrechen. Diese Techniken sind sehr vielfältig und können in Gruppen eingeteilt werden. Zur Technik der freien Assoziation zählt die bekannte Methode des Brainstormings. Die Walt Disney Methode beispielsweise zählt zu den Techniken der strukturierten Assoziation. TRIZ-Lösungsprinzipien zählen zu den Konfrontationstechniken. Morphologische Matrizen und Tableaus werden unter Kombinationstechniken geführt. Die Methode der geleiteten Fantasiereise wird als Imaginationstechnik verstanden. [GESCHKA & LANTELME 2005, S. 296]

Diese Nennung der Methoden ist keinesfalls vollständig und soll nur einen Einblick in die unterschiedlichen Möglichkeiten sowie zur Verfügung stehenden Techniken geben.

Als eine Sammlung von Innovationstechniken versteht sich die Methode des Design Thinkings. Durch die Anwendung soll die eintreffende Wahrscheinlichkeit nutzerzentrierter Ideen erhöht werden. [GÜRTLER & MEYER 2017, S. 14]

An die Ideenfindung anknüpfend, gilt es eine prototypische Umsetzung der besten Idee zu erarbeiten [BULLINGER & RENZ 2005, S. 96f.]. Grundsätzlich lässt sich hier in virtuelle und physische Prototypen differenzieren [ebd.]. Unter virtuellen Prototypen werden digitale Modelle wie CAD-Modelle oder VR-Modelle verstanden. Physische Prototypen werden mit Hilfe von LEGO Serious Play, Clay- oder Schaumstoffmodellen angefertigt. Skizzen können je nach Ausführung sowohl als virtuelle als auch physische Prototypen existieren. Mit Hilfe von 3D-Scans können physische Prototypen in virtuelle überführt werden. Virtuelle Prototypen können anhand von Rapid-Prototyping-Methoden in physische überführt werden. Die Auflistung der Möglichkeiten, Prototypen herzustellen, ist nicht vollständig und soll nur einen Einblick über die Optionen geben.

Um die entworfenen Prototypen unterschiedlicher Lösungsvarianten zu bewerten, bieten sich verschiedene Methoden, wie der paarweise Vergleich, die Nutzerwertanalyse oder Auswahllisten, an [LINDEMANN 2009, S. 285 & 289], [PAHL ET AL. 2007, S. 162 ff.].

2.3 Ergonomie

Der Begriff der Ergonomie wird nach SCHLICK ET AL. [2018, S. 418] erstmals 1857 von dem polnischen Wissenschaftler Jastrzebowski verwendet. Das aus dem griechischen (ergon = Arbeit und nomos = Gesetz) zusammengesetzte Wort wird von Jastrzebowski synonym mit dem Begriff der Arbeitswissenschaft verwendet.

Die Ergonomie lässt sich nach SCHMID & MAIER [2017, S. 14] im Bereich des Technischen Interface Designs in die Bereiche klassische Ergonomie und kognitive Ergonomie unterteilen. Die klassische Ergonomie beschäftigt sich mit Griffen, Stellteilen, anthropomorphen Gegenformen, Greif- und Sehraumen, Bewegungsarten, Sitzkonturen, Bedienflächen und der visuellen Kontrolle. Im Gegensatz dazu behandelt die kognitive Ergonomie Aspekte wie die X-Kompatibilitäten, die Menügestaltung (GUI) und die Wahrnehmungspsychologie.

Eine weitere Kategorisierung wird von der International Ergonomics Association (IEA) definiert. Hiernach besteht die Ergonomie aus den drei Teilfaktoren, dem physikalischen Faktor, dem organisatorischen Faktor und dem kognitiven Faktor. Der physikalische Faktor beinhaltet körperbezogene Wissenschaften wie die Biomechanik, Physiologie und Anatomie. [IEA 2020]

Die physikalische Ergonomie beinhaltet sämtliche Einflussgrößen, die sich am Mensch orientieren. Hierunter fallen sowohl Eigenschaften des Menschen als auch Fertigkeiten, Fähigkeiten und Bedürfnisse. [VDI 2242 2016, S.2]

Der organisatorische Faktor behandelt im allgemeinen Arbeitsabläufe und -aufteilungen bzw. im Kontext des Interface Designs Bedienabläufe und -gruppierungen. Der kognitive Faktor behandelt die Informationsverarbeitung, worunter Prozesse wie die Wahrnehmung, das Abspeichern, die Beurteilung und die Reaktion fallen. [IEA 2020]

Die Prozesse, die nach IEA [2020] in dem kognitiven Faktor vereint werden, sind von SCHMID & MAIER [2017, S. 14 f.] unter dem Begriff der Wahrnehmungspsychologie zusammengefasst, die der kognitiven Ergonomie untergeordnet ist und mit den Aspekten der X-Kompatibilitäten und der Menügestaltung vervollständigt werden.

Größtenteils vereinen SCHMID & MAIER [2017, S. 14] die genannten physikalischen und organisatorischen Faktoren in der klassischen Ergonomie.

Eine weitere von SCHMID & MAIER [2017] getroffene Unterteilung ist die Differenzierung zwischen Makro- und Mikroergonomie. Die Makroergonomie kommt in der Planungs- und Konzeptionsphase zukünftiger Interfaceentwicklungen zum Einsatz. Die Mikroergonomie konzentriert sich auf die Konzept- und Entwurfsphase, wobei der Übergang fließend ist [ebd.].

2.3.1 Klassische Ergonomie

Die Inhalte der klassischen Ergonomie nach SCHMID & MAIER [2017, S. 100] setzen sich aus den Erkenntnissen der Arbeitswissenschaft und Ergonomie zusammen. Im Rahmen dieser Arbeit sind folgende Aspekte der klassischen Ergonomie im Sinne des Technischen Interface Designs relevant und auf diese wird dementsprechend eingegangen.

Die unterschiedlichen Greifarten werden in Kontaktgriff, Zufassunggriff und Umfassunggriff eingeteilt [BULLINGER 1994, S.321 f.]. Diese basieren auf den mechanischen Eigenschaften der menschlichen Hand [SCHMID & MAIER 2017, S. 150].

Die unterschiedlichen Greifarten sind durch ihre Begriffe gut beschrieben. Beim Kontaktgriff handelt es sich um einen Kontakt, der durch oftmals einen Finger, selten auch durch den Handkamm, ausgeübt wird. Der Zufassunggriff kann durch zwei oder mehrere Finger zur Betätigung führen. Hier wird das Stellteil an zwei sich gegenüberliegenden Seiten gegriffen, um bewegt zu werden. Beim Umfassunggriff wird das Stellteil mit zwei oder mehreren Fingern umfasst und so die Bewegung des Stellteils ermöglicht. Grundsätzlich wird die Interfacegestalt (Anzeiger und Stellteile) in virtuelle und reale Interfaces kategorisiert. Die Stellteilauswahl und -gestaltung wird in der klassischen Er-

gonomie von den Teilgestalten Aufbau, Form, Farbe bzw. Oberfläche und Grafik beeinflusst. [SCHMID & MAIER 2017, S. 34]

Der Aufbau wird hierbei von der Anordnung geprägt. Die Form und Oberfläche sollte die angenehme und sinnfällige Bedienung ermöglichen. Dies kann beispielhaft durch eine anthropomorphe Gegenform umgesetzt werden. Bei der Farbauswahl und Grafik spielt neben ästhetischen Aspekten auch die Informationsübermittlung eine zentrale Rolle.

Um eine sinnvolle Stellteilanordnung umzusetzen, werden Stellteile hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Arbeitsaufgabe kategorisiert. Beispielsweise wird in der Automobilergonomie zwischen primären, sekundären und tertiären Fahraufgaben unterschieden. Die primäre Fahraufgabe dient grundsätzlich dazu, die Geschwindigkeit und Richtung des Fahrzeugs zu kontrollieren. Sekundäre Aufgaben regulieren Anforderungen der sich ändernden Verkehrssituation und dienen der Unterstützung von primären Fahraufgaben. Als tertiäre Fahraufgaben werden Bedienvorgänge bezeichnet, die auf das eigentliche Fahren keinen Einfluss haben. [BUBB ET AL. 2015a, S. 20 ff.]

Diese Einteilung aus der Automobilbranche ist nicht auf mobile Arbeitsmaschinen übertragbar, da sich die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben nicht nur bediensituationsbedingt ändern, sondern auch durch den Wechsel der unterschiedlichen Arbeitsgeräte. Hier ändern sich Funktionalitäten bzw. komplette Arbeitsumgebungen.

In dem Teilbereich der mobilen Arbeitsmaschinen, den Erdbaumaschinen, werden Stellteile nach Bedienhäufigkeit priorisiert. Stellteile, die vom Nutzer permanent oder häufig bedient werden, gelten als Stellteile 1. Ordnung. Hier wird in Maschinenstellteile wie beispielsweise Bremsen oder Lenken und in Stellteile für das Arbeitsgerät unterschieden. Nicht häufig genutzte Stellteile werden als Stellteile 2. Ordnung kategorisiert. [DIN EN ISO 6682 2009, S. 4]

Im Kontext von mobilen Arbeitsmaschinen und deren Interfacegestaltung ist es sinnvoll, die Stellteile hinsichtlich des Bedienzeitpunkts zu kategorisieren. Hier kann zwischen einer Prä-, Intra-, und Postbedienung unterschieden werden. Präbedienung beinhaltet Bedienfunktionen (BF) bei einer sich nicht bewegenden Arbeitsmaschine. Es handelt sich um eine statische Arbeitsumgebung und beispielsweise um grundsätzliche Maschineneinstellungen, die vor der Fahrt bedient werden müssen. Intrafunktionen werden während der Fahrt bedient. Hier handelt es sich um eine dynamische Bedienumgebung. Bei der Postbedienung ist die Fahrt unterbrochen oder beendet. Die Bedienumgebung ist wieder statisch und es werden abschließende oder korrigierende Bedienungen der Fahrt vorgenommen. Diese Einteilung spielt u. a. eine wesentliche Rolle in der Methodenkonzeption in Kapitel 6.4.

Bei der konzeptionellen Raumauslegung spielen die Greifräume, Sichtbereiche und Bewegungsräume eine wesentliche Rolle. Diese werden auch unter dem Begriff der Funktionsräume zusammengefasst. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 482], [MAINZER 1992, S. 334 f.]

Die Greifräume definieren die erreichbaren Bedienbereiche, in denen der Nutzer in der Lage ist zu bedienen. Diese werden auf die individuellen Körpermaße des Nutzers ausgelegt. Hierbei spielt die sitzende oder stehende Arbeitsposition eine zentrale Rolle. [SCHMID & MAIER 2017, S. 107]

Greifräume werden anhand von geometrischen Maßen auf den jeweiligen Nutzer abgestimmt. Eine Unterscheidung zwischen der Betätigung mit der linken oder rechten Hand, einer beidhändigen Bedienzone und einer erweiterten einhändigen Bedienzone wird getroffen. [BULLINGER 1994]

Die Greifräume werden in vier Bereiche aufgeteilt, wie in Bild 2.1 dargestellt ist.

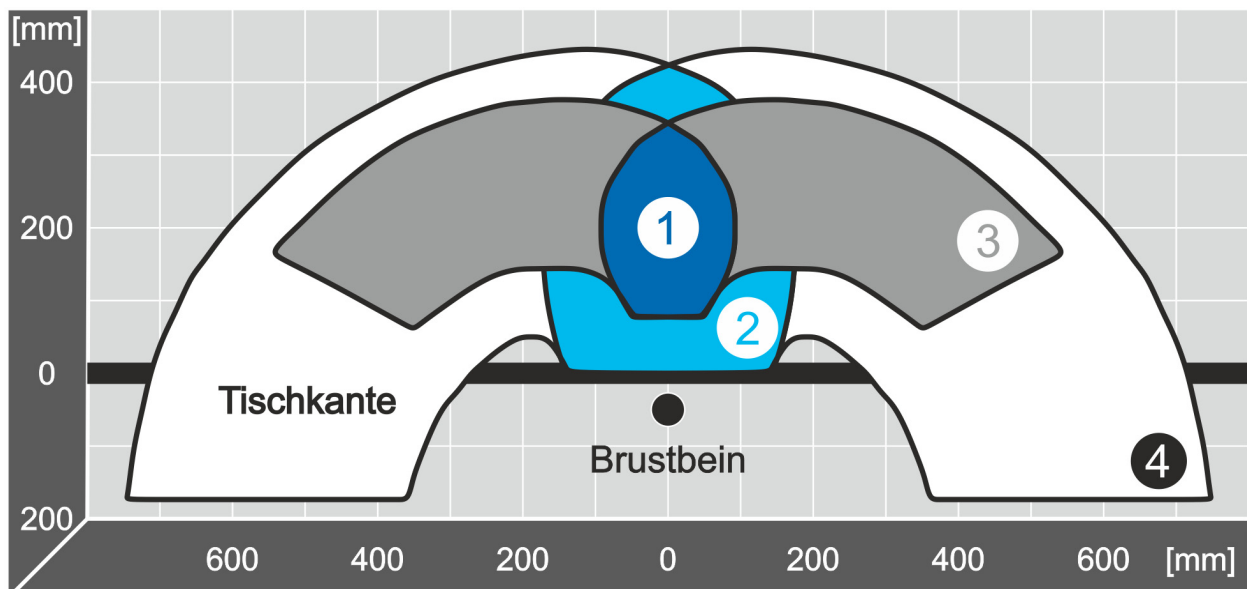


Bild 2.1: Horizontalschnitt des Greifraums in Ellenbogenhöhe, Bereich 1: Arbeitszentrum, Bereich 2: Erweitertes Arbeitszentrum, Bereich 3: Einhandzone, Bereich 4: Erweiterte Einhandzone in Anlehnung an [SCHMID & MAIER 2017, S. 109]

Bereich 1 ist als Arbeitszentrum definiert und deckt beide Hände im Blickfeld ab. Bereich 2 ist das erweiterte Arbeitszentrum, vergrößert den geometrisch definierten Bereich um Bereich 1 etwas und beinhaltet ebenso beide Hände im Blickfeld. Bereich 3 stellt die Einhandzone dar, welche sich an den Körpermaßen orientiert. Die erweiterte Einhandzone, Bereich 4, beinhaltet einen erweiterten Greifraum des Nutzers mit einer Hand. [SCHMID & MAIER 2017, S. 107 ff.]

In mobilen Erdbaumaschinen werden die bereits erwähnten Stellteile 1. Ordnung in bevorzugte Bereiche, die Bequemlichkeitsbereiche, und Stellteile 2. Ordnung in Reichweitenbereiche, bei denen es für den Nutzer gilt, sich nach vorn oder hinten zu beugen, unterschieden [DIN EN ISO 6682 2009]. Die Stellteile der 1. Ordnung orientieren sich an den in Bild 2.1 dargestellten Bereichen 1, 2 und 3. Bei den Stellteilen der 2. Ordnung kann eine grobe Zuordnung zu dem Bereich 4 in Bild 2.1 vorgenommen werden.

Grundsätzlich muss auch bei der Relevanzabschätzung der Sehbereiche die spezifische Situation, in der sich der Nutzer befindet, mit einbezogen werden. Unterschieden wird hier zwischen stationären und mobilen Systemen. Im Bereich der stationären Systeme muss zusätzlich zwischen sitzenden und stehenden Körperhaltungen unterschieden werden. [DIN EN 894-4 2010, S. 12]

Die Gültigkeitsbereiche von Entdeckungsaufgaben und Überwachungsaufgaben werden über bestimmte Winkelbereiche des Sehfeldes definiert [DIN EN 894-2 2009, S. 8]. Die Sichtbereiche können in verschiedene Bereiche, ausgehend von der Sehachse, eingeteilt werden. Hierzu werden geometrische Parameter definiert, welche einen von der Sehachse abweichenden Winkelbereich einschließen [SCHLICK ET AL. 2018, S. 486].

Grundsätzlich ist eine Großzahl aller Bedienungen mit einer visuellen Kontrolle des Bedienablaufs verbunden. Hierbei ist die Kopfhaltung und Augenlage zu berücksichtigen. Die vom Kopf ausgehende Sehachse ist bei entspannter Mittellage der Augen um 15° - 30° unterhalb der horizontalen Sehachse angeordnet. In einer Sitzposition ist eine Kopfneigung bis zu 25° nach vorn, als komfortabler Bereich definiert. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 484]

Das Gesichtsfeld hat bei konstanter Kopfhaltung die kleinsten zugelassenen Winkelbereiche in vertikaler und horizontaler Ebene und ist somit der Sehbereich, der für den Nutzer am wenigsten Körpereinsatz bedeutet. Das Blickfeld beinhaltet einen größeren Sehbereich bei ruhender Kopfhaltung und bewegten Augen. Das Umblickfeld oder Fixierfeld schließt eine Bewegung des Kopfes mit ein und erweitert den Winkelbereich abweichend von der Sehachse. Schließlich umfasst das Umblickgesichtsfeld die größtmögliche Menge an Raumpunkten, die der Nutzer bei starrem Torso erblicken kann. Bewegt sich der Torso mit, wird von dem Fixationsfeld gesprochen. [HUDELMAIER 2002, S. 21 f.], [MAINZER 1992, S. 138]

Die Bewegungsräume lassen sich durch Bewegungswinkel unterschiedlicher Gelenke beschreiben. Wichtige Gelenke sind hierfür unter anderem das Schulter- und Ellenbogengelenk für die Erreichbarkeiten handbedienter Stellteile und das Hüft- und Kniegelenk für fußbediente Stellteile und Bewegungsfreiräume im Fußbereich, welche in DREYFUSS [2002], KARLOVIC [2019, S. 18] und VDI/VDE 3850-2 [2017, S. 8] gesammelt

dargestellt sind. Bestimmte Winkelbereiche gelten als Komfortwinkelbereiche und stehen ergonomisch schlechter geeigneten Winkelbereichen gegenüber.

In der Anthropometrie ist ein körperbezogenes Achsensystem gültig. Die vertikale Achse entspricht der Richtung der Körperlängsachse. Rechtwinklig dazu befindet sich die Sagittalachse, die in und gegen die Blickrichtung des Körpers zeigt. Ebenfalls rechtwinklig zur Vertikalachse nach rechts und links befindet sich die Transversalachse. Diese Achsen spannen drei Ebenen auf. Die Sagittalebene ergibt sich aus der Vertikal- und Sagittalachse. Die Frontalebene wird durch die Vertikal- und Transversalachse erzeugt und die Horizontalebene wird durch die Sagittal- und Transversalachse bestimmt. [SCHMIDTKE 1989, A 3.2.2 S. 1]

Eine Überlagerung der Sehbereiche und der Greifräume ergibt eine Schnittmenge zulässiger und bevorzugter Betätigungsbereiche mit einem günstigen Sehraum. Geometrische Parameter definieren diese Bereiche jeweils für die linke und rechte Hand. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 484]

Zur Betätigung und Benutzung nutzt der Mensch fünf verschiedene Bewegungsarten. Diese sind grundsätzlich in translatorische Geradbewegungen und rotatorische Drehbewegungen kategorisiert. Bei den translatorischen Bewegungen wird zwischen Drücken, Ziehen und Schieben unterschieden. Die rotatorischen Bewegungen werden in Drehen und Schwenken differenziert. [VDI/VDE 2258 1987]

Die Bedienflächen eines Interfaces stellen den Aufbau der Interfacegestalt dar. Einflussfaktoren der Bedienflächen sind der Bedienort, die Größe und Bedienwinkel, die idealerweise auf den Nutzer abgestimmt sind. Auf der Bedienfläche werden die Interfaceelemente angeordnet. [SCHMID & MAIER 2017, S. 116]

Bei der Anordnung der Interfaceelemente (IE) gilt es unterschiedliche Anforderungen zu berücksichtigen. Diese beziehen sich auf die Bedeutung der Bedienfunktionen, die Bedienhäufigkeit, die notwendige Bediengenauigkeit und die Abfolge der Betätigungen gekoppelt an die Bedienszenarien. Zusätzlich spielen der Nutzer, dessen Bedienhaltung und die Körpermaße eine entscheidende Rolle wie im Abschnitt zu den Funktionsräumen dargestellt ist. [DIN EN 894-4 2010, S. 10 ff.]

Innerhalb der Anordnungsstruktur werden die einzelnen Interfaceelemente nach unterschiedlichen Anforderungen gruppiert. Diese werden im nachfolgenden Absatz näher beschrieben. Grundsätzlich gilt es die Informationsübermittlung sinnvoll zu reduzieren und Redundanzen zu schaffen. [DIN EN 894-4 2021, S. 19 ff.]

Die Greifräume, Sehbereiche, Anordnung und Gruppierung, in denen Interfaceelemente angeordnet werden, können mit der Hilfe von fünf Anordnungsprinzipien (AP) gebündelt und zu einer sinnvollen Interfacegestaltung konzipiert werden. Nach AP1 werden die

Anzeigen senkrecht zum Sehstrahl angeordnet, wobei die jeweiligen Körpergrößengruppen der Nutzer berücksichtigt werden. AP2 empfiehlt eine Anordnung der Stellteile unter den jeweiligen Anzeigen in dem gemeinsamen Greifraum und Sehfeld. Eine zentralisierte Anordnung der Anzeigen und Stellteile zugeschnitten auf die Position der bedienenden Person ist in AP3 enthalten. AP4 beinhaltet die drei Gruppierungsmöglichkeiten. Die Gruppierung nach ihrer logischen Bedienabfolge berücksichtigt die Reihenfolge bestimmter Bedienhandlungen. Die Bedienhäufigkeit spielt zusätzlich eine Rolle, welche in dem zweiten Gruppierungsansatz Berücksichtigung findet. Der dritte Ansatz formiert die Stellteile nach dem Gefährdungsgrad. Kritische Stellteile werden demnach so angeordnet, dass Fehlbewegungen zu den betroffenen Stellteilen möglichst ausgeschlossen werden können. Nach AP5 wird eine symmetrische Anordnung empfohlen, die die Links-Rechts-Händigkeit oder Aktions-Symmetrien berücksichtigt. [SCHMID & MAIER 2017, S. 160 ff.]

Ein elementarer Einflussfaktor bei der Gestaltung ergonomischer Produkte ist die Körpergröße. Die Varianz unterschiedlicher Personen hinsichtlich ihrer Körpergröße ist umfangreich. Deshalb sind in DIN 33402-2 [2020] verschiedene Körpergrößen in vier unterschiedliche Klassen kategorisiert. Diese werden durch Perzentilangaben beschrieben. Beispielsweise weist eine kleine Frau eine Körperhöhe von 1535 mm auf. Die Bezeichnung der 5 Perzentil Frau bedeutet, dass 5 % aller Frauen kleiner sind. Der 95 Perzentil Mann kennzeichnet den großen Mann mit 1855 mm Körperhöhe. 5 % aller Männer sind größer. Die vier Körpergrößengruppen sind die Gruppe der kleinen Frau, 5 Perzentil Frau bis 50 Perzentil Frau, die Gruppe der mittelgroßen Frau, 50 Perzentil Frau bis 95 Perzentil Frau, die Gruppe der kleinen Männer, 5 Perzentil Mann bis 50 Perzentil Mann, und die Gruppe der großen Männer, 50 Perzentil Mann bis 95 Perzentil Mann. Die drei Leitmaße zur Bestimmung der Körpergröße sind die Länge (Körperhöhe), die Korpulenz (Taillenumfang) und die Proportion (Stammlänge). Zusätzlich sind in DIN 33402-2 [2020] viele Maße eingeteilt in Altersgruppen, Geschlecht und Perzentile vorhanden. Dazu zählen beispielsweise die Schulterhöhe, die Schulterbreite, die Reichweite nach vorn (Griffachse), die Kniehöhe, der Ellenbogen-Griffachsen-Abstand, die Unterarmlänge, die Oberarmlänge und Fingerlängen. [ebd.]

2.3.2 Kognitive Ergonomie

Ergänzend zu der klassischen Ergonomie fokussiert sich die kognitive Ergonomie auf mentale Abläufe, die während einer Arbeitsaufgabe stattfinden. Die Wahrnehmung und Selektion der durch die MMS zur Verfügung gestellten Informationen ist entscheidend für die Bedienhandlungen des Nutzers. Zusätzlich beschäftigt sich die kognitive Ergo-

nomie mit der Integration von motivationalen und emotionalen Aspekten in die MMS. [BADKE-SCHAUB ET AL. 2012, S. 13]

Die Kompatibilität ist eine elementare Anforderung an nutzerzentrierte Bediensysteme. Grundsätzlich empfiehlt das Prinzip der Kompatibilität die Informationsübermittlung so zu gestalten, dass diese Form möglichst exakt mit dem mentalen Modell des Nutzers übereinstimmt. Dadurch wird der anfallende Transformationsaufwand auf ein Minimum reduziert. [ZÜHLKE 2012], [SCHLICK ET AL. 2018, S. 432]

Unter einem mentalen Modell wird ein Wissensgebilde verstanden, welches vom Nutzer über einen Realitätsausschnitt gebildet wird und von diesem auch auf diesen Ausschnitt angewandt wird. Das mentale Modell ist das Produkt der Vorstellung des Nutzers, welches situationsbedingt erstellt und zu einer Systemanalyse genutzt wird, um das Verhalten eines Systems oder der Umgebung vorherzusagen. [SCHLICK ET AL. 2018, S. 244], [BUTZ & KRÜGER 2017, S. 54]

Nach LUCZAK [1993, S. 121] und SCHLICK ET AL. [2018, S. 432] muss die Gestaltung von Mensch-Maschinen-Schnittstellen unter diversen Gesichtspunkten kompatibel gestaltet werden. Die menschliche Wahrnehmung, die individuelle Problemlösungsfähigkeit, die menschlichen Kommunikationsmöglichkeiten, das Gedächtnis und das menschliche Handeln müssen bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen auf eine notwendige Kompatibilität überprüft werden. Die Kompatibilität wird hier in Bewegungsübereinstimmung, die räumliche und die konzeptionelle Übereinstimmung von Reiz (Stimulus) und Reaktion (Response) unterschieden. Zusätzlich sind jedoch auch Reiz-Reiz- (Stimulus-Stimulus-) und Reaktions-Reaktions- (Response-Response-) Kompatibilitäten relevant.

Das Reiz-Reaktionsmodell oder auch Stimulus-Response-Modell (S-R-Modell) gilt in der systematischen Theoriebildung der Kommunikationswissenschaften als erstes signifikantes Konzept. Das Modell wird sowohl in der Kognitionswissenschaft als auch der Psychologie weiterhin verwendet. [BUSSEMER 2003, S. 187].

Die Reiz-Reiz-Kompatibilität, welche den Zusammenhang zwischen Anzeige und Wirklichkeit beschreibt, wird von SCHMIDTKE [1981, S. 446] genauso verwendet wie die Reiz-Reaktions-Kompatibilität, welche die Erwartungshaltung bezüglich der Bewegung eines Bedienelements betrifft. Zusätzlich verwendet SCHMIDTKE [1981, S. 449] die räumliche Kompatibilität, welche eine räumliche Anordnung der Anzeigen und Bedienelemente vorschreibt, die der Anordnung des tatsächlichen Systems entspricht.

Eine andere Einteilungsmöglichkeit ist es, in primäre und sekundäre Kompatibilität zu unterscheiden. Bei der primären Kompatibilität stehen Kombinationsmöglichkeiten von Anzeigen, Stellteilen, inneren Modellen des Nutzers und die Realität im Fokus. Die se-

kundäre Kompatibilität beleuchtet innere Widersprüche von beispielsweise Zeigerbewegungen, welche stereotype Bedienungen von links (wenig) und rechts (viel) nicht berücksichtigen. [BUBB ET AL. 2015b, S. 269-272]

In SCHMID & MAIER [2017, S. 173 f.] werden die unterschiedlichen Kompatibilitäten unter dem Begriff X-Kompatibilitäten zusammengefasst. Diese basieren auf der Dreiecksbeziehung zwischen Anzeiger, Stellteil und Wirkteil. Die Bedeutungskompatibilität formuliert die Anforderungen an Anzeiger und Stellteile, welche die Bewegungsrichtung definieren. Beispielsweise signalisiert eine Drehbewegung eines Stellteiles im Uhrzeigersinn eine Zunahme einer physikalischen Größe. Die sekundäre Kompatibilität ist der Bedeutungskompatibilität inhaltlich sehr nahe. Sie schließt Gestaltungsbereiche aus, welche bei einer Überlagerung von translatorischen und rotatorischen Bewegungen, sowohl von Anzeigern als auch von Stellteilen, möglich sind. Die Gestaltung nach der sekundären Kompatibilität richtet sich nach den Prinzipien der Bedeutungskompatibilität und ergänzt diese für die Kombination einer translatorischen und rotatorischen Bewegung. Die Bewegungskompatibilität oder auch die Sinnfälligkeit spiegelt die Übereinstimmung von Anzeiger, Stellteil und Wirkteil wider. Idealerweise erfolgt die Betätigung eines sich translatorisch von links nach rechts bewegenden Wirkteils über ein Stellteil, welches sich translatorisch von links nach rechts bewegen lässt und diese Bewegung konform auf dem Anzeiger signalisiert wird. Die räumliche Kompatibilität schreibt die Anordnung der Anzeiger und Stellteile nach dem Vorbild der Wirkteile vor. Beispielsweise entspricht die Anordnung der Anzeiger und/oder Stellteile nach einer idealen räumlichen Kompatibilität einer exakten Abbildung der Anordnung der Wirkteile. Zusammenfassend beschreibt die Konsistenz die interfacemodulübergreifende Beachtung der X-Kompatibilitäten. [SCHMID & MAIER 2017, S. 173-183]

In DIN EN 894-4 [2010, S. 34] wird die zeitliche Kompatibilität in Bezug auf die zeitliche Reaktion von Anzeigen bei Stellteiltätigkeiten definiert. Hier gilt es lange Reaktionszeiten zu vermeiden.

Die zeitliche Kompatibilität wird im Rahmen dieser Arbeit in Bezug auf die Stellteil-Wirkteilbeziehung neu definiert. Da die Reaktionszeit durchaus eine wesentliche Rolle bei der Gestaltung von Interfaces spielt, jedoch stets eine zeitliche Verzögerung sog. Latenz zwischen Bedienung und Reaktion der dazugehörigen Anzeige vorherrscht und diese Beziehung lediglich in Annäherung zufriedenstellend erfüllt werden kann, wird hier lediglich von der Reaktionszeit und nicht von einer zeitlichen Kompatibilität gesprochen. Der Begriff der zeitlichen Kompatibilität wird in dieser Arbeit als zeitliche Beziehung der Bediendauer des Stellteils und der Ausführungsdauer der Bedienfunktion des Wirkteils verstanden. Unterschieden wird zwischen einer kontinuierlichen Bedienung, die kompa-

tibel mit der Ausführungsdauer des Wirkteils ist und einer diskreten Bedienung, die einmalig zu bedienen ist. Beispielsweise besteht die Möglichkeit die Aufmerksamkeit des Users so zu lenken, dass die Bedienung bei sicherheitskritischen Funktionen kontinuierlich ausgeführt wird. D. h. der User muss das Stellteil beispielsweise gedrückt halten um die gewünschte Funktion auszuführen. Handelt es sich um unkritische und simple Bedienfunktionen, ist eine zeitliche Kompatibilität nicht zwingend notwendig. Die Kompatibilitäten sind in Bild 2.2 dargestellt.

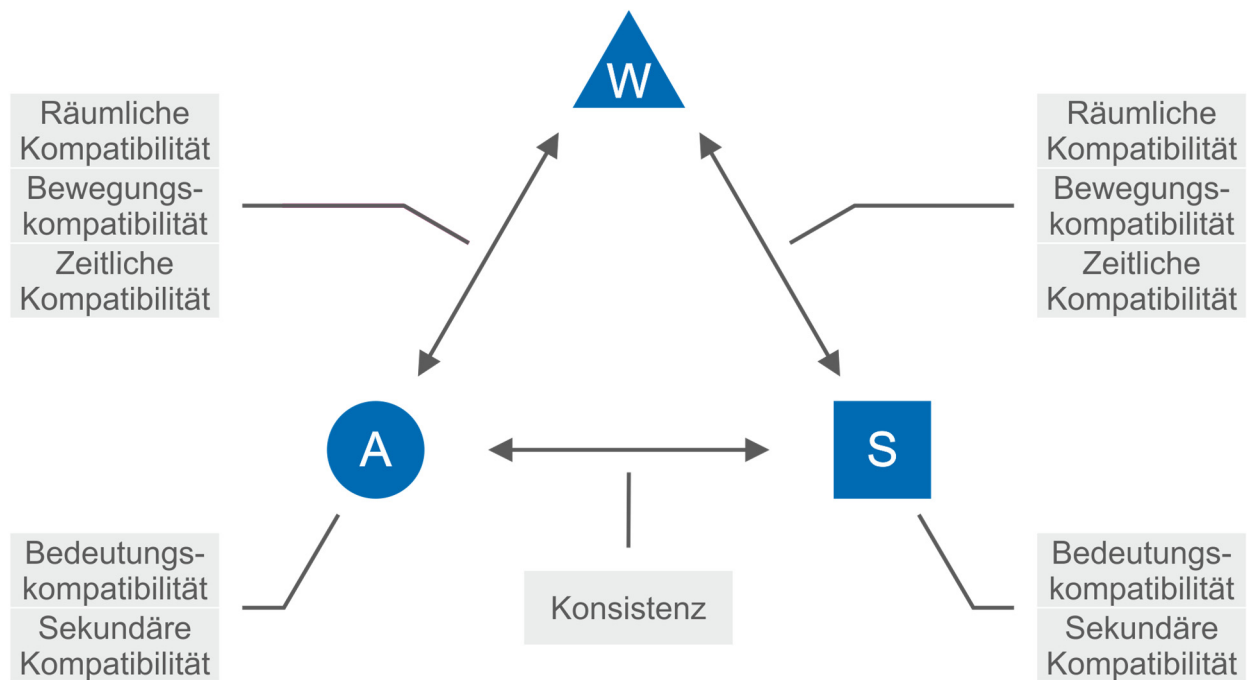


Bild 2.2: X-Kompatibilitäten ergänzt um die zeitliche Kompatibilität in Anlehnung an [SCHMID & MAIER 2017, S. 175]

Die Menügestaltung eines grafischen User-Interfaces erfüllt im Kern die Aufgabe, dem Nutzer vorgegebene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. Diese Auswahlmöglichkeiten sind entweder mit Begriffen oder Piktogrammen gekennzeichnet. [STAPELKAMP 2007, S. 393]

Unter dem Begriff der Software-Ergonomie lassen sich Werkzeuge, Methoden und Modelle zusammenfassen, die interaktive Softwaresysteme analysieren und evaluieren. Zusätzlich beinhaltet das Fachgebiet ergonomische Gestaltungsgrundlagen für die Mensch-Rechner-Interaktion [SCHLICK ET AL. 2018, S. 466 f.].

Die Software-Ergonomie greift auf diverse Elemente aus dem Interaktionsdesign, dem Experience-Design und dem Usability-Engineering zurück, ist inhaltlich aber differenziert zu betrachten [HERCZEG 2018, S. 15]. Es handelt sich um eine Teildisziplin der Ergonomie [HERCZEG 2018, S. 7], welche zwar nicht für die gebrauchstaugliche Gestaltung des Interfaces verantwortlich ist, jedoch voraussetzt, dass die

Benutzungsschnittstelle effizient, effektiv und zufriedenstellend designt ist [HERCZEG 2018, S. 11f.]. Die menschliche Wahrnehmung ist ein entscheidender Faktor in der Entwicklung der Interfacegestalt. Aspekte aus der Wahrnehmungspsychologie spielen demnach eine tragende Rolle und sind der kognitiven Ergonomie zugeordnet [SCHMID & MAIER 2017, S. 15]. Die konzeptionelle Arbeit zur Generierung funktionaler Interfacegestalten sowie die Erarbeitung einer sinnfälligen Anordnung derselben wird mit den Gestaltprinzipien der Wahrnehmungspsychologie finalisiert [SCHMID & MAIER 2017, S. 7]. Diese sieben Gestaltprinzipien sind im Folgenden aufgelistet.

Das Prinzip der Prägnanz, auch als Prinzip der guten Gestalt oder Prinzip der Einfachheit bekannt, wird als zentrale Heuristik der Gestaltpsychologie bezeichnet. Das Prinzip beschreibt die Wahrnehmung von Reizmustern. Sämtliche Reizmuster werden so erfasst, dass daraus eine möglichst einfache Struktur resultiert. Der Inhalt des Prinzips der Ähnlichkeit besteht darin, dass sich ähnelnde Elemente als Gruppe wahrgenommen werden, unabhängig davon, ob es sich um eine Ähnlichkeit der Form, Größe oder Orientierung handelt. Beim Prinzip des guten Verlaufs wird die Wahrnehmung von Punkten beschrieben, die einer geschwungenen Linie folgen. Werden diese Punkte verbunden gelten sie als zusammengehörig. Es besteht die Wahrnehmungstendenz, dass Linien dem einfachsten Weg folgen. Das Prinzip der Nähe beschreibt das Phänomen, dass nahe beisammen liegende Elemente als zusammengehörig erscheinen. Das Prinzip des gemeinsamen Schicksals handelt von Dingen, die sich in dieselbe Richtung bewegen. Findet eine Bewegung in die gleiche Richtung statt, werden die Dinge als zusammengehörig wahrgenommen, unabhängig davon, ob diese gleichartig sind. Das Prinzip der gemeinsamen Region beschreibt die Wahrnehmung des Menschen Dinge, die sich in einem abgesteckten Bereich bzw. einer gemeinsamen Region befinden, als zusammengehörig wahrzunehmen. Außerdem bilden Elemente eine Einheit, wenn sie Gemeinsamkeiten in der visuellen Charakteristik unterschiedlicher Art aufweisen. Dies wird das Prinzip der Verbundenheit von Elementen genannt. [GOLDSTEIN 2015, S. 102 ff.]

Das Prinzip der Vertrautheit oder Prinzip der Bedeutung handelt von der Wahrnehmung von Gruppen. Dinge können demnach mit großer Wahrscheinlichkeit als Gruppe wahrgenommen werden, wenn diese Gruppen eine Bedeutung haben oder vertraut erscheinen. Visuelle Ereignisse werden als zusammengehörig wahrgenommen, wenn sie zeitgleich auftreten, besagt das Prinzip der zeitlichen Synchronizität. [GOLDSTEIN 2008, S. 109 f.]

Bei der Gestaltung von Interfacesystemen gilt es, die genannten Prinzipien zu beachten, um Nutzern die Bedienung möglichst einfach, zielführend und intuitiv zu machen.

2.4 Bedienszenarien

Grundsätzlich wird der Begriff Bedienszenario (BSZ) synonym mit den Begriffen Use-Case oder auch Bedienfall verwendet. BSZ können in Worst Case-Szenarien (WoC) und Most Frequent Case-Szenarien (MoFC) unterschieden werden. [SCHMID & MAIER 2017, S. 96 f.]

Eine weitere verwandte Begrifflichkeit in diesem Zusammenhang ist die Arbeitsaufgabe. Unter Arbeitsaufgaben werden Tätigkeiten verstanden, die zwingend erforderlich sind, um die beabsichtigten Resultate eines Arbeitssystems zu erzielen [DIN EN 894-2, S. 6].

Die in SCHMID & MAIER [2017, S. 96 f.] definierten Bedienszenarien und Bedienschritte können noch detaillierter in Bedienfunktionen unterteilt werden. Hier werden sämtliche Funktionen, die zur Bedienung des technischen Systems zur Verfügung stehen, betrachtet. Durch eine umfangreiche Charakterisierung dieser BF kann ein umfassendes Verständnis des technischen Systems und des zu entwickelnden Interfaces geschaffen werden. Es werden sowohl die Funktionen des Systems als auch die notwendige Bedienung erfasst. [ebd.]

Eine etablierte Methode um Bedienszenarien analysieren zu können sind Beobachtungsinterviews. Diese erheben sowohl quantitative als auch qualitative Daten zur detaillierten Beschreibung von Bedienszenarien. [SCHÜPPBACH 2013]

Im Rahmen dieser Arbeit werden BF als kleinste Einheit verwendet. Diese BF lassen sich inhaltlich in Funktionsgruppen (FuG) zusammenfassen. Mehrere Funktionsgruppen bilden wiederum ein BSZ.

2.5 Komplexität

Die Produktvielfalt nimmt branchenübergreifend seit geraumer Zeit stetig zu. Von Naturprodukten und Dienstleistungen bis hin zu technischen Produkten ist die Bandbreite enorm [LINDEMANN 2009, S. 7]. Werden technische Produkte betrachtet, handelt es sich zumeist um eine Zusammensetzung von Elektrotechnik, Informatik und dem Maschinenbau [ebd.].

Das Komplexitätsspektrum geht explizit bei technischen Produkten weit auseinander. Produkte wie Flugzeuge und Kraftwerke werden aufgrund ihrer hohen Schnittstellenanzahl und -vernetzung sowie der hohen Bauteil- und Baugruppenvielfalt als sehr komplex eingestuft. Jedoch werden auch einfach wirkende Produkte wie Einkaufstaschen aus PVC als komplex eingestuft. Diese Einstufung hat mit Auslegungsprozessen, wie Herstellkostenminimierung bei Haltbarkeitsmaximierung oder den Herstellungsverfahren und Distribution, zu tun. [PONN & LINDEMANN 2011, S. 13]

Die Komplexität von Produkten lässt sich nach Moles [1961, S. 1] prinzipiell in zwei übergreifende Kategorien gliedern. Wird der Aufbau und die Zusammensetzung in den Fokus genommen, handelt es sich um eine strukturelle Komplexität. Liegt der Fokus auf der Verwendung und Einsatzweise des Produkts ist von funktioneller Komplexität die Rede.

SCHUH & RIESENER [2018, S. 7f] beschreiben die Produktkomplexität als strukturelle Komplexität, die grundsätzlich aus einer betriebswirtschaftlichen Perspektive betrachtet wird.

Im Kontext der konzeptionellen Produktentwicklung sind in dieser Arbeit andere Perspektiven der Produktkomplexität relevant. Der Fokus liegt auf der tatsächlichen Komplexität des Produkts als technisches System. Die Funktionalitäten des Produkts, die Zusammensetzung der einzelnen Elemente und deren Korrelationen spielen eine übergeordnete Rolle. Wirtschaftliche Komponenten können ausgeblendet werden.

Die Nutzfahrzeugbranche hebt sich durch eine hohe Anzahl an Fahrzeugfunktionen von anderen Fahrzeugbranchen ab, welche zu komplexen Fahrerarbeitsplätzen führen können. Um diese Komplexität zu minimieren, existieren drei verschiedene Ansätze. Durch die Erhöhung des Automationsgrades der Funktionen kann eine Komplexitätsreduktion erzielt werden. Außerdem kann der Komplexität durch den Einsatz von multimodalen Bedienelementen entgegengewirkt werden. Als dritter Ansatz steht die Adaptivität der Bedienelemente zur Verfügung. [SCHÖLKOPF ET AL. 2021, S. 34]

Technische Produkte werden oftmals als System betrachtet. Um diese Systeme hinsichtlich ihrer Komplexität einzuordnen, bedarf es unterschiedlicher Merkmale, welche von [LINDEMANN 2009, S. 10] folgendermaßen beschrieben werden:

- *„Elemente: Art und Verschiedenartigkeit der Elemente, Anzahl der Elemente, Ungleichmäßigkeit der Aufteilung der Elemente,*
- *Relationen: Art und Verschiedenartigkeit der Relationen, Anzahl der Relationen, Ungleichmäßigkeit der Aufteilung der Relationen,*
- *Dynamik: (Eigen-) Dynamik des Systems,*
- *Zustände: Art und Anzahl der möglichen Zustände“.*

In GÖTZFRIED [2013, S.15] ist eine umfassende Auflistung und Kategorisierung des Komplexitätsbegriffs in unterschiedlichen Forschungsgebieten zu finden. Hierbei sind neben LINDEMANN ET AL. [2009, S 29], der die Komplexität mit den Attributen Anzahl, Verbindung, Varietät, Disziplin und Organisation beschreibt, zwei weitere zentrale Literaturquellen mit Definitionen in der Kategorie Produktkomplexität zu finden. Laut GRIFFIN [1997, S.24] entspricht die Produktkomplexität der Anzahl an Funktionen, die im Produkt implementiert ist. In NOVAK & EPPINGER [2001, S. 189] werden die Anzahl an

Komponenten innerhalb eines Produkts, das Interaktionsausmaß und der Produktneuheitsgrad als entscheidend für die Komplexität definiert.

Ähnlich zu den von LINDEMANN [2009] gewählten Merkmalen strukturiert PATZAK [1982, S.22 ff.] die Systemkomplexität. Im Detail wird zwischen Konnektivität und Varietät unterschieden. Die Konnektivität setzt sich aus der Art der Beziehungen im System zusammen. Die Varietät bildet sich aus der Art und Anzahl der systemischen Elemente. Bild 2.3 zeigt ein aus PATZAK [1982, S.23] entlehntes Schema der Komplexität. Hier sind jeder Variablen, die die Komplexität beschreibt, das Stell- und Wirkteil zugeordnet. Das Stell- und Wirkteil stellen eine feinere Gliederungsebene der Elemente dar.

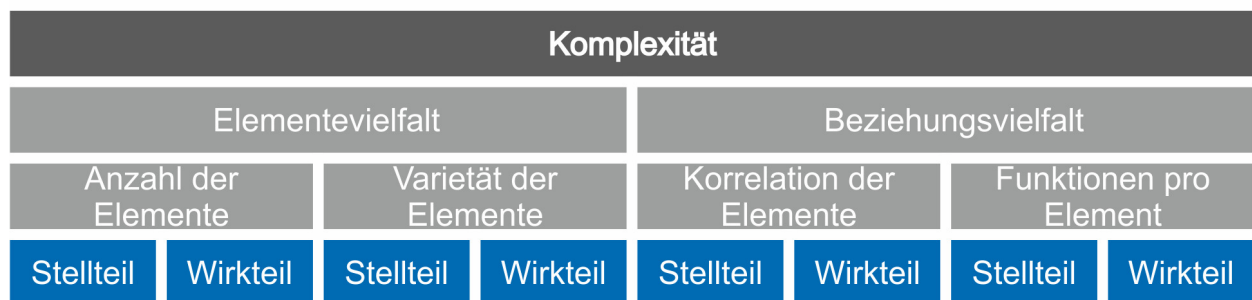


Bild 2.3: Schema Komplexität in Anlehnung an PATZAK [1982, S.23]

Werden Produkte mit MMS betrachtet, ist die Wahrnehmung des Menschen ein entscheidender Faktor. Ist die MMS für den entsprechenden User nicht erschließbar, wird das Produkt bzw. zumindest die MMS als komplex empfunden. [KISSEL 2014, S. 16]

Merkmale für die Produkteinfachheit werden in HARTMANN [2013, S. 38ff.] beziehungsweise auf FELDHUSEN [2016, S. 163] und KIRCHNER & NEUDÖRFER [2021, S. 487] als Gegenteil zu den Merkmalen der Produktkomplexität bezeichnet, woraus ein direkter Zusammenhang abgeleitet werden kann. Neben Montage-, Fertigungs-, Modularitäts-, Demontage-, Funktionalitäts- und Kontrollmerkmalen wird auf ergonomische Merkmale zur Produkteinfachheit bzw. -komplexität eingegangen.

Die für diese Arbeit relevanten Merkmale eines einfachen Produkts beziehen sich auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Hierbei handelt es sich um die Sinnfälligkeit der MMS, eine geringe und übersichtliche Stellteil- und Anzeigenanzahl sowie um eine Gestaltung der Interfaceelemente (IE) nach ergonomischen Richtlinien [LUCZACK 1993]. Zusätzlich sind die Sinnfälligkeit der Bedienvorgänge, die Übersichtlichkeit der Anordnung und die Verständlichkeit der Signale charakteristisch für einfache Produkte [FELDHUSEN 2016, S. 163].

Um Komplexität zu bewerten gibt es unterschiedliche Ansätze, die verschiedene Kennzahlen definieren und anhand dieser die Komplexität bestimmen. Überwiegend handelt es sich hierbei um Kennzahlen, die der Betriebswirtschaft und Produktentwicklungspro-

zessen zugeordnet werden. Die Komplexität mit Hilfe eines Zusammenhangs zwischen der Komplexität des Produkts, der Komplexität der MMS und der Fähigkeit des Nutzers zu bewerten, wird in KAUFMANN ET AL. [2021] erstmals beschrieben. Hier wird eine Dreiecksbeziehung zwischen der Produktkomplexität, bezogen auf den Aufbau und die Funktionalität, der Komplexität der MMS, welche die Fähigkeiten des Users mit einbezieht, und dem Automatisierungsgrad des technischen Systems der Komplexitätsbewertung zu Grunde gelegt.

2.6 User

Der User wird auch Benutzer oder nur Nutzer genannt [SCHMID & MAIER 2017, S. 73]. Hierbei handelt es sich um eine Person, die ein angestrebtes Ergebnis einer Arbeitsaufgabe erzielen möchte und in diesem Zuge eine technische Anlage benutzt [VDI/VDE 3850-1 2014, S. 5]. Die funktionale Gestaltung eines Produkts wird durch die Charakteristik der Zielgruppe maßgeblich bestimmt. Über unterschiedliche Zielgruppenmerkmale können diese kategorisiert werden [STAPELKAMP 2007, S. 550 f.].

Bei der Merkmalsauswahl gibt es unterschiedliche Ansätze, welche jedoch eine große Schnittmenge aufweisen. Die Ansätze unterscheiden sich in der Tiefe der Betrachtung der jeweiligen Nutzergruppe. Leitfragen können hilfreich sein, falls es zu Unklarheiten bei der Nutzerkategorisierung kommt. Neben der Identifikation und Charakterisierung der Nutzergruppen ist der Nutzungskontext der jeweiligen Nutzergruppe relevant. Hier kann ebenso mit Leitfragen gearbeitet werden, um die Arbeitsaufgabe möglichst detailliert in Teilaufgaben gliedern zu können. [VDI/VDE 3850-1 2014, S. 11 f.]

Im Bereich des technischen Interface Designs sind die Hauptmerkmale einerseits als demografische und geografische Merkmale des Benutzers definiert. Andererseits sind psychografische Merkmale des Benutzers relevant. [SCHMID & MAIER 2017, S. 92 f.]

MARK ET AL. [2020] haben einen Ansatz vorgestellt, welcher prinzipiell die Möglichkeit bietet, Nutzergruppen anhand von branchenspezifischen Variablen zu kategorisieren und zu charakterisieren. Nach diesem Schritt werden den identifizierten Nutzergruppen vorhandene und fehlende Fähigkeiten zugeordnet, die Rückschlüsse auf die Gestaltung eines Produktes zulassen. Die Variablen und Nutzergruppen müssen für das jeweilige Anwendungsgebiet spezifiziert werden.

2.6.1 Qualifikation

Der Qualifikationsbegriff lässt sich nach HEIDENREICH [2017, S. 696] in zwei Aspekte aufteilen. Die Fertigkeiten und Kenntnisse, welche zur Erfüllung der Anforderungen der Arbeitsaufgabe dienen, sind im tätigkeitsbezogenen Qualifikationsbegriff beinhaltet. Der

personenbezogene Qualifikationsbegriff fasst das tatsächliche Handlungsvermögen und die Kompetenzen des Users zusammen.

Nach SCHLICK ET AL. [2018, S. 109] lassen sich die Begrifflichkeiten Qualifikation und Kompetenz scharf von dem Begriff der Konstitution abgrenzen. Sowohl Qualifikation als auch Kompetenz spiegeln Lernresultate eines Individuums wider. Die Konstitution beschreibt unveränderliche Leistungsmerkmale. Lernprozesse können einen positiven Einfluss auf die Qualifikation und Kompetenz ausüben. Näher betrachtet, können die oft synonym verwendeten Begriffe Qualifikation und Kompetenz spezifiziert werden. Bei der Qualifikation handelt es sich um eine aus der Bildungsökonomie stammende Definition, welche Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten idealerweise anhand von Zertifikaten oder Zeugnissen vereint. Dementgegen steht die Kompetenz, worunter Erfahrung, Fähigkeit, Wissen, Verstehen, Können, Handeln und Motivation fallen. Sie wird auch als Disposition beschrieben. Hierunter fällt die Fähigkeit eines Individuums, spezifische Anforderungen erfolgreich auszuführen und diese kann durch das Resultat der Arbeitsaufgabe bewertet werden. [ebd.]

2.6.2 Erfahrungsgrad

Ein grundlegendes Unterscheidungsmerkmal von Nutzergruppen ist der Erfahrungsgrad [NIELSEN 1993, S. 177].

Nach Erkenntnissen aus der Psychophysik werden Nutzertypen anhand unterschiedlicher Merkmale charakterisiert. Neben Wahrnehmungseigenschaften, Verhaltenseigenschaften und weiteren Merkmalen spielt die Erfahrung eine zentrale Rolle bei der Charakterisierung von Nutzergruppen. Erfahrungen entwickeln sich bei längerer Benutzung eines Systems. Es ist zu unterscheiden, ob es sich um erfahrene User des betrachteten Systems, um erfahrene User eines ähnlichen Systems oder erfahrene Nutzer der Domäne handelt. [MÖLLER 2017, S.30]

Beim Erfahrungsgrad sollte möglichst spezifisch auf den jeweiligen Nutzer eingegangen werden. Deshalb muss eine Nutzereinschätzung hinsichtlich des Erfahrungsgrades getroffen werden. Dies kann beispielsweise mit einer kurzen Abfrage vor Beginn der Interaktion durchgeführt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Nutzerinformationen in Profilen anzulegen und das Nutzerverhalten zu dokumentieren. Hier kann die Lernkurve des Nutzers in das HMI mit einfließen.

2.6.3 Kompetenz

Im Novizen-Experten-Modell nach RAUNER [2002, S. 20] werden die von DREYFUS & DREYFUS [1987, S.136 f.] dokumentierten fünf Entwicklungsstufen zur Aneignung von Kompetenz aufgegriffen. Das Modell ist in Bild 2.4 abgebildet.

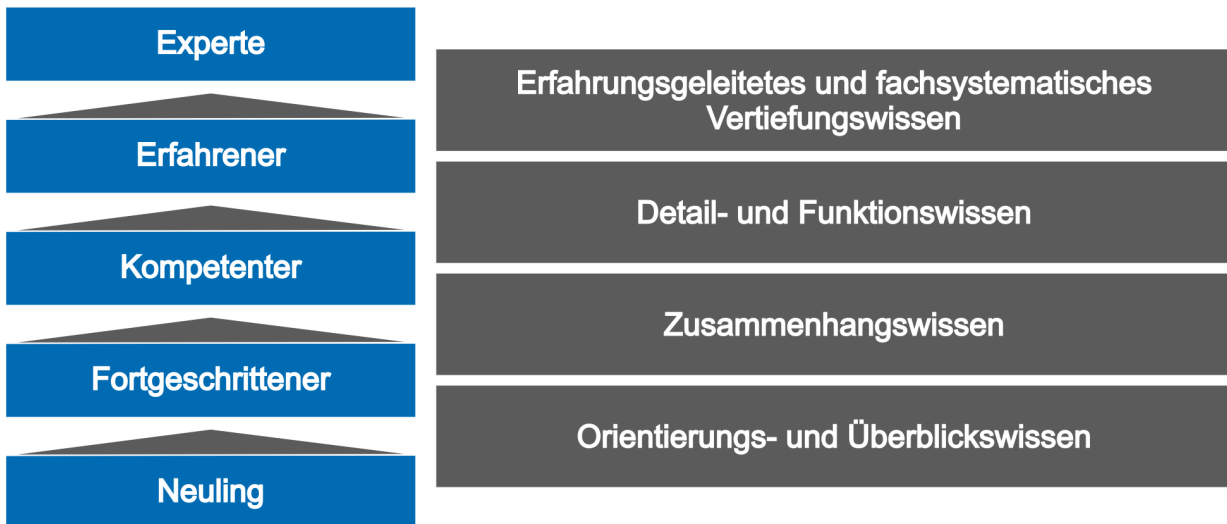


Bild 2.4: Experten-Novizen-Modell in Anlehnung an RAUNER [2002, S. 20]

NIELSEN [1993, S. 177] stellt in seinem User Cube drei Arten einer Nutzerexpertise dar. Zum einen unterscheidet er zwischen Nutzern, die Erfahrungen mit einem konkreten System haben, Nutzern, die Erfahrung mit dem System im Allgemeinen haben und Nutzern, die Erfahrung mit der Aufgabe an sich haben.

Übertragen auf den Forschungshintergrund dieser Arbeit werden diese Nutzerarten folgendermaßen definiert:

- Nutzer, die Erfahrung mit dem Interfacesystem haben,
- Nutzer, die Erfahrung mit der Art der Maschine haben,
- Nutzer, die Erfahrung mit den Bedienszenarien haben.

Die steigende Komplexität der Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen hat insbesondere dann enorme Vorteile, wenn das Interface von Nutzern mit sich verändernden Anforderungen in Anspruch genommen wird. Zusätzlich versprechen adaptive Interfacesysteme einen Mehrwert bei einer hohen Nutzerbreite hinsichtlich Ihrer Qualifikation im Umgang mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Hinsichtlich der Veränderlichkeit von Bedienszenarien ist eine Anpassung des Interfaces von großem Nutzen. [PEISSNER 2014, S. 17]

Im Rahmen dieser Arbeit ist es notwendig, die Fähigkeiten eines Anwenders bei der Bedienung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle zu kategorisieren. Hierbei ist elementar, dass die Erfahrung, das Wissen, das Verständnis und die Fähigkeiten, in dem spezifischen Kontext, aber auch in artverwandten Anwendungsszenarien ermittelt werden können, um nutzerspezifisch optimale Anpassungen an das HMI zu treffen. Ein regelmäßiger Abgleich der Kompetenzen unter Berücksichtigung der Lernkurve ist notwendig. In dieser Arbeit wird der Begriff der spezifischen Kompetenz für die Beschreibung der lernkurvenabhängigen, szenariospezifischen Ausprägung von Erfahrung, Wissen,

Fähigkeit und Verständnis im Kontext mit der Bedienung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet.

2.7 Adaptivität

Der Begriff der Adaptivität kommt in unterschiedlichsten Disziplinen zum Einsatz. Sowohl in der Literatur als auch im praktischen Einsatz ist die Adaptivität ein häufig verwendeter Ansatz. [HEIN ET AL. 2017]

Bei einer benutzerspezifischen Anpassung der Systemeigenschaften auf die mentale Beanspruchungskapazität des Users spricht SCHLICK ET AL. [2018, S. 465] von einem adaptiven System.

Eine sinnvolle Zuweisung unterschiedlicher Funktionen, einerseits dem technischen System und andererseits dem User, ist ein Kernbestandteil des nutzerzentrierten Designs. Zusätzlich ist die Frage nach dem richtigen Zeitpunkt der Bedienungsausführung durch den Nutzer oder durch das System entscheidend. Dies macht ein Zuweisungsschema notwendig, welches dem ausführenden Organ Bedienfunktionen dynamisch zuordnet. Bei einer adaptiven Bedienung erfolgt diese Zuweisung situationsspezifisch. [ROUSE 1991, S. 86 ff.]

OPPERMANN & KINSHUK. [1997] unterscheiden zwischen der Adaptivität und der Anpassbarkeit, wobei hierbei der Adaptivität eine Systeminitiierung und der Anpassbarkeit eine Nutzerinitiierung zugeschrieben wird. Zwischen diesen beiden Extremen befinden sich noch Zwischenstufen wie beispielsweise eine nutzerinitiierte Auswahl durch systeminitiierte Adaptivitätsvorschläge.

Diese Unterscheidung wird auch von GULLÀ ET AL. [2015] verwendet. Die wichtigsten Vorteile eines anpassbaren Interfaces sehen die Autoren in der vollen Kontrolle des Users über das Erscheinungsbild des User Interfaces. Zeitgleich wird diese auch als größter Nachteil angesehen, da User mit unterschiedlichen Bedienschwierigkeiten Probleme mit der nutzerinitiierten Anpassung haben können.

Adaptive Interfaces passen die auszugebenden Informationen an sich verändernde Situationen hinsichtlich der Arbeitsaufgabe, dem User und der Umgebung an [HOU ET AL. 2015, S. 38].

Zusätzlich zu der Unterscheidung zwischen Adaptivität und Anpassbarkeit, welche die Adaptivitätsaktivierung beschreibt, wird die Adaptivitätsstrategie differenziert. Hierbei wird zwischen einer anatomischen, kontextbasierten und psychografischen Anpassung unterschieden. Diese Unterscheidung legt die Art und Weise, auf welche der User unterstützt werden soll, dar. Außerdem kann die Umsetzung der Adaptivität in der MMS zwischen überwiegend hardwarebasierten Lösungen und überwiegend softwarebasier-

ten Lösungen unterschieden werden. Grundsätzlich ist in nahezu allen Lösungsprinzipien sowohl Software als auch Hardware involviert. Jedoch kann in diesem Zusammenhang bei adaptiven GUIs von überwiegend softwarebasierten Lösungen gesprochen werden, wenn die Hardware keinerlei Adaptivität liefert und dafür die Software zuständig ist. Umgekehrt werden Lösungen als überwiegend hardwarebasierte Lösungen bezeichnet, die zwar durch Software angesteuert werden, jedoch die Veränderlichkeit der Hardware für die Adaptivität, die für den User zur Verfügung steht, verantwortlich ist. [REICHELT ET AL. 2021, S. 802 f.]

Bei den überwiegend hardwarebasierten Lösungen kommen unterschiedliche Materialien, Techniken und Technologien zum Einsatz. Einige Techniken werden über mechanische Ansätze, die über formveränderliche Stellteile Adaptivität generieren, umgesetzt. Außerdem kann über den Einsatz sich adaptiv verhaltender Materialien Adaptivität generiert werden. Nach HEIN ET AL. [2018, S. 5] können mit unterschiedlichen Materialien wie beispielsweise Formgedächtnislegierungen oder piezoelektrischen Effekten haptische Interfaces generiert werden, welche eine Adaptivität aufweisen.

Adaptive Interfaces können mit Hilfe unterschiedlicher Technologien realisiert werden. Beispielsweise können Ultraschallwellen virtuelle Hautberührungen hervorrufen und somit eine Bedienung möglich machen, die über Softwareprogrammierung adaptiv anpassbar ist [ULTRALEAP 2021a].

Eine andere Technologie ist die Verwendung von magnetorheologischer Flüssigkeit. Über die Veränderung des Flüssigkeitszustands kann das Interface dem User unterschiedliches haptisches Feedback geben. Diese adaptive und flexible Möglichkeit der Anpassung wird genutzt, um mit Hilfe einer Softwareschnittstelle vielfältige Feedbackmuster zur Verfügung zu stellen und somit den User in der Bedienung optimal zu unterstützen. [XEELTECH 2021]

Überwiegend softwarebasierte Lösungen werden größtenteils mit Hilfe von GUIs umgesetzt, die auf Touchscreens als Hardwarekomponente Zugang zum User finden. Das GUI kann auf unterschiedliche Art und Weise Adaptivität zur Verfügung stellen.

Die wesentliche Charakteristik der Adaptivität kann einerseits mit einer Systeminitiierung bzw. Userinitiierung beschrieben werden. Zusätzlich ist entscheidend, auf welche Parameter sich das Interface anpasst. Eine auf die Anatomie abzielende Strategie berücksichtigt die anatomischen, physischen und ergonomischen Gesichtspunkte. Unter eine kontextbasierte Strategie fallen unterschiedliche Bedienszenarien, Arbeitsaufgaben, statische oder dynamische Arbeitsumgebungen, klimatische Bedingungen sowie die Umgebungslautstärke. Anpassungen hinsichtlich psychografischer Merkmale des Nutzers bilden eine dritte Kategorie. Hierunter fallen persönliche Präferenzen. Zusätz-

lich sind Informationen bzgl. des Users und dessen Expertise als Adaptivitätsstrategie in die Interfacegestaltung mit einzubeziehen. Die Erfahrung und Fähigkeiten des Users mit dem Interface und dem technischen System sind relevant. Als fünfte Einflussgröße ist die Aktualisierbarkeit und Updatefähigkeit des Interfaces zu nennen. Diese Anpassung hängt nicht zwingend vom User ab, sondern gibt dem Hersteller die Möglichkeit Korrekturen und zeitlich anfallende Updates in das Interface zu implementieren.

2.8 Konsum- und Investitionsgüter

Im Kontext der Interfacegestaltung existieren zwei wesentliche Unterschiede zwischen Konsum- und Investitionsgütern. Zum einen unterscheidet sich die Produktlebensdauer. Prinzipiell können Investitionsgüter teilweise mehrere Jahrzehnte eingesetzt werden, wohingegen Konsumgüter teilweise eine Lebensdauer von unter einem Jahr aufweisen. Der zweite Unterschied liegt in den verschiedenen Benutzergruppen, welche die Produkte bedienen. Die Bedienung von Investitionsgütern wird hier überwiegend hochqualifiziertem Personal zugeschrieben, während Konsumgüter von ‚jedermann‘ bedient werden können. [SCHMID & MAIER 2017, S. 27 f.]

Hier ist zumindest im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen, welcher zu den Investitionsgütern zu zählen ist, eine Besonderheit zu beobachten. Durch den ansteigenden Einsatz von saisonalen Leiharbeitern erweitert sich die Usergruppe dieser Maschinen. Zusätzlich zu hochqualifiziertem Personal muss die Usergruppe, welche die Funktionsweise und die Bedienung der mobilen Arbeitsmaschine grundsätzlich verinnerlicht hat, jedoch weder Erfahrung noch Routine vorweisen kann, mit einbezogen werden. Dies stellt eine spezielle Herausforderung bei der Gestaltung des Interfaces von mobilen Maschinen dar, da die Bandbreite der User von erfahren und qualifiziert bis unerfahren und unqualifiziert geht.

Der Begriff der mobilen Maschine bzw. mobilen Arbeitsmaschine wird in der Literatur häufig definiert. Eine einheitliche Definition konnte sich bislang nicht durchsetzen. Vielmehr wird von einigen Autoren jeweils eine spezifische Definition festgelegt, was dazu führt, dass eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen existiert. MARTINUS [2004, S. 6] definiert drei Kriterien, welche mobile Arbeitsmaschinen erfüllen: Der Arbeitsprozess und dessen Erfüllung steht im Vordergrund, eine eigenständige Fortbewegung muss gegeben sein und diese muss ungebunden an festgelegte Bahnen oder Schienen sein.

Mobile Arbeitsmaschinen sind Maschinen, die Belastungsprofile aufweisen, welche für sämtliche vorgesehenen Einsatzzwecke geeignet sind. Diese besitzen signifikante Energieanteile in Arbeits- und Fahrtrieb. Zusätzlich ist die Voraussetzung für mobile

Arbeitsmaschinen das Ausführen und die Existenz eines Fahr- und Arbeitsantriebs. Eine Energiequelle mit beschränkter Kapazität muss in der mobilen Arbeitsmaschine integriert sein. [KAUTZMANN 2013, S. 6 f.]

Die vorigen Definitionen werden von GEIMER & POHLANDT [2014, S. 1-5 f.] nachfolgend zusammengefasst. Mobile Arbeitsmaschinen dienen dem Zweck einen Arbeitsprozess zu verrichten. Die Maschine besitzt einen Arbeits- und Fahrtrieb, welche beide über signifikante Energieanteile verfügen. Beispiele für mobile Arbeitsmaschinen sind Landmaschinen (z. B. Traktoren), Forstmaschinen (z. B. Holzernter), Baumaschinen (z. B. Bagger), Kommunalmaschinen (z. B. Müllsammelfahrzeuge), Hebe- und Fördermaschinen (z. B. Stapler) und Sondermaschinen (z. B. Pistenraupen).

Landmaschinen werden im Kontext der Informationstechnik für die Einsatzgebiete Maschinenfunktionsüberwachung, Userunterstützung bei der Maschineneinstellung und bei der Automatisierung von Funktionen, sowohl von maschineninternen als auch maschinenübergreifenden Funktionen, eingesetzt [BÖTTINGER 2010, S. 31].

Mobile Maschinen sind äußerst variabel in ihren Anwendungsgebieten und sind in der Lage eine Vielzahl an Funktionen auszuführen. In mobilen Maschinen ist es üblich verschiedene Zusatzmaschinen, sogenannte Arbeitsgeräte, mit der Hauptmaschine zu verbinden, um spezifische Bedienszenarien auszuführen. Hierbei ändern sich auch die Anforderungen an das Interface. Die Erkenntnis über die Notwendigkeit von sich anpassenden, adaptiven Interfacesystemen wird dadurch deutlich, dass der Stand der Technik und Forschung im Bereich von realen Interfaces überwiegend statische Interfacesysteme beinhaltet. Die Erkenntnis daraus ist die Existenz einer dynamischen Änderung der Wirkteile, welche statischen Stellteilen gegenüberstehen, woraus eine Diskrepanz resultiert.

Die für diese Arbeit geltende Definition mobiler Maschinen ergänzt die existierenden Kernaspekte der notwendigen Verrichtung von Arbeitsprozessen und die Existenz von Fahr- und Arbeitsantrieb mit dem Zu- und Abschalten des Arbeitsgeräts bzw. der Möglichkeit das Arbeitsgerät zu wechseln. Diese Veränderlichkeit der Funktionalität der mobilen Arbeitsmaschine von einer reinen Fahrt zu einer Fahrt mit Verrichtung eines Arbeitsprozesses mit Hilfe eines angekoppelten Arbeitsgeräts bis hin zu einem Wechsel des Arbeitsgeräts, ist im Zusammenhang dieser Arbeit der Kern der Charakteristik der mobilen Arbeitsmaschine. Da für den User durch den Wechsel des Arbeitsgeräts bzw. sich oftmals ändernde Bedienszenarien, verändernde Bedienfunktionen zu bewältigen sind, ist ein sich adaptiv verhaltendes Interface eine Lösung den User bestmöglich zu unterstützen.

2.9 Definition und Abgrenzung Methode und Methodik

Die Begriffe Methode und Methodik gilt es im Zusammenhang dieser Arbeit grundsätzlich zu unterscheiden.

Eine Methode (engl.: method) wird als planmäßige Vorgehensweise beschrieben, welche verfolgt wird, um ein konkretes Ziel zu erreichen. Hierbei wird eine spezifische Art und Weise verstanden, nach der gehandelt wird. [SCHLLING 2020, S.133 f.]

Dementgegen steht die Methodik (engl.: methodology), die eine Kombination diverser Einzelmethoden beschreibt [LINDEMANN 2005, S 48]. Diese Kombination an Einzelmethoden bzw. Vorgehensplänen wird angewandt, um eine einheitliche Zielsetzung zu erreichen [PONN & LINDEMANN 2011, S. 443].

Die Methodik verfolgt das Ziel der Aufgaben- bzw. Problemlösung und setzt hier gezielt Methoden, Hilfsmittel und Werkzeuge ein. Zum Einsatz kommen Methodiken sowohl in der Durchführung als auch in der Planung von Prozessen. [KELLER & BINZ 2010]

2.10 Produktentwicklungsprozess und die frühe Phase

Der Produktentwicklungsprozess (PEP) kann als Kombination aus der Problemlösung, der Informationsverarbeitung und Iteration beschrieben werden. Grundsätzlich werden dabei neue Lösungen generiert [GERICKE ET AL. 2021, S. 27]. Um ein technisches Produkt zu entwickeln haben sich die vier Phasen ‚Planen‘, ‚Konzipieren‘, ‚Entwerfen‘ und ‚Ausarbeiten‘ etabliert und dieser standardisierte Prozess gilt als allgemein anerkannt [HAHN 2017, S. 7 f.]. Er wird für sämtliche Entwicklungs- und Entstehungsprozesse technischer Produkte und Systeme angewandt [VDI 2221-1 2019, S. 3].

Um Lösungsprinzipien in einem bestimmten PEP zu finden, bedarf es einer strukturierten Vorgehensweise. Sobald Funktionen und Funktionsstrukturen identifiziert sind, stellt sich die grundsätzliche Herausforderung eine prinzipielle Lösung zu finden. Diese ist zwingend notwendig, um technische Produkte zu realisieren. [VDI 2222 1997, S.5]

Die frühe Phase ist dem formalen und strukturierten Produktentwicklungsprozess vorge-lagert, wobei dieser Phase alle Aktivitäten vor dem PEP zugerechnet werden [KOEN ET AL. 2001]. Die frühe Phase steht dem PEP mit einer unstrukturierten Charakteristik gegenüber. Daraus resultiert die oftmals verwendete Bezeichnung des ‚Fuzzy Front End‘ [KHURANA & ROSENTHAL 1993].

Die frühe Phase der Produktentwicklung beinhaltet die Erzeugung, Auswahl und Detail-lierung von Produktideen. Außerdem werden Entwicklungsprojekte definiert, indem Produktkonzepte erarbeitet und bewertet werden. Hierbei ist ein hohes Maß an Kreativität erforderlich, wobei der Unsicherheitsfaktor zeitgleich sehr hoch ist. Verglichen mit

weiter fortgeschrittenen Phasen im Produktentwicklungsprozess ist es für die frühe Phase charakteristisch, dass die Prozesse wenig Struktur aufweisen. [JETTER 2005, S. 3]

Die Hauptaktivitäten werden von JETTER [2005, S. 58] aus unterschiedlichen Literaturquellen zusammengetragen und ergeben einen einheitlichen Konsens. Die Ideengenerierung, Produktdefinition, Projektevaluation, Voruntersuchungen, detaillierte Untersuchungen, Auslöser für neue Produkte, Durchführbarkeitsuntersuchungen, Ideenbewertung, Konzepterarbeitung und die Produktplanung sind die Hauptaktivitäten der frühen Phase der Produktentwicklung.

PREIM & DACHSELT [2015, S. 45] stellen die Notwendigkeit unterschiedlicher Analysen in der frühen Phase im Entwicklungsprozess interaktiver Systeme in den Fokus. Hierunter fallen umfangreiche Analysen zu bewältigender Aufgaben, eine Nutzeranalyse und Kontextanalysen.

Die Herausforderungen der frühen Phase sind nach REINEMANN [2020, S. 68] zum einen Unsicherheiten, die aus unbekanntem Anwender- und Kundenanforderungen resultieren. Zum anderen ergeben sich aus einer Vielzahl dynamischer Abhängigkeiten komplexe Entwicklungssituationen.

Das Ziel der frühen Phase der Produktgenerationenentwicklung ist es, bewertete Produktspezifikationen mit ausreichenden Differenzierungsmerkmalen zu generieren, die bei kalkulierbarem Entwicklungsrisiko einen Produkterfolg in Aussicht stellen [ALBERS ET AL. 2017].

Mehrere Studien bestätigen die These, dass die frühe Phase des PEP direkte und indirekte Auswirkungen auf den Projekterfolg haben [VERWORN 2017, S. 358].

2.11 Wissensgenerierung

Befragungen und explizit Delphi-Befragungen sind Interaktionsprozesse, die dem Zweck der Wissensgenerierung dienen [HÄDER 2014, S.97]. Mit Hilfe von Fragebogen ist es möglich eine große Personengruppe zu untersuchen. Eine zahlenmäßige Repräsentation gewisser Merkmalsausprägungen lässt statistische Vergleiche zu [KALLUS 2016, S. 133]. Vorteil eines Fragebogens ist die schnelle und teils automatisierte Auswertung in Kombination mit einer geringen Hemmschwelle der Testpersonen [ZÜHLKE 2012, S. 114]. Nachteil ist die Gefahr, dass die Formulierung von Fragen missverständlich sein kann und somit Ergebnisse verfälscht [ebd.]. Besteht die Notwendigkeit Analysen zu komplexen Zusammenhängen zu generieren, eignen sich im Regelfall Interviews besser [KALLUS 2016, S. 133]. Mit Hilfe von Interviews können Daten erhoben werden,

welche komplexere und tiefer greifende Informationen beinhalten, als es bei Fragebögen der Fall ist [ebd.].

2.11.1 Fragebogen

Als eines der wichtigsten methodischen Hilfsmittel beschreibt GERICKE ET AL. [2021, S.50] das ‚Frage stellen‘. Die Methode des gezielten Fragens regt die Intuition und Denkprozesse an. Zusätzlich fördern Fragen bzw. Fragebogen das diskursive Vorgehen. [ebd.]

Um verschiedene Merkmale und Phänomene in Fragebogen zu erheben, werden Ratingskalen verwendet. Diese können unterschiedliche Bewertungsausprägungen wie die Häufigkeit, die Zustimmung oder die Intensität beinhalten. Die Ratingskala stellt eine Anzahl an Antwortkategorien bereit [MENOLD & BOGNER 2015, S. 1 f.]. Die Likert-Skala wird als eine der meist verwendeten psychometrischen Instrumente eingesetzt [JOSHI ET AL. 2015, S. 396]. Hierbei wird, für jedes zur Verfügung gestellte Item, vom bewertenden Kollektiv eine zustimmende oder ablehnende Äußerung dokumentiert. Jedem Item wird eine Punktzahl zugeordnet, welche in Summe eine individuelle Punktzahl ergibt [SINGH 2006, S. 208]. Es existieren unterschiedliche Praktiken, wobei die gängigste Anzahl an Antwortkategorien bei fünf oder sieben liegt [MENOLD & BOGNER 2015, S. 1 f.]. Zwischen diesen beiden Vorgehensweisen kann differenziert werden. Im Fall einer beaufsichtigten Umfrage bzw. einem Interview ist eine 5-stufige Likert-Skala einzusetzen [CHEN ET AL. 2015, S. 78]. Die 7-stufige Likert-Skala kommt nach FINSTAD [2010, S. 104] idealerweise dann zum Einsatz, wenn es sich um eine nicht beaufsichtigte Umfrage handelt.

Die Verbalisierung der Antwortskalen ist in unterschiedliche Dimensionen wie die Intensität, Häufigkeit oder die Bewertung von Aussagen eingeteilt. Beispielweise wird die Intensität bei einer 5-stufigen Skala aufsteigend mit ‚nicht‘, ‚wenig‘, ‚mittelmäßig‘, ‚ziemlich‘ und ‚sehr‘ beschrieben. [ROHRMANN 1978]

2.11.2 Experteninterviews

Das Experteninterview liefert in frühen Projektphasen, die sich durch wenig Struktur und geringe Informationsvernetzung auszeichnet, eine sehr dichte Datengenerierung im Vergleich zu anderen, deutlich aufwendigeren, methodischen Vorgehensweisen wie Beobachtungen, Feldstudien oder quantitativen Untersuchungen [BOGNER & MENZ 2002, S. 7]. Experteninterviews gelten als Form der qualitativen, empirischen Forschungsmethode und generieren zusätzlich zu theoretischem Expertenwissen auch praktisches Erfahrungswissen, welches von essentieller Bedeutung ist [FLEMISCH & KRAMMER 2021, S. 36].

Experte leitet sich von dem lateinischen Begriff ‚expertus: erprobt, bewährt‘ ab. Dieser kommt wiederum von dem Verb ‚experiri‘ was mit prüfen bzw. ausprobieren übersetzt wird. Verschiedene Lexika umschreiben Experten als Sachverständige, Kenner oder Fachleute. Diese Gruppierung wird als sachkundig beschrieben und verfügt über Spezialwissen. [BOGNER ET AL. 2014, S. 9]

Experten sind Personen mit besonders fundierter Fachkenntnis in Theorie und Praxis. Zusätzlich besitzen Experten in ihren Fachbereichen eine spezielle Wahrnehmung und einen spezifischen Informationsvorrat. Diese Eigenschaften ermöglichen es Experten unvollständige oder fehlende Informationen zu rekonstruieren oder herzuleiten. [HÄDER 2014, S. 57]

In SKULMOSKI [2007, S. 10] werden vier Anforderungskriterien an die Experten definiert.

- Wissen und Erfahrung bezüglich der zu untersuchenden Thematik,
- Fähigkeit und Bereitschaft zur Teilnahme,
- genügend Zeit zur Teilnahme,
- effektive Kommunikationsfähigkeiten.

Als Experte oder Expertin können nach MEUSER & NAGEL [2002, S. 73] sämtliche Personen interviewt werden, die Verantwortung über eine Problemlösung hinsichtlich Entwurf, Implementierung oder Kontrolle tragen. Zusätzlich kommen Personen in Frage, die einen privilegierten Informationszugang über Entscheidungsprozesse oder Personengruppen haben.

2.11.3 Delphi-Methode

Die Delphi-Methode wird u. a. in der Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Technologievorausschau erfolgreich eingesetzt [HÄDER 2014, S. 243 ff.]. Bei der Delphi-Methode handelt es sich um eine effiziente und effektive Gruppenkommunikation zwischen einer Auswahl an geografisch verteilten Experten [AICHHOLZER 2002, S. 4].

Diese erhalten die Möglichkeit sich systematisch mit komplexen Problemen und komplexen Aufgaben auseinanderzusetzen. Die Methode besteht aus einer Reihe von Fragebögen, die einer vorausgewählten Expertengruppe zugänglich gemacht werden. Die Konzeption der Befragung zielt auf die Entwicklung von individuellen Antworten und Lösungsvorschlägen aufgeworfener Probleme ab. Zusätzlich haben die Experten im Laufe der Bearbeitung die Möglichkeit ihre Antworten zu verfeinern und den Input anderer Experten zu nutzen, um die eigene Antwort zu überdenken und gegebenenfalls zu modifizieren. [ADLER & ZIGLIO 1996, S. 9]

Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg der Delphi-Methode ist ein breiter Erfahrungsschatz der Experten, in dem zu untersuchenden Themengebiet. Zusätzlich sollte das

Perspektiven- und Meinungsspektrum möglichst groß sein. Da es sich um eine mehrstufige Befragung handelt, ist es elementar, dass die Experten die Bereitschaft mitbringen, alle erforderlichen Befragungsstufen zu durchlaufen. [BURKARD & SCHECKER 2014, S. 160]

Um die Ergebnisse der ersten Befragung von Experten zu einer Gruppenaussage umzuformen, bedarf es einer zweiten Befragungsrunde, in welcher jedem Experten sowohl die eigenen Ergebnisse aus der ersten Runde als auch die Ergebnisse der anderen befragten Experten vorgelegt werden. Durch die zweite Befragungsrunde erhält das Gruppenergebnis eine höhere Qualität, da jeder einzelne Experte zusätzlich zu den eigenen Ergebnissen, die des gesamten Delphi-Panels vorgelegt bekommt. Zum einen werden diese Ergebnisse für die erneute Befragung zur Verfügung gestellt und zum anderen besteht die Möglichkeit der Korrektur oder Überarbeitung der eigenen Aussagen. [DÖRING & BORTZ 2016, S. 420 f.]

Nach ROWE & WRIGHT [1999, S. 354] gelten folgende vier elementare Grundregeln:

- Anonymität,
- Iteration,
- kontrolliertes Feedback,
- Auswertung einer Gruppenaussage.

Hieraus resultiert eine Debatte, die zum einen räumlich getrennt durchgeführt werden kann und zum anderen psychologischen Störgrößen wie Status, Gruppenzwänge, Rhetorik etc. keinerlei Einfluss gewähren. Die Nutzung des erfassten Erfahrungswissens von Experten und Expertinnen liefert dem Umfrageersteller visionäre Aussagen über Fragestellungen, welche bisher nur unvollständig und unsicher beantwortet werden konnten. [AICHHOLZER 2002, S. 4]

Die Zusammensetzung der Experten bei einer Delphi-Befragung folgt bestimmten Kriterien. Resultierend aus einer umfangreichen Literaturrecherche beschreibt HÄDER [2014, S. 100] nachfolgende Kriterien. Aus unterschiedlichen Hintergründen wie Hochschule, Industrie und öffentlichem Dienst sollte sich die Expertengruppe zusammensetzen. Verschiedene geografische Regionen sollten abgedeckt werden und das Expertenkollektiv sollte über eine unterschiedliche Ausprägung an Fachkenntnis verfügen. Es wird zusätzlich empfohlen, jedem Experten die Zusammensetzung und die vorhandene Expertise anderer Teilnehmer mitzuteilen. Dies dient dazu, dass sich jeder Experte sicher sein kann, dass die resultierenden Zwischenergebnisse und Endergebnisse von qualitativem Wert sind. [ebd.]

Für die Durchführung der Delphi-Methode muss die Anzahl der befragten Experten geklärt werden. In der Literatur wird dabei keine konkrete Anzahl definiert. HSU & SAND-

FORD [2007, S. 3], HÄDER [2014, S. 101] und AICHHOLZER [2002, S. 11] berufen sich auf unterschiedliche Quellen, welche die Anzahl der Experten in bestimmte Bereiche einteilen. Die gewöhnliche Größe der Expertengruppe liegt nach WITKIN & ALTSCHULD [1995, S. 195] bei unter 50 Personen. Nach DELBECQ ET AL. [1975, S. 89] ist bei einer homogenen Gruppe die Gruppengröße von zehn bis fünfzehn ausreichend. Weiter zitiert HÄDER [2014, S. 101] unterschiedliche Quellen, die von einem Minimum von sieben, einem Minimum von zehn Experten, einem Maximum von 25 Experten oder einem Maximum von 30 Experten sprechen.

In den unterschiedlichen Quellen lässt sich kein Konsens erkennen. HÄDER [2014, S. 101] vertritt die Meinung, dass bei qualitativ ausgerichteten Delphi-Befragungen eine große Anzahl an Experten nicht notwendig ist.

Ein großer Vorteil der Delphi-Methode ist die beliebige Adaptierbarkeit. Für spezielle Anwendungsszenarien lassen sich spezifizierte Varianten der klassischen Delphi-Methode kreieren. Für diese Basisvariante lässt sich ein Vorgehen mit folgenden Kernbausteinen bezeichnen: [HÄDER 2014, S. 24 ff.]

- Konkretisierung der Themenstellung für die Expertenbefragung,
- Ausarbeitung des Fragenkatalogs in standardisierter Form,
- Auswertung und Aufbereitung der Umfrageergebnisse,
- wiederholte Befragung auf Basis der aufbereiteten Umfrageergebnisse.

Sämtliche spezifizierte Varianten orientieren sich an der klassischen Variante und kombinieren die Kernbausteine anforderungsspezifisch. [ebd.]

Dem Moderator stehen sämtliche Ergebnisse der unterschiedlichen Stufen der Methodenerhebung zur Verfügung. Dies lässt Rückschlüsse auf die untersuchte Thematik zu.

2.12 Evaluation

Unter einer Evaluation wird im Allgemeinen das Ergebnis oder der grundsätzliche Vorgang einer Bewertung verstanden. Eine Bewertung ist im Grundsatz ein Vergleich zwischen dem Bewertungsprozess, -objekt oder -zustand und einer Referenzgröße in Form von Kriterien oder Standards. Diese Kriterien können vorgegeben sein oder während des Evaluationsprozesses entwickelt werden. [KARDOFF & SCHÖNBERGER 2010, S. 368]

Im Zusammenhang mit der Evaluation einer Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen werden drei unterschiedliche Evaluationsmethoden näher betrachtet. Hierunter fallen die formative, die empirische und die summative Evaluation. Die Unterscheidung der formativen und summativen Evaluation kann anhand eines Zitats von Bob Stake deutlich gemacht werden:

„When the cook tastes the soup, that’s formative, when the guest tastes the soup, that’s summative.“ [SCRIVEN 1991, S. 169]

In der Praxis einer nutzerzentrierten Entwicklung kommen oftmals sowohl formative als auch summative Evaluationsaspekte zum Einsatz [BUTZ & KRÜGER 2017, S. 138].

Die empirische Evaluation wird von Endnutzern durchgeführt, die den entstandenen Prototyp testen [ZÜHLKE 2012, S. 108]. Im Rahmen dieser Arbeit wird die empirische Evaluation in Form einer abgewandelten heuristischen Evaluation angewandt.

2.12.1 Formative Evaluation

Die formative Evaluation unterstützt den Produktentwickler während früher Entwicklungsphasen. Diese Unterstützung erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Produktanforderungen vollständig erfüllt werden können. Der Begriff formativ weist darauf hin, dass Informationen während der Entstehung des Produktes gesammelt werden, damit Überarbeitungen mit möglichst geringem Aufwand vorgenommen werden können. Von einer formativen Evaluation profitieren Produkte in unterschiedlichsten Branchen. [FLAGG 1990]

Die Evaluation erfolgt während des Entwicklungsprozesses [BROWN & GERHARDT 2002, S. 953]. Eine Evaluation kann als formativ bezeichnet werden, wenn die Absicht darin besteht, die Fokussierung zu schärfen und Verbesserungspotenziale aufzudecken [GEORGE & COWAN 2004, S. 1].

Die Umsetzung der formativen Evaluation kann nach GEIS [1987] mit Hilfe von unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden. Hierunter fallen die Selbstevaluation, die Expertenbewertung, Einzeltests, Gruppentests, Feldtests und erweiterte Tests.

2.12.2 Heuristische Evaluation

Bei der heuristischen Evaluation handelt es sich um eine Evaluationsmethode die ursprünglich aus dem Usability Engineering stammt. Sie verfolgt den Zweck, Defizite hinsichtlich der Usability in der Gestaltung von User-Interfaces (UI) aufzudecken. [NIELSEN & MOLICH 1990], [NIELSEN 1994], [NIELSEN 1995]

Nach NIELSEN [1995] kann aus Erfahrungswerten unterschiedlicher Projekte darauf geschlossen werden, dass verschiedene Personen unterschiedliche Defizite bezüglich der Usability aufdecken. Die Evaluation wird anhand von heuristischen Prinzipien durchgeführt und anhand dieser wird das zur Untersuchung stehende UI evaluiert [NIELSEN & MOLICH 1990]. Der Erfüllungsgrad der vorgegebenen heuristischen Checkliste wird von Experten generiert und kann nicht automatisiert erfolgen [GÓMEZ ET AL. 2014].

Die heuristische Evaluation konzentriert sich auf Systeme mit klar definierten Aufgaben und Zielen. Durch eine Anpassung der für die Evaluation relevanten Heuristiken kann die heuristische Evaluation projektspezifisch angepasst werden. [MANKOFF ET AL. 2003]

Die Evaluationsmethode analysiert Problematiken auch im Detail jedoch liegt der Fokus auf einer Beurteilung des Gesamteindrucks des Untersuchungsgegenstandes [PREIM & DACHSELT 2015, S. 155]. Wie in ALONSO-RÍOS ET AL. [2018] vorgestellt, wird die Anpassung und Kombination verschiedener Heuristiken in unterschiedlichen Ausprägungen bereits erfolgreich angewendet. Auch die Anwendbarkeit bezüglich diverser User-Interfaces in unterschiedlichen Branchen konnte von ALONSO-RÍOS ET AL. [2018] nachgewiesen werden.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass durch eine Modifikation der verwendeten Heuristiken die heuristische Evaluation eine breitere Anwendung zulässt, als ursprünglich vorgesehen. Mit einer entsprechenden Modifikation kann von einer Evaluation von User-Interfaces auf die Evaluation einer Methodik zur Entwicklung von Interfaces bzw. adaptiven Interfaces übergegangen werden.

2.12.3 Summative Evaluation

Die summative Evaluation wird nach Durchführung eines Programms, einer Methodik oder eines Prozesses durchgeführt. Die Evaluation kann sowohl von internen oder externen Evaluatoren als auch von einer Mischung aus beidem durchgeführt werden. [SCRIVEN 1991]

Diese erfolgt nach der Entwicklung. Es wird überprüft, ob das Entwicklungsergebnis für den weiteren Einsatz geeignet ist. Zusätzlich kann eine Überprüfung für breitere Einsatzgebiete stattfinden. [BROWN & GERHARDT 2002, S. 953]

Summative Evaluationen schließen den Entwicklungsprozess bewertend ab und fassen die Ergebnisse zusammen [BUTZ & KRÜGER 2017, S. 138]. Im Rahmen dieser Arbeit ist die summative Evaluation mit einer Erfolgsevaluation nach ROTH [2020, S. 65] zu vergleichen. Hierbei findet eine Untersuchung der Resultate hinsichtlich des Mehrwerts und Nutzens statt.

3 Stand der Technik und Forschung

Adaptive Interfaces finden in unterschiedlichen Branchen Anwendung. In Kapitel 3.1 werden die verschiedenen Forschungsprojekte dargestellt, die sich mit adaptiven Interfaces beschäftigen. Diese werden nach Entwicklungskontext in hochschulwissenschaftliche und industrielle Entwicklung unterteilt.

Zusätzlich werden Design- und Produktentwicklungsprozesse und -modelle in Kapitel 3.2 aufgelistet. Diese Liste gibt einen Überblick über die existierenden Modelle zur Entwicklung und Gestaltung von Produkten und Interfaces.

3.1 Forschungsprojekte zu adaptiven Interfaces

Nachfolgend werden Forschungsprojekte mit einem resultierenden adaptiven Interface aufgezeigt. Es werden, wie in Tabelle 3.2 dargestellt, unterschiedliche Projekte analysiert und hinsichtlich der Interfacetechnologie real oder virtuell, der Projektart, die in hochschulwissenschaftliche Entwicklung (Hw.E.) und industrielle Entwicklung (Ind.E.) eingeteilt ist und der Übertragbarkeit der Methodik, differenziert.

Der Zweck der Untersuchung von existierenden Ansätzen, Vorgehensweisen und Methoden zur Entwicklung von adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstellen ist es, eine mögliche Verwendbarkeit bzw. Übertragbarkeit dieser auf die Entwicklung von adaptiven Interfaces in mobilen Maschinen zu prüfen. Die Übertragbarkeit wird anhand einer 5-stufigen Ratingskala bewertet, welche in Tabelle 3.1 zu sehen ist.





keine Übertragbarkeit oder keine Informationen über Methodik	Grundgedanken relevant und potenziell verwendbar	Teilaspekte nach Überarbeitung übertragbar	Teilweise Übertragbarkeit vorhanden	Methodik ist übertragbar
				

Tabelle 3.1: Ratingskala zur Bewertung der Übertragbarkeit von methodischen Ansätzen

Die Ratingskala kommt sowohl in Tabelle 3.2 als auch Tabelle 3.3 zum Einsatz um Methodiken, Methoden, Prozesse und Modelle und deren Übertragbarkeit auf den in dieser Arbeit relevanten Anwendungskontext zu überprüfen. Hierbei handelt es sich um die Entwicklung adaptiver Interfacesysteme in mobilen Maschinen. Die Projekte aus industrieller Entwicklung sind hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit nicht überprüfbar, da keinerlei Informationen über die methodische Vorgehensweise bekannt sind.

		Jahr	real	virtuell	Projektart	Übertragbarkeit der Methodik	Quelle
1	HapKeys	2003	x		Hw. E.		[DOERRER 2003]
2	Haptic Chameleon	2004	x		Hw. E.		[MICHELITSCH ET AL. 2004]
3	Variables Bedienelement	2008	x		Hw. E.		[SENDER 2008]
4	Adaptiv multifunktionale Stellteile	2011	x		Hw. E.		[HAMPEL 2011]
5	Adaptiv variable Stellteile	2012	x		Hw. E.		[PETROV 2012]
6	Adaptive Benutzungsschnittstellen	2014		x	Hw. E.		[PEISSNER 2014]
7	Feldschwarm HMI	2017		x	Hw. E.	▀	[LORENZ ET AL. 2019]
8	Gestaltvariable Bedienelemente	2018	x		Hw. E.		[JANNY 2018]
9	Flexscape	2018	x	x	Ind. E.		[RAFI 2021]
10	Morphing Controls	2018	x		Ind. E.		[ABEL 2019]
11	Silikonaktor	2019	x		Ind. E.		[SATECOGROUP 2021]
12	Haptische Informationsübertragung	2019	x		Hw. E.		[WINTERHOLLER 2019]
13	Intelligente Oberflächen	2019		x	Ind. E.		[BLOMEYER & SCHULTE-G. 2019]
14	Adaptiver Handgriff	2019	x		Hw. E.	▀	[LAßMANN ET AL. 2019]
15	3D-Displays	2020		x	Ind. E.		[SCHÄFER 2020]
16	Dual Stack Rotary Control	2020	x		Ind. E.		[GHSP 2021]
17	aISA-Armrest 1.0	2020	x		Hw. E.	◐	[KAUFMANN ET AL. 2020]
18	Ultrahaptics	2021	x	x	Ind. E.		[ULTRALEAP 2021a]
19	Intuitives Fahrer-arbeitsplatzkonzept	2021	x	x	Ind. E.		[PREH 2021]
20	Fahrerkabine 4.0	2021	x	x	Hw. E.		[FAHRERKABINE 4.0 2021]

Tabelle 3.2: Auswahl an Forschungsarbeiten zu adaptiven Interfaces mit dem Fokus auf der Übertragbarkeit der jeweiligen Methodik in unterschiedlichen Entwicklungsprojekten

Die in Tabelle 3.2 aufgelisteten Projekte sind sowohl in der chronologischen Auflistung unterschiedlicher Forschungsprojekte in Bild 3.6 als auch im Anhang unter Tabelle A.1

in einer umfangreicheren Tabelle enthalten, welche weitere Projekte dieser Art beinhalten.

Aus der Analyse der in Tabelle 3.2 vorgestellten Forschungsarbeiten hinsichtlich der Übertragbarkeit der methodischen Vorgehensweise auf eine Entwicklung von adaptiven Interfaces im Kontext wechselnder Arbeitsgeräte in mobilen Maschinen geht hervor, dass hier keine der Methodiken vollständig passend ist. Die aufgezeigten Projekte werden im Folgenden hinsichtlich der Motivation und Umsetzung der Adaptivität vorgestellt.

3.1.1 Forschungsprojekte aus hochschulwissenschaftlicher Entwicklung

Bei der Entwicklung der 'HapKeys' wird in einer Analyse von Bediensystemen die fehlende haptische Rückmeldung als elementares Defizit identifiziert. Der Forschungsschwerpunkt basiert dementsprechend auf der haptischen Reizübermittlung über flexibel konfigurierbare Schaltelemente [DOERRER 2003, S. 3 f.]. Die wesentliche Innovation der entwickelten HapKeys ist zum einen die haptische Rückmeldung und zum anderen die variable Tastenkonfiguration. Diese Konfiguration wird über ein Bedienfeld mit 15 unabhängig voneinander auslenkbaren Einzelementen erreicht [DOERRER 2003, S. 133 f.]. In Bild 3.1 sind unterschiedliche Konfigurationen der HapKeys zu sehen. Hier wird deutlich, dass sich das Bediensystem auf unterschiedliche Arbeitsaufgaben adaptiv einstellen kann.

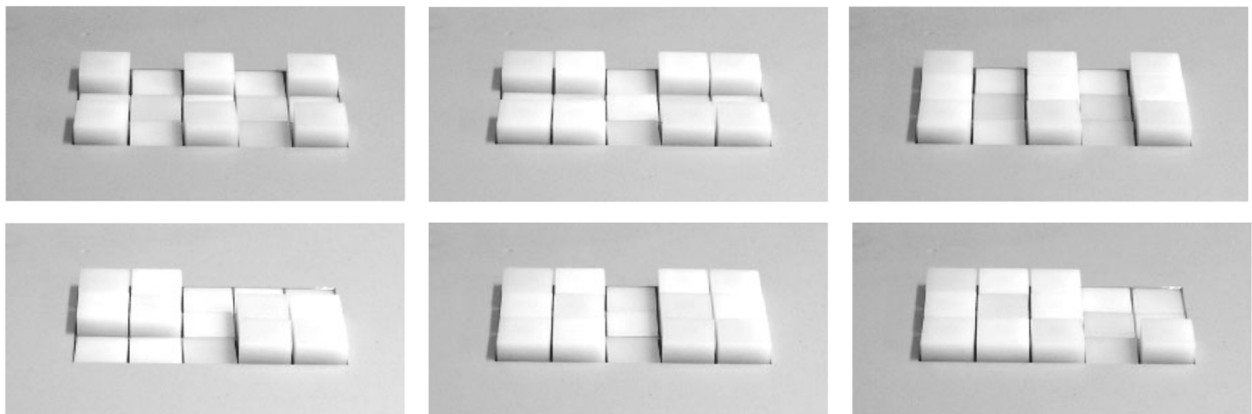


Bild 3.1: HapKeys [DOERRER 2003, S. 114]

Die haptische Rückmeldung wird über die Wahrnehmung der Tastenkanten, den unterschiedlichen Hub der jeweiligen Tasten und über die Betätigungskraft, die notwendig ist, um den Schalterpunkt der Tastenelemente herbeizuführen, erzeugt. [DOERRER 2003, S. 115]

Der Fokus bei der Entwicklung des 'Haptic Chameleons' liegt auf der Formveränderlichkeit von Bedienelementen, die durch die adaptive Anpassung unterschiedliche Informationen hinsichtlich der zu bedienenden Funktion übermitteln. Idealerweise dient das Be-

dienelement als haptische Anzeige, welche zusätzliche visuelle Anzeigen überflüssig macht. Der Grundgedanke der Entwicklung ist die Kombination aus den Merkmalen haptischer Bedienelemente und der Möglichkeit einer Form- und Oberflächenveränderlichkeit, die bei Berührung bzw. Bedienung wahrgenommen wird. [MICHELITSCH ET AL. 2004]

Das Forschungsprojekt zur Generierung eines variablen Bedienelements für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug nimmt seinen Ursprung in der steigenden Funktionsanzahl, die beispielsweise im PKW zu beobachten ist. Dies verursacht eine Notwendigkeit, neue Bedien- und Anzeigesysteme zu etablieren. Es konnte ein variables Bedienelement entwickelt werden, welches auf Basis einer elektromechanisch ausgelösten Adaptivität, die Form für die Bedienaufgaben Drehen und Schieben anpassen kann. [SENDER 2008]

Das Forschungsprojekt zu adaptiven multifunktionalen Stellteilen mit aktiver haptischer Rückmeldung beschäftigt sich ähnlich wie SENDER [2008] mit einem adaptiven Stellteil, welches die stetig steigende Funktionsanzahl beherrschbar macht. Der Grundgedanke ist ein Bedienelement zu entwerfen, welches viele verschiedene Bedienelemente ersetzen kann, welchen im Maßstab 1 : 1 Funktionen zugeordnet sind. Die Adaptivität wird hier über haptische Anzeigen realisiert, welche durch unterschiedlich starke Drehmomente zur Betätigung von Bedienelementen umgesetzt werden. [HAMPEL 2011]

Im Rahmen der Forschung zu ‚adaptiv variablen Stellteilen‘ werden Untersuchungen hinsichtlich der Formveränderlichkeit und geometrischer Abmessungen durchgeführt, welche nötig sind, um Formveränderungen wahrzunehmen. Die adaptive Anpassung erfolgt über mechanische Veränderlichkeit im Aufbau des Bedienelements. [PETROV 2012]

PEISSNER [2014, S. 17] beschäftigt sich mit der Gestaltung adaptiver Benutzungsschnittstellen. Ziel ist die individuell anpassbare Gestaltung der Informationsdarstellung und von Interaktionsmechanismen. Hierfür sind drei unterschiedliche Nutzungsszenarien ausschlaggebend. Besteht die Nutzergruppe des Bediensystems aus Anwendern mit differenzierten Anforderungen, ist ein adaptives Benutzungsschnittstellensystem von Vorteil. Verändern sich diese Anforderungen über die Nutzungsdauer oder existieren dynamische Nutzungsbedingungen, ist ein adaptives System hilfreich.

Der Fokus des Forschungsprojekts ‚gestaltvariable Bedienelemente‘ liegt auf der Überwindung der Nutzungsbarriere von physischen Bedienelementen bei der Anwendung durch ältere Nutzergruppen. Die Umsetzung erfolgt durch adaptive Bedienelemente. Diese Adaptivität wird über eine Gestaltvariabilität umgesetzt. [JANNY 2018]

Das Forschungsprojekt ‚Feldschwarm HMI‘ fokussiert die adaptive Anpassung des GUIs mobiler Arbeitsmaschinen, bei welchen der Anschluss oder die Veränderung des Arbeitsgeräts der Auslöser dieser Adaptivität ist. Situativ notwendige Funktionen können für den Nutzer explizit hervorgehoben werden. Fehlermeldungen und Schwierigkeiten können bei Auftreten angezeigt und deren Behebung erklärt werden, wobei zeitgleich für diese Situation unwichtige Funktionen ausgeblendet werden. Auf die Expertise des Users kann eingegangen werden, indem das Funktionsangebot dementsprechend zugeschnitten wird. [LORENZ ET AL. 2019]

Das Forschungsprojekt der ‚haptischen Informationsübertragung von Drehmomentverläufen im Kontext einer Haupt- und Nebenaufgabe‘ konzentriert sich auf die Problemstellung der hohen Anzahl an Bedienelementen und der damit verbundenen Funktionsvielfalt bei technischen Produkten, die zu der Gefahr der Überlastung der Wahrnehmung des Users führt. Dies gefährdet direkt die Bediensicherheit und somit auch die Sicherheit der Produktnutzung. Über adaptive Bedienelemente, die sich über eine haptische Rückmeldung an das jeweilige Bedienszenario anpassen, wird der Nutzer in diesem Forschungskontext unterstützt. [WINTERHOLLER 2019, S. 1]

Die Zielsetzung in der Forschungsarbeit ‚adaptiver Handgriff‘ ist es, einen Handgriff zu entwickeln, der sich adaptiv auf die unterschiedlichen Abmessungen der Hände der Nutzer anpasst. Um eine maximale Kontaktfläche und minimale Flächenpressung unterschiedlichen Nutzern zur Verfügung zu stellen, wird eine anthropomorphe Gegenform entworfen, die sich der Topografie des jeweiligen Nutzers anpasst. [LABMANN ET AL. 2019]

Der Fokus des Forschungsprojekts ‚aISA - adaptive Interfacesysteme im Ackerschlepper‘ ist es, unterschiedliche Bedienszenarien mit einem adaptiven Bediensystem bestmöglich bedienbar zu machen. Die Bedienszenarien sind in dem konkreten Anwendungsbeispiel Arbeitsgeräte eines Ackerschleppers beschrieben. Über unterschiedliche Adaptivitätsmerkmale wie die Verfügbarkeit kann Adaptivität realisiert werden. Bild 3.2 zeigt einen Joystick, der vier verschiedene Positionen einnehmen kann. [KAUFMANN ET AL. 2020]

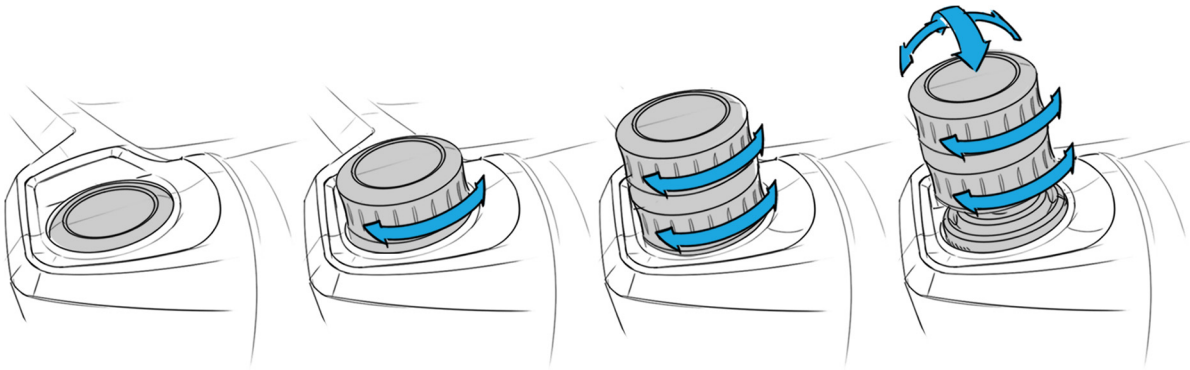


Bild 3.2: Adaptivitätsmerkmal der Verfügbarkeit am Beispiel eines Joysticks in vier verschiedenen Positionierungen in Anlehnung an KAUFMANN ET AL. [2019]

Das Adaptivitätsmerkmal der Anordnung, der Grafik und der Farbe wird genauso wie das Merkmal des Betriebsmodus in Bild 3.3 visualisiert.

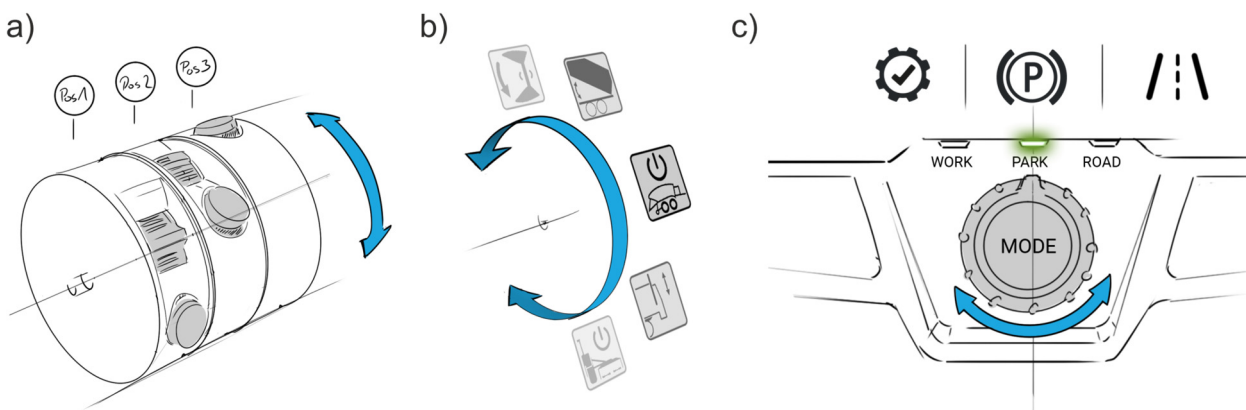


Bild 3.3: a) Adaptivitätsmerkmal der Anordnung in drei unterschiedlichen Ausprägungen am Beispiel von Bedienelementen die auf einer Walze positioniert sind, b) Adaptivitätsmerkmal Grafik und Farbe anhand wechselnder Piktogramme, c) Adaptivitätsmerkmal Betriebsmodus [KAUFMANN ET AL. 2019]

Die Änderung des Betriebsmodus und die damit verbundene De- und Aktivierung kompletter Funktionsgruppen je nach Bedienszenario, wird durch das Adaptivitätsmerkmal ‚Betriebsmodus‘ realisiert. Das BE ist an sich nicht adaptiv, löst jedoch adaptive Merkmale bei Betätigung aus. Mit sämtlichen umgesetzten Adaptivitätsmerkmalen konnte ein Bediensystem entwickelt werden, welches sich adaptiv auf diverse Bedienszenarien anpasst. [KAUFMANN ET AL. 2019]

Das Projekt ‚Fahrerkabine 4.0‘ verfolgt die Zielsetzung, eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle zu entwickeln, welche das Beanspruchungslevel der jeweiligen User erfasst. Daraus können z. B. Rückschlüsse auf potentiell zu erledigende Nebentätigkeiten getroffen werden, welche in automatisierten Arbeitsaufgaben zusätzlich bear-

beitet werden können. Außerdem kann eine Überforderung durch zu viele und komplexe Arbeitsaufgaben ausgeschlossen werden. [FAHRERKABINE 4.0 2021]

In jeder dieser Forschungsarbeiten wird eine mehr oder weniger methodische und strukturierte Vorgehensweise zur Entwicklung von adaptiven Interfaces angewandt. Eine standardisierte Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfaces, die auf unterschiedliche Projekte, explizit auf Projekte zur Entwicklung adaptiver Interfaces in mobilen Maschinen, angewandt werden kann, ist nicht vorhanden. Die Vorgehensweisen lassen sich nicht auf den Kontext der im Fokus stehenden Vielzahl an wechselnden Arbeitsgeräten übertragen.

3.1.2 Forschungsprojekte aus industrieller Entwicklung

Mit der Entwicklung des Flexscapes stellt die Rafi GmbH & Co. KG ein Interface bestehend aus einem virtuellen Touchscreen und unterschiedlichen darauf aufgebrachten realen Bedienelementen zur Verfügung. Durch diese Kombination ist eine adaptive Anpassung an unterschiedlichste Anforderungen möglich. Sowohl userspezifische als auch bedienszenariospezifische Adaptivität wird ermöglicht. Eine Abbildung des Flexscapes ist in Bild 3.5 dargestellt. [RAFI 2021]

Eine Entwicklung der Continental AG sind die Morphing Controls, welche eine Annäherung der Hand des Users erkennen. Adaptiv erscheinen die Bedienelemente, die zuvor nicht verfügbar waren. Hierbei kann dem User die große Anzahl an Informationen punktuell zur Verfügung gestellt werden und somit situationsgerechte Userunterstützung gewährleistet werden. Zusätzlich wird dem User ein haptisches Feedback durch die ausfahrenden Taster gegeben. Nach der Bedienung sind die Taster nicht mehr verfügbar und erscheinen erneut, wenn eine weitere Bedienung bzw. eine Annäherung der Hand erfolgt. Die adaptiven Taster sind hinter einer Oberfläche verborgen und reduzieren die Informationsmenge, die dem User zur Verfügung gestellt wird und vermitteln eine aufgeräumte Optik des Interfaces. Die Morphing Controls sind in Bild 3.4 abgebildet. [SCHLOTT 2019], [ABEL 2019, S. 72 f.]

Die Sateco AG arbeitet an Silikonaktoren, die über elektrostatische Anziehungskräfte Verformungen auslösen. Hochfrequente Spannungsvariationen bewirken in verwendeten Silikonaktoren haptisches Feedback, welches als adaptive Informationsübermittlungen genutzt werden kann. [SATECOGROUP 2021]

Bei der Verwendung von intelligenten Oberflächen werden dem User auf unterschiedliche Art und Weise sowohl Stellteile als auch Anzeigen interaktiv zugänglich gemacht. Dekorflächen können punktuell oder permanent als Stellteile oder Anzeigen genutzt werden. Hierbei entfällt die konventionelle Trennung zwischen zu bedienenden bzw.

anzeigenden Oberflächen und Dekorflächen. [BLOMEYER & SCHULTE-GEHRMANN 2019, S. 48 f.] Hierbei werden oftmals Beleuchtungen hinter unterschiedlichen Oberflächen wie z. B. Glas [EXLER 2017], Holz [WOODOO 2021] oder Stoffen [SCHAFMEISTER 2017] ein- bzw. ausgeschaltet, um situationsbedingte Adaptivität zu schaffen.

Die Continental AG hat ein serienreifes 3D-Display mit autostereoskopischer 3D-Technologie entwickelt. Für die Betrachtung des Bildschirms sind keine speziellen Brillen erforderlich. Schräge Parallaxenbarrieren teilen das Bild für den Betrachter auf und erzeugen so einen dreidimensionalen Eindruck von Ziffernblättern, Anzeigen und Objekten. Die Innenraumkamera erkennt die Blickrichtung des Fahrers und passt die 3D-Ansichten entsprechend der Kopfposition des Fahrers adaptiv an. Zusätzlich überwacht und steuert sie die Aufmerksamkeit des Fahrers. Bild 3.4 zeigt das 3D-Display. [SCHÄFER 2020], [Homann & Möller 2021, S. 38]



Bild 3.4: a) Continentials 3D-Display [SCHÄFER 2020], b) Morphing Controls [GELOVICZ 2018]

Im automobilen Kontext existiert ein Projekt der GHSP, Inc. mit zwei übereinander angeordneten Drehstellern, welche ‚Dual Stack Rotary Control‘ genannt werden. Der obere Drehsteller ist für die Gangwahl und der untere Drehsteller ist für die Infotainmentsteuerung verantwortlich. Bei einer automatisierten Fahrt verschwindet das obere Drehelement und steht dem User nicht mehr zur Verfügung. Hier passt sich das Interface adaptiv an das Bedienszenario an. [GHSP 2021]

Die Firma Ultraleap hat ein Bedienterminal entwickelt, welches kontaktlose Informationsübermittlung und Bedienung mit Hilfe von Ultraschall ermöglicht. Hierdurch ist ein adaptiver Informationsaustausch ohne optische Veränderungen möglich. Auch die Bedienmöglichkeiten können über die Sensibilität und Anordnung der Ultraschallsignale gesteuert und situationsbedingt angepasst werden. [ULTRALEAP 2021a]

Die Preh GmbH hat ein intuitives Fahrerarbeitsplatzkonzept entwickelt. Durch zwei auf einen virtuellen Touchscreen aufgesetzte reale Drehsteller können diese für unter-

schiedlichste Bedienszenarien genutzt werden. Das GUI kann sich an sämtliche User- und Bedienszenariocharakteristiken adaptiv anpassen. Eine Darstellung ist in Bild 3.5 zu sehen. [PREH 2021]



Bild 3.5: a) Preh intuitives Fahrerarbeitsplatzkonzept [PREH 2021] b) Rafi Flexscape [RAFI 2021]

3.1.3 Zeitliche Entwicklung von Projekten mit adaptivem Kontext

Bild 3.6 zeigt eine chronologisch angeordnete Projekt- bzw. Produktaufstellung. Es sind neben den in Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 vorgestellten Projekten, weitere Projekte bzw. Produkte mit adaptiven Merkmalen enthalten. Neben der chronologischen Anordnung werden die insgesamt 50 Projekte in Konsum- und Investitionsgüter, in einen Forschungs- oder Serienstatus und in reale und virtuelle Bedienung eingeteilt. Die chronologisch dichter werdende Ansammlung an Einträgen signalisiert eine Tendenz, welche ein ansteigendes Interesse an adaptiven Produkten bescheinigt. Dieses Interesse kann als Indiz für eine grundsätzliche Notwendigkeit einer Methode zur Entwicklung von adaptiven Produkten gesehen werden. Eine ausführlichere Übersicht aller in Bild 3.6 dargestellter Projekte ist im Anhang in Tabelle A.1 zu finden.

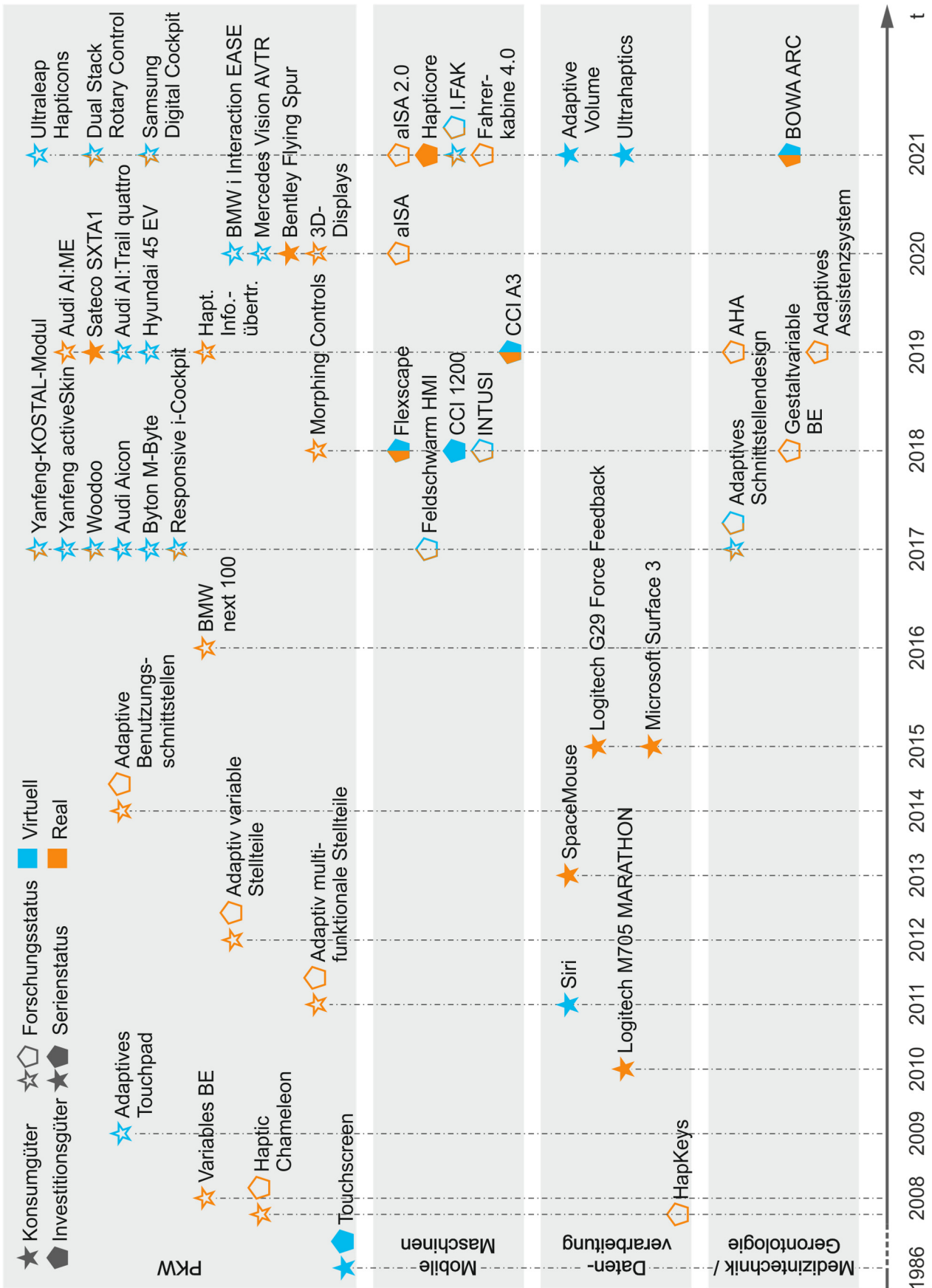


Bild 3.6: Chronologische Auflistung unterschiedlicher Forschungsprojekte mit adaptivem Kontext

3.2 Designprozesse und Produktentwicklungsmodelle

Grundsätzlich herrscht ein Zielkonflikt zwischen Ingenieuren und Designern, welcher auf unterschiedlichen Wertvorstellungen und Vorgehensweisen basiert [BEIER 2013, S. 1]. Ein Zusammenführen der unterschiedlichen Vorgehensweisen bzw. das Einbinden des Designprozesses in die konstruktive Produktentwicklung entschärft diesen Zielkonflikt wesentlich [MAIER 2006, S. 47 f.].

Seit dem Zeitpunkt, an dem das Ingenieurwesen und das Produktdesign akademisch behandelt werden, sind Modelle für Designprozesse entworfen und anschließend validiert worden. Grundsätzlich unterscheiden sich diese Modelle in der Fachrichtung der Entwerfenden und dem Abstraktionsgrad des Prozessmodells. Der Fokus, die Struktur, der Inhalt und der Grad der Illustration variieren. Die Designprozessphasen scheinen über die letzten Jahrzehnte im Kern unverändert und trotzdem gibt es stets Bemühungen den Prozess neu zu modellieren [BOBBE ET AL. 2016, S.1]. Tabelle 3.3 stellt eine Vielzahl elementarer Designprozesse und Modelle zur Produktentwicklung dar. Diese werden auf die Anwendbarkeit zur Entwicklung von adaptiven Interfaces mobiler Maschinen geprüft.

Einige der dargestellten Modelle sind sehr abstrakt gehalten und dementsprechend universal einsetzbar. Die Übertragbarkeit der Methodik bewertet die Anwendbarkeit des jeweiligen Modells hinsichtlich des Kontexts dieser Arbeit. Es wird die in Kapitel 3.1 vorgestellte Bewertungsskala verwendet. Es ist festzustellen, dass einige Modelle teilweise verwendet werden können. Jedoch ist auch erkennbar, dass aus der Literatur kein Modell hervorgeht, welches sich mit dem betrachteten Sachverhalt explizit beschäftigt, weshalb diesbezüglich eine Lücke besteht. Diese wissenschaftliche Lücke soll im Rahmen dieser Arbeit geschlossen werden, indem eine Methodik entwickelt und zur Verfügung gestellt wird, welche zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen mobiler Maschinen verwendet werden kann.


















		Jahr	real	virtuell	Übertragbarkeit der Methodik	Quelle
1	Star Life Cycle	1989		x		[HIX & HARTSON 1993]
2	Stage-Gate Systems	1990	x	x		[COOPER 1990]
3	Usability Engineering Lifecycle	1993	x			[NIELSEN 1993]
4	Allgemeines Modell der Produktentwicklung	1993	x			[VDI 2221-1 2019]
5	The basic design cycle	1995	x			[ROOZENBURG & EEKELS 1991]
6	Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien	1997	x			[VDI 2222 1997]
7	Contextual Design	1998		x		[BEYER & HOLTZBLATT 1998]
8	Usability Engineering Lifecycle	1999		x		[MAYHEW 1999]
9	Scenario-based Usability Engineering	2002		x		[ROSSON & CARROLL 2002]
10	Design Thinking	2003	x	x		[BROWN 2008]
11	V-Modell	2004	x			[VDI/VDE 2206 2021]
12	3-Zyklen-Modell der Produktentstehung	2004	x			[GAUSEMEIER & PLASS 2014]
13	Double Diamond Prozess	2005	x	x		[BRITISH DESIGN COUNCIL 2007]
14	Münchner Vorgehensmodell	2005	x			[LINDEMANN 2005]
15	Prozessmodell Usability Engineering	2011	x	x		[SAODNICK & BRAU 2011]
16	UX Lifecycle Template	2019		x		[HARTSON & PYLA 2019]
17	Ueware-Entwicklungsprozess	2012	x	x		[ZÜHLKE 2012]
18	Interaction Design Lifecycle	2015		x		[ROGERS ET AL. 2011]
19	iPem	2016	x	x		[ALBERS ET AL. 2017]
20	Methode für die Interfacegestaltung	2017	x	x		[SCHMID & MAIER 2017]
21	Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme	2020	x	x		[DIN EN ISO 9241-210]
22	Industriedesign - Nutzerzentrierte Gestaltung im PEP	2021	x			[VDI 2424 2021]

Tabelle 3.3: Auswahl an Methodiken, Prozessen und Modellen zur Produktentwicklung mit dem Fokus auf der Übertragbarkeit der jeweiligen Methodik auf die adaptive Interfaceentwicklung

4 Potenzialanalyse und Parametrisierung

Bevor es zu der Entwicklung einer Methodik zur Generierung von adaptiven Interfaces kommt, besteht die Notwendigkeit zu überprüfen, ob eine solche Methodik grundsätzlich Potenzial für die Verbesserung des Entwicklungsprozesses bietet und ob Bedarf an einer solchen Methodik besteht. Zusätzlich werden Parameter generiert, die Einfluss auf die Entwicklung haben und dementsprechend berücksichtigt werden müssen.

Ein Indikator für das Potenzial und den Bedarf stellt eine historische Betrachtung der Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen dar, wie bereits in Kapitel 3.1.3 dargestellt. Die stetig zunehmende Entwicklung adaptiver Systeme, sowohl in Forschungsarbeiten als auch in der Serienentwicklung, signalisiert den Bedarf und die Relevanz einer adaptiven Bedienung. Ergänzend werden Experteninterviews unter Anwendung der Delphi-Methode durchgeführt, welche die Expertise, Einschätzung und Erfahrungen von unterschiedlichen Experten aus verschiedenen Branchen und Zuständigkeitsbereichen bereitstellen.

Das Potenzial und der grundsätzliche Bedarf einer Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen wird im Folgenden nachgewiesen.

4.1 Potenzialanalyse anhand von Expertenwissen

Wie aus Kapitel 3 hervorgeht, existiert in der Literatur kein expliziter, allgemeingültiger, methodischer Ansatz, der eine adaptive Interfaceentwicklung in mobilen Maschinen ermöglicht. Diese Recherche wird mit Expertenwissen aus Industrie und Forschung ergänzt. Mit der Hilfe von Experten wird unter anderem überprüft, ob ein unveröffentlichter, methodischer Ansatz zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen in der wissenschaftlichen und industriellen Praxis zum Einsatz kommt oder ob ein solcher bekannt ist. Zusätzlich soll Expertise generiert werden, die mit in den Entwicklungsprozess einfließen kann, um eine umfassende Methodik von hoher Güte zu gewährleisten.

4.1.1 Methodische Entwicklung von Experteninterviews

Um Experteninterviews durchzuführen, bedarf es zunächst einer Definition von Experten, um passende Personen mit ausreichend fachlichem Wissen ausfindig zu machen. Die richtige Methodenauswahl ist wichtig, um möglichst konkrete und wissenschaftlich fundierte Ergebnisse zu erzielen. Dieser bestmöglich passende Methodenansatz wird anschließend auf die spezifischen Bedürfnisse angepasst. Nach der Datenerhebung gilt es, die Ergebnisse auszuwerten und diese in Anforderungen an die zu entwickelnde Methode umzuwandeln.

Die grundlegende Anforderung an die Methode zur Wissensgenerierung ist in erster Linie die Generierung von Expertenwissen und die Bewertung dieses Wissens. Grundsätzlich sind nur Fachexperten in der Lage, das geforderte Wissen und die notwendige Erfahrung bereitzustellen. Um ein möglichst breites Spektrum zu generieren und dieses entsprechend zuverlässig und qualitativ hochwertig zu bewerten, ist es notwendig, jedem Experten die Gesamtheit aller Ergebnisse in einer zweiten Befragung zur Verfügung zu stellen. Hierbei werden die Resultate anderer Experten geteilt, um eine umfassende Bewertung aller Ergebnisse zu generieren. Dieses zweistufige Prinzip ist eine essentielle Anforderung an die Methode. Die nachfolgenden vier Aspekte dienen als Anforderungen an die Durchführung der Experteninterviews:

1. Hohe Kompetenz des Expertenkollektivs in relevanten Fachbereichen ist zu gewährleisten.
2. Begleitung des ersten Interviews des jeweiligen Experten, da die Thematik sehr spezifisch ist und unterschiedliche Begrifflichkeiten klar und einheitlich definiert sein müssen, um valide Ergebnisse zu generieren und diese gleichförmig und sinngemäß auszuwerten.
3. Zweistufiger Aufbau, um die Ergebnisse der einzelnen Experten dem Kollektiv in einer zweiten Befragungsrunde zur Verfügung zu stellen und die Ergebnisse ganzheitlich vom Expertenkollektiv bewerten zu lassen.
4. Möglichkeit, die Ergebnisse der ersten Runde auszuwerten, zusammenzufassen, zu vereinheitlichen und zu clustern, um Sie in aufbereiteter Form in einer zweiten Runde wieder zur Verfügung zu stellen.

4.1.2 Expertendelphi

Durch die Entwicklung eines Expertendelphis wird sichergestellt, dass die erste Runde des Experteninterviews vom Autor begleitet wird und die Begriffserklärungen und Fragestellungen unterschiedslos jedem Experten nähergebracht werden. Dies ist Inhalt der zweiten Anforderung an die Expertenbefragung. Die dritte Anforderung an die Methode zur Wissensgenerierung ist der zweistufige Aufbau, um eine gesamtheitliche Bewertung aller in der ersten Stufe gesammelten Ergebnisse zu erhalten. Grundsätzlich ist diese Möglichkeit bei der Anwendung der Delphi-Methode vorhanden. Auf Grundlage dieser ersten Befragung bzw. dieser Ergebnisse kann ein durch Vereinheitlichungen, Zusammenfassungen, Clusterbildungen und Anpassungen in Begrifflichkeiten, zweiter Fragebogen entwickelt werden. Somit kann auch die vierte Anforderung aus Kapitel 4.1.1 erfüllt werden. Mit der Anwendung der angepassten Delphi-Methode können sämtliche Anforderungen an die Form der Wissensgenerierung erfüllt werden.

4.1.3 Forschungsfragen

Die in diesem Expertendelphi zu klärenden Forschungsfragen (FF) sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Die grundsätzliche Notwendigkeit der Expertenbefragung basiert auf der Unbestimmtheit dieser Forschungsfragen.

	Forschungsfragen	Antwort auf FF in:
FF 1.1	Existiert ein methodischer Ansatz zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen?	Befragungsrunde 1
FF 1.2	Wie groß ist der potenzielle Mehrwert einer Methode zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen?	Befragungsrunde 1
FF 2.1	Existiert ein methodischer Ansatz zur Kategorisierung von Bedienelementen hinsichtlich einer virtuellen oder realen Bedienung?	Befragungsrunde 1
FF 2.2	Wie groß ist der potenzielle Mehrwert einer Methode zur Kategorisierung von Bedienelementen hinsichtlich einer virtuellen oder realen Bedienung?	Befragungsrunde 1
FF 3.1	Was sind die Einflussparameter für die Entwicklung von adaptiven Bedienelementen bzw. adaptiven Interfacesystemen?	Befragungsrunde 1
FF 3.2	Wie sind die Einflussparameter aus FF 3.1 zu gewichten?	Befragungsrunde 2
FF 4.1	Was sind die Einflussparameter für die Kategorisierung von Bedienfunktion hinsichtlich einer virtuellen oder realen Bedienung?	Befragungsrunde 1
FF 4.2	Welche Parameter aus FF 4.1 signalisieren eine Tendenz für eine virtuelle und welche für eine reale Bedienung?	Befragungsrunde 2

Tabelle 4.1: Forschungsfragen der Experteninterviews

Die Forschungsfragen FF 1.1 bis FF 2.2 zielen auf die Existenz und das bestehende Potenzial, zum einen von einer Entwicklungsmethode für adaptive Interfacesysteme und zum anderen von einer Methode zur Kategorisierung von Bedienfunktionen in einerseits virtueller und andererseits realer Bedienung, ab. Die FF 3.1 bis 4.2 dienen der Generierung von Einflussparametern und deren Gewichtung bzw. deren tendenzielle Orientierung zu einer Interfacetechnologie. Die Forschungsfragen FF 1.1, FF 1.2, FF 2.1, FF 2.2, FF 3.1 und FF 4.1 werden in der ersten Befragungsrunde bzw. deren Auswertung beantwortet. Nach dieser Auswertung werden die aufbereiteten Ergebnisse für den Fragebogen der zweiten Befragungsrunde genutzt und mit Hilfe dieser die Forschungsfragen FF 3.2 und FF 4.2 beantwortet.

4.1.4 Experten

Im Rahmen der Experteninterviews wird zunächst eine umfangreiche Liste an Experten zusammengetragen, welche sich über unterschiedliche Branchen, Forschungsinstitute, Unternehmen und Fachbereiche erstreckt. Hierbei werden unterschiedliche Positionen wie u. a. Geschäftsführer, Entwickler und Forscher abgedeckt, um unterschiedliches Wissen und unterschiedliche Einschätzungen zu generieren. Dies ist eine Vorausset-

zung bevor der standardisierte bzw. teilstandardisierte Fragebogen entworfen werden kann. Die Interviews der ersten Befragungsrunde werden mit einer weiblichen Expertin und sechzehn männlichen Experten geführt. Die Befragten befinden sich zum Zeitpunkt der Interviews im Alter von 28 bis 59 Jahren, wobei der Durchschnitt 37 Jahre ist. Die Dauer der ersten Interviewrunde beträgt zwischen 40 und 115 Minuten und im Durchschnitt 68 Minuten. Um die in Kapitel 4.1.1 geforderte Anforderung der hohen Kompetenz der Experten zu garantieren, wird diese zu Beginn der ersten Interviewrunde abgefragt. Die Vorauswahl der Experten wird durch diese Abfrage bestätigt, wie in Tabelle 4.2 zu sehen ist.

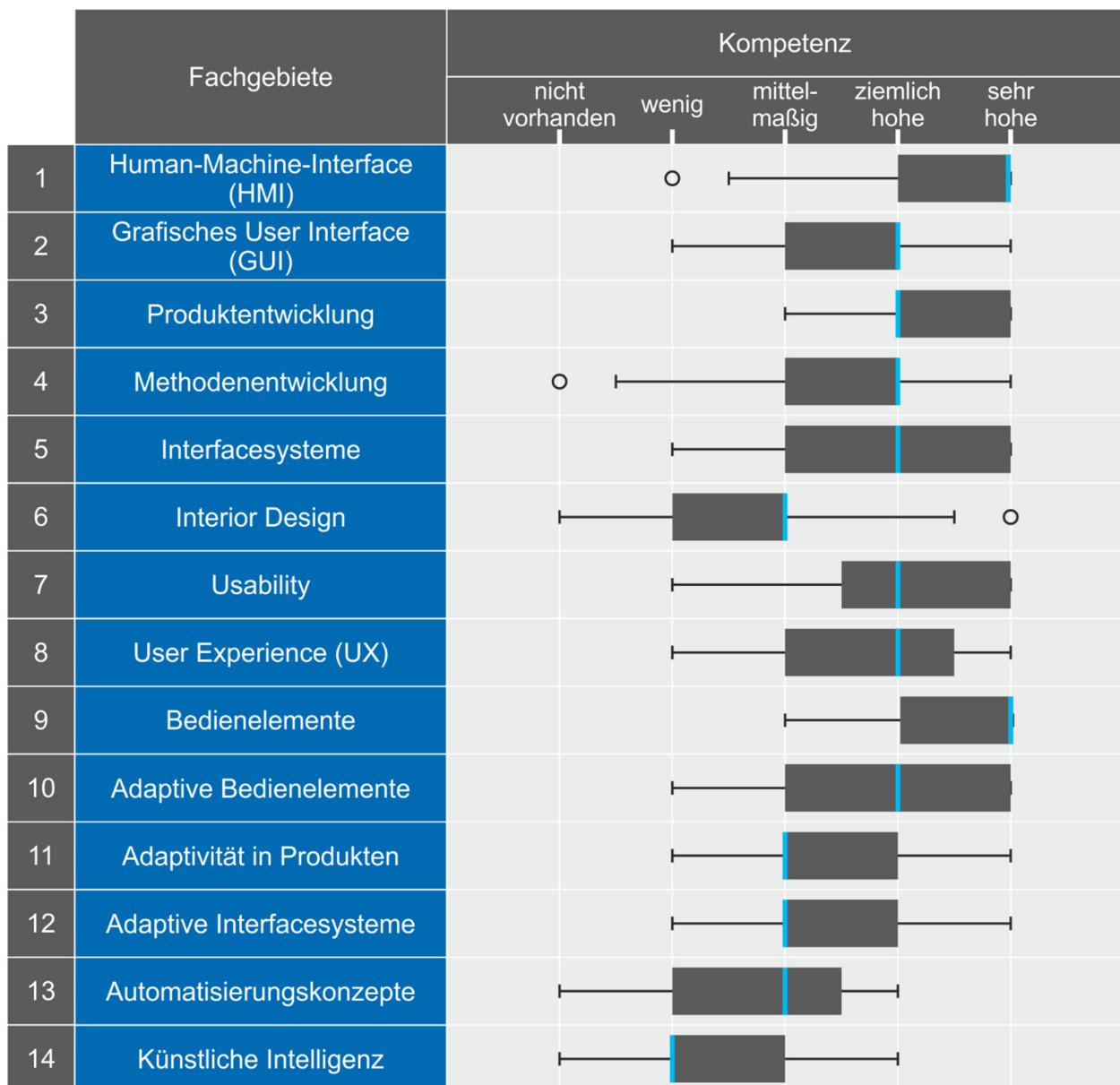


Tabelle 4.2: Durchschnittliche Kompetenzen der Expertengruppe in Anlehnung an [KAUFMANN & MAIER 2021]

Die 17 Experten sind in elf unterschiedlichen Branchen beschäftigt. Die am häufigsten vertretene Branche ist die der mobilen Arbeitsmaschinen, gefolgt von der Automobil- und Medizintechnikbranche. Jeder Experte ist einem anderen Unternehmen oder Institut zuzuordnen. Die Positionen der Experten in den Unternehmen und Instituten erstrecken sich von Geschäftsführern, über Abteilungs- und Projektleitern bis hin zu Forschern und Wissenschaftlern. Hier ist die durchschnittliche Einschätzung der 17 Experten zu ihrer eigenen Kompetenz in unterschiedlichen Fachbereichen aufgezeigt. Die dargestellte Expertise aller Experten basiert auf einer durchschnittlichen Berufserfahrung in den Kernkompetenzen im Bereich von 5-10 Jahren. Es wird eine etablierte 5-stufige Werteskala nach Likert angewendet. Die Abstufungen erstrecken sich von nicht vorhandener Kompetenz, wenig Kompetenz über mittelmäßig hohe Kompetenz bis hin zu ziemlich hoher und sehr hoher Kompetenz.

Die definierte Anforderung der hohen Kompetenz in den relevanten Fachbereichen wird erfüllt. Im Bereich des HMIs weisen die Experten durchschnittlich sehr hohe Kompetenzen auf. Zusätzlich sind weitere für die Studienergebnisse relevanten Kompetenzen in den Bereichen der adaptiven Bedienelemente, Interfacesysteme und der Produktentwicklung in der Expertengruppe vorhanden.

4.1.5 Fragebogendesign

Bei der Erstellung des Fragebogens für die erste Befragungsrunde steht die Beantwortung der Forschungsfragen, FF 1.1 bis FF 3.1 und FF 4.1, im Fokus. Es ist notwendig, die Experten aufgrund der Komplexität der Thematik interaktiv durch die Befragung zu führen. Dabei besteht die Möglichkeit, komplizierte Sachverhalte abzufragen und dabei Hintergründe unterstützend zu erklären, um die begrifflichen und inhaltlichen Voraussetzungen möglichst identisch zu gestalten. Die Fragen des Fragebogens inklusive der Antwortmöglichkeiten sind in aufbereiteter Form im Anhang in Tabelle A.2 dargestellt. Der Originalfragebogen umfasst 29 Seiten. Frage 1 bis 8 des Fragebogens beinhalten, neben der Einverständniserklärung und den Basisdaten mit demografischem Hintergrund, den beruflichen Werdegang und die Stellung der Expertin und Experten sowie die Kompetenzen hinsichtlich unterschiedlicher Fachgebiete. Anschließend werden Begrifflichkeiten und das Grundverständnis von adaptiver Bedienung anhand eines Beispiels erläutert, um möglichst die gleichen Voraussetzungen unter den Experten und der Expertin zu schaffen. Der Fragenteil von Frage 9 bis 23 ist notwendig, um die Forschungsfragen FF 1.1 und FF 1.2 zu beantworten. Diese sind in die universelle Interfacesystementwicklung und die spezifische Interfaceentwicklung adaptiver Systeme aufgeteilt. Die Fragen 9 bis 15 zielen auf die Existenz, die Charakteristik und den potentiellen Mehrwert von Entwicklungsmethoden für Interfacesysteme im Allgemeinen ab.

Analog zu diesem Fragenpaket (9 bis 15) zielen die Fragen 16 bis 23 auf die Existenz, Charakteristik und den potentiellen Mehrwert von Entwicklungsmethoden für adaptive Interfacesysteme ab. Die Fragen 24 und 25 generieren die relevanten Parameter zur Beantwortung der FF 3.1. Anschließend werden weitere Begriffe zu virtuellen und realen Interfacetechnologien vom Interviewer erläutert, um ein einheitliches inhaltliches Verständnis zu schaffen. Die Fragen 26 bis 33 zielen auf die Existenz, die Charakteristik und den potentiellen Mehrwert von Methoden zur Kategorisierung von Bedienfunktionen hinsichtlich der Interfacetechnologie ab. Antworten auf die Forschungsfragen 2.1 und 2.2 resultieren hieraus. Der Fokus der Fragen 34 und 35 liegt auf den Potenzialen der virtuellen und realen Bedienung und deren unterschiedlichen Eigenschaften. Frage 36 zielt auf persönliche Präferenzen bei privater Nutzung von virtueller oder realer Bedienung mit Alltagsgegenständen ab. Frage 37 generiert relevante Parameter für die Beantwortung der Forschungsfrage FF 4.1. Die Fragen 38 bis 43 bringen Prognosen zum zukünftigen Einsatz von virtueller und realer Bedienung in unterschiedlichen Branchen hervor. Abschließend wird die Sinnhaftigkeit adaptiver Interfacesysteme in unterschiedlichen Anwendungsgebieten erfragt. In der ersten Befragungsrunde werden sämtliche Fragen mit 5-stufigen Antwortskalen nach Likert beantwortet. Die verbalen Antwortskalen variieren bei den unterschiedlichen Fragestellungen. Eine Abstufung der Antwortskala reicht von keinem Mehrwert, wenig Mehrwert über mittelmäßig hohem Mehrwert bis hin zu ziemlich hohem und sehr hohem Mehrwert. Die zweite verwendete Antwortskala erstreckt sich von ‚ich stimme nicht zu‘ bis ‚ich stimme absolut zu‘. Ein dritter eingesetzter Bereich der Zustimmung beginnt mit ‚kein Potenzial‘ und endet mit ‚sehr hohes Potenzial‘. Um Zukunftsprognosen zu ermitteln, wird die 5-stufige Skala mit den Antwortmöglichkeiten von ‚nicht sinnvoll‘ bis ‚sinnvoll‘ zur Verfügung gestellt. Die für diese Arbeit wichtigen Ergebnisse der Experteninterviews werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Bei der Erstellung des Fragebogens der zweiten Befragungsrunde werden die FF 3.2 und FF 4.2 beantwortet. Neben der Einverständniserklärung und der Abfrage des Alters, welches der personalisierten Zuordnung des Fragebogens dient, werden lediglich zwei Fragen gestellt. Die erste Frage dient zur Beantwortung von FF 3.2 und listet die 57 Parameter in sechs Clustern aus FF 3.1 auf. Anhand einer 7-stufigen Skala bzgl. der Wichtigkeit werden diese Parameter gewichtet. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tabelle 4.5 und die vollständige Gewichtung ist im Anhang in Tabelle A.3 dargestellt. Die zweite Frage zielt auf die Beantwortung der FF 4.2 ab. Hier werden dem Expertenkollektiv die 34 in FF 4.1 erhobenen Parameter in sieben Clustern zur Verfügung gestellt. Hier wird in einer 7-stufigen Skala eine Tendenz hinsichtlich einer virtuellen und realen

Bedienung ermittelt. Die eindeutigsten Tendenzen sind in Tabelle 4.6 visualisiert. Die vollständige Auflistung ist im Anhang unter Tabelle A.4 zu finden.

4.1.6 Ergebnisse der Potenzialanalyse

Die Forschungsfrage FF 1.1 wird mit einem eindeutigen Ergebnis beantwortet. Keinem der Experten ist die Existenz eines allgemeingültigen, methodischen Ansatzes, einer Vorgehensweise, eines Ablaufplanes, einer Checkliste, einer Guideline oder Vergleichbarem zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen bekannt. Frage 9 unterstützte die Beleuchtung von FF 1.1 mit der Erörterung der Existenz bzw. der Beschreibung und Erklärung von Entwicklungsmethoden für Interfacesysteme im Allgemeinen. Hier wird sichergestellt, dass methodische Ansätze, die von den Experten hier eingeordnet werden, nicht potentiell auch für die Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen geeignet sind. FF 2.1 wird vom Expertenkollektiv in Frage 26 mit 76 % mit ‚nein‘ beantwortet. Die 24 %, denen ein methodischer Ansatz bekannt ist, können diesen entweder nicht nennen oder verweisen auf die Expertise von Fachpersonal, welches das Wissen über eine solche Kategorisierung besitzt. Tabelle 4.3 zeigt die Ergebnisse zu FF 1.1 und FF 2.1.

Forschungsfragen		ja	Kenntnis über die Methodenexistenz	nein
FF 1.1	Existenz einer Methodik zur Entwicklung adaptiver IS		0 %	
FF 2.1	Methodikexistenz zur Interfacetechnologiekategorisierung		24 %	

Tabelle 4.3: Antworten auf die FF1.1 und FF2.1

Der Großteil der Experten stimmt der Frage zu, dass eine Methode zur Kategorisierung einen großen Mehrwert hätte, siehe FF 2.2. Die Beantwortung von FF 1.2 kann in Form von Frage 23 des Fragebogens eindeutig beantwortet werden. Die Experten sehen einen ziemlich hohen bis sehr hohen Mehrwert in einer einheitlichen und grundlegenden Vorgehensweise zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen. Die zugehörigen - Boxplots für die Beantwortung von FF 1.2 und 2.2 sind in Tabelle 4.4 dargestellt.

Forschungsfragen		kein	wenig	Mehrwert	ziemlich	sehr hoch
				mittelmäßig		
FF 1.2	Mehrwert einer Methodik zur Entwicklung adaptiver IS	○			■	
FF 2.2	Mehrwert einer Methode zur Kategorisierung BF in IFT	○			■	

Tabelle 4.4: Antworten auf die FF1.2 und FF2.2

4.1.7 Gewichtete Parametrisierung für die Methodenentwicklung

Für die Parametrisierung der Entwicklungsmethode für adaptive Interfacesysteme werden in FF 3.1 der ersten Runde der Delphi-Befragung Parameter abgefragt, welche als Einflussfaktor relevant sind. Die wichtigsten Parameter fließen in die Methodik, siehe Kapitel 6, ein. Hier werden zunächst sämtliche Formulierungen, inhaltliche Richtungen und Einschätzungen gespeichert und dokumentiert. Es werden insgesamt 204 Parameter generiert. Diese werden in der Formulierung angepasst und inhaltlich zusammengefasst, um schlussendlich nach der Auswertung 57 unterschiedliche Parameter zu erhalten. Diese wiederum werden in sechs Cluster unterteilt, wie in Bild 4.1 zu sehen ist.

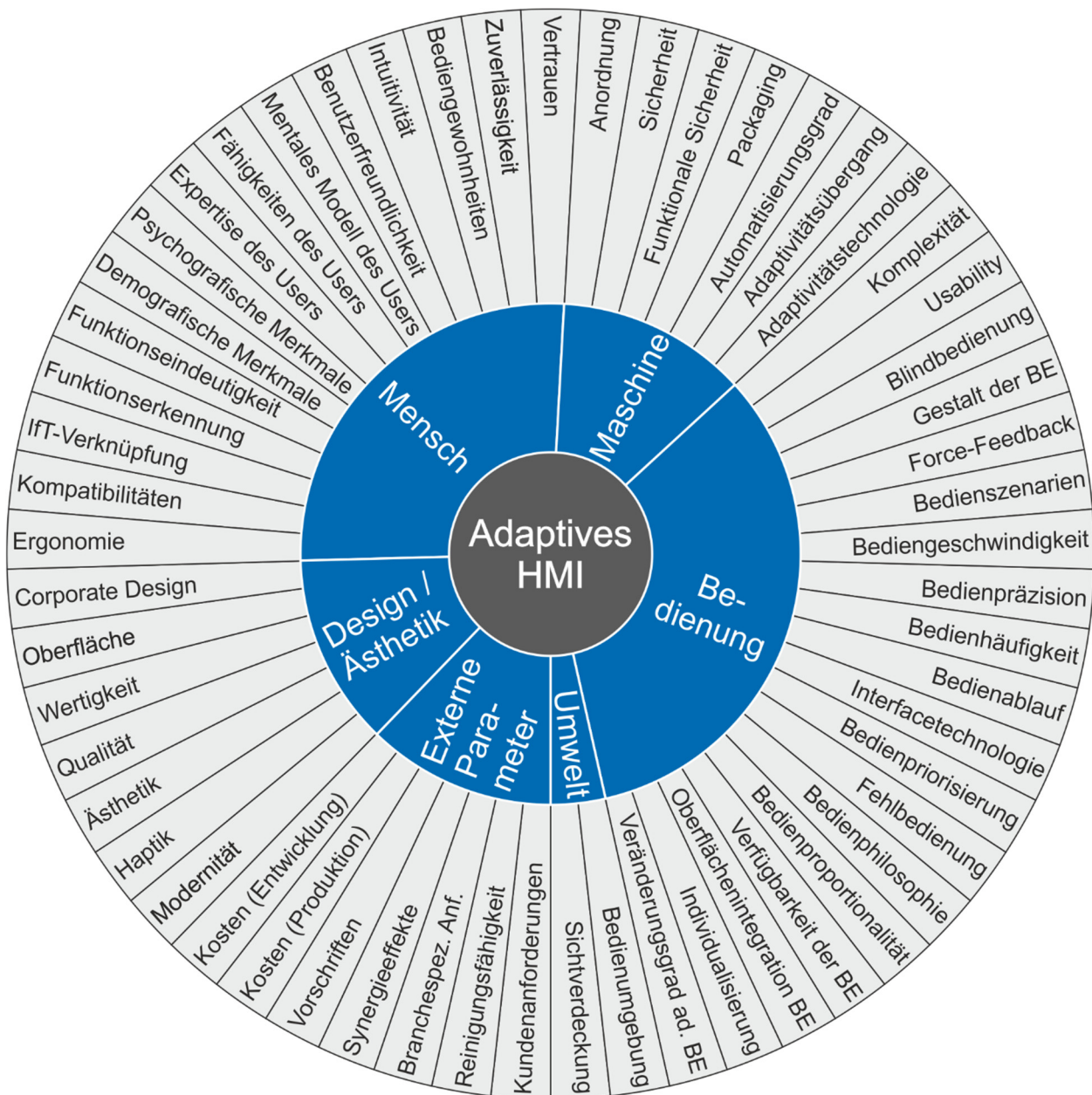


Bild 4.1: 57 generierte Parameter in sechs Clustern

Diese Cluster mit den jeweiligen Parametern werden in der zweiten Runde der Delphi-Befragung den Experten erneut zur Verfügung gestellt. Hierbei wird eine Gewichtung der Parameter mit Hilfe einer 7-stufigen Likert-Skala erzeugt. Hier reicht die Antwortskala von nicht, wenig, etwas wichtig über mittelmäßig bis zu ziemlich, überwiegend und sehr wichtig. Für den nicht per Gespräch begleiteten Teil der Befragung wird nach FINSTAD [2010] aufgrund der hohen Benutzerfreundlichkeit und Genauigkeit die 7-stufige Likert-Skala verwendet.

Diese intervallskalierte Gewichtung dient einer Einschätzung der Wichtigkeit der Parameter. Hieraus kann abgeleitet werden, welchen Parametern bei der Entwicklung besonderer Fokus beigemessen werden muss. Die vollständige Tabelle mit sämtlichen erfassten Parametern inklusive deren Gewichtung ist im Anhang in Tabelle A.3 zu finden. Die Gewichtung der unterschiedlichen Parameter in Tabelle A.3 lässt grundsätzlich darauf schließen, dass alle Experten den generierten Parameterpool als wichtig einordnen. Trotzdem lassen sich aus der Gewichtung wichtige und weniger wichtige Parameter ableiten. Tabelle 4.5 zeigt die 20 als am wichtigsten gewichteten Parameter, eingeordnet in die fünf Cluster mit dem zugehörigen Boxplot. Das Auswahlkriterium für die Parameter mit der höchsten Relevanz ist eine durchschnittliche Bewertung durch die Experten von mindestens 80 % des maximal erreichbaren Werts. Liegt die Bewertung unter diesem Grenzwert, werden die Parameter nicht weiter betrachtet. Der Grenzwert wird der technischen Bewertung entnommen, welche Lösungen von einer Bewertung über 0,8 als sehr gut kategorisiert [VDI 2225-3 1998, S.4].

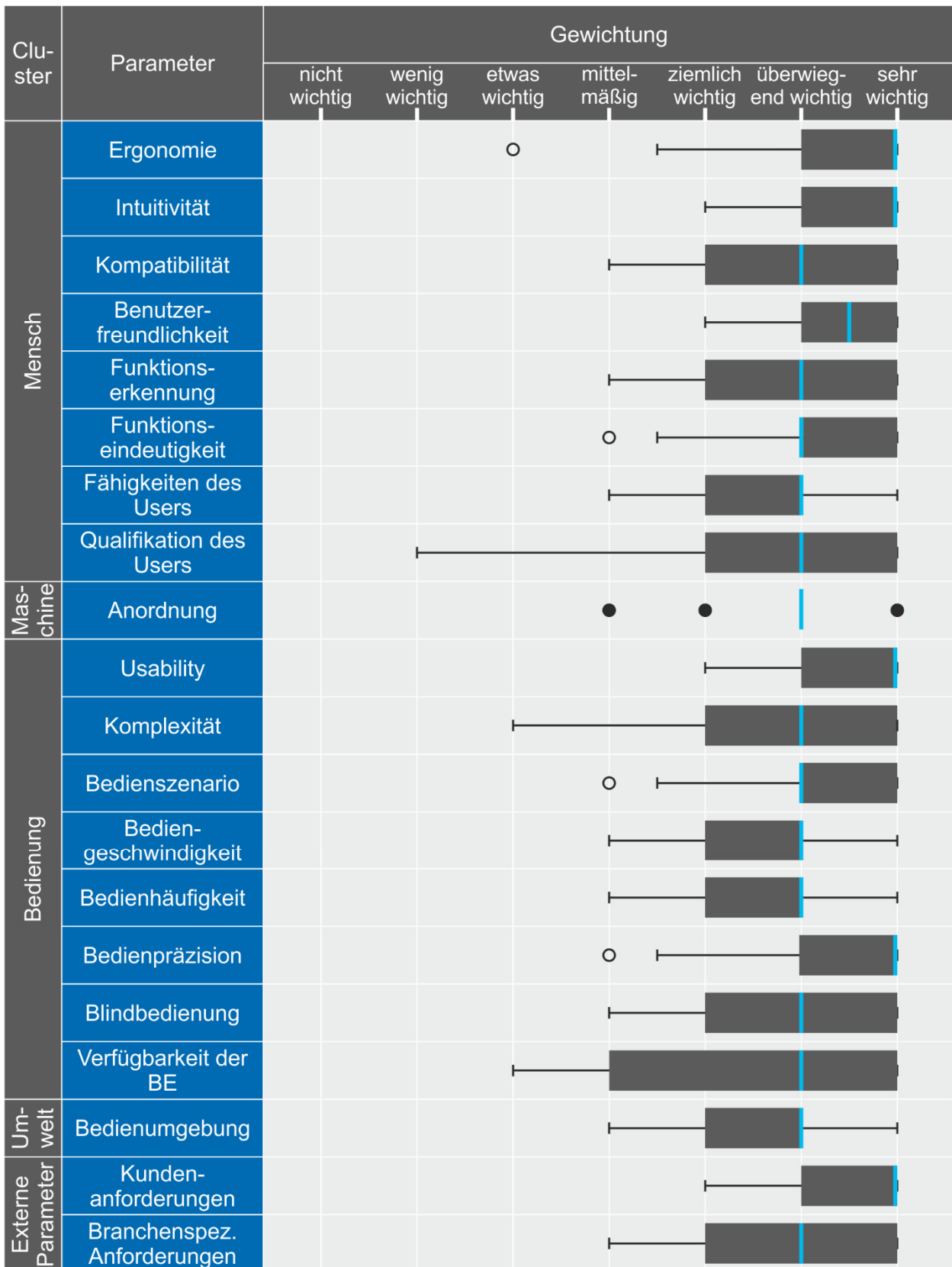


Tabelle 4.5: Gewichtete Parametrisierung für die 20 wichtigsten Einflussparameter zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen

4.1.8 Gewichtete Parametrisierung zur Bedienfunktionskategorisierung

Bei der Beantwortung von FF 4.1 wird analog zur Beantwortung von FF 3.1 der ersten Runde der Delphi-Befragung vorgegangen. Einflussparameter für die Kategorisierung von Bedienfunktionen werden generiert, welche eine Zuordnung zur virtuellen und realen Bedienung zulassen. Es werden 92 Parameter erfasst, welche nach Anpassung von Begrifflichkeiten in 34 Parametern zusammengefasst werden. Diese werden wiederum in sieben Cluster kategorisiert. Diese 34 Parameter, inklusive der sieben Cluster, werden in der zweiten Delphi-Runde der Expertengruppe zur Verfügung gestellt, um eine Einschätzung zu bekommen, welche Parameter eine Zuordnung bzw. eine Tendenz zu einer virtuellen und welche die Zuordnung bzw. Tendenz zu einer realen Bedienung zulassen. Bild 4.2 zeigt die Cluster mit den jeweiligen Parametern.

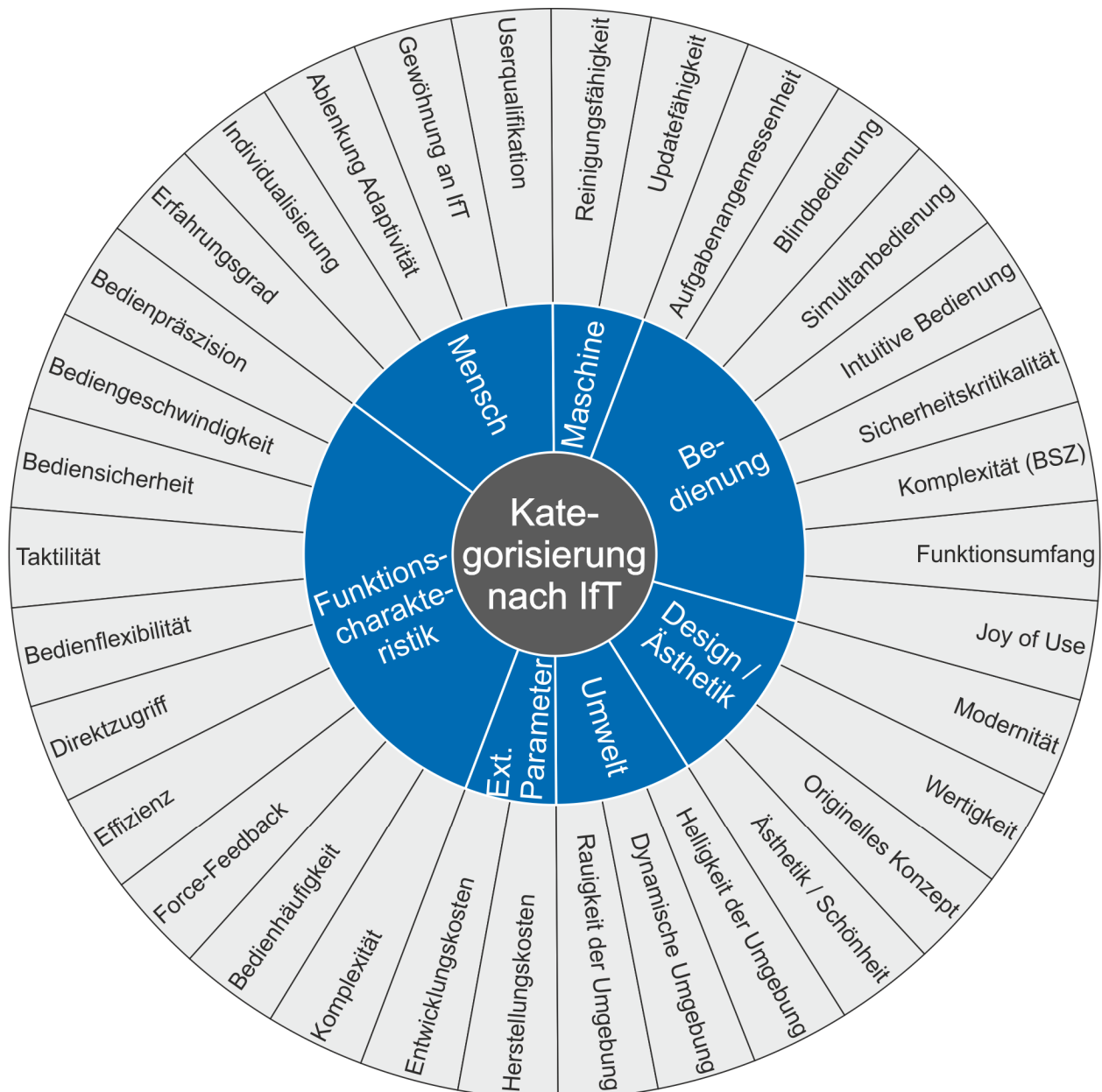


Bild 4.2: 34 generierte Parameter in sieben Clustern

Die Tendenzen hinsichtlich der Bedienart für jeden zur Verfügung gestellten Parameter werden in der zweiten Befragungsrunde durch die Experten generiert. Dies gleicht einer Art Gewichtung. Um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, wird ein Großteil der Parameter in der Bedeutung unterschieden. Als wichtig oder weniger wichtig, vorhanden oder weniger vorhanden und relevant oder weniger relevant sollten die Parameter den zwei unterschiedlichen IfT zugeordnet werden. Zum besseren Verständnis sei aufgezeigt, dass beispielsweise der Parameter Updatefähigkeit in der Befragung als ‚Updatefähigkeit (wichtig)‘ und ‚Updatefähigkeit (unwichtig)‘ aufgelistet wird. Diese Aufteilung der Items ist relevant, um eine eindeutige Bewertung zu erhalten und ein einheitliches Verständnis im Expertenkollektiv zu schaffen. Bei den in Tabelle 4.6 und A.4 aufgeführten Parametern handelt es sich jeweils um die Parameter mit der dem Zusatz ‚wichtig‘, ‚vorhanden‘ und ‚relevant‘. Das Expertenkollektiv ordnet beide Items in einer 7-stufigen Skala der virtuellen und realen Bedienung zu. In Tabelle A.4 im Anhang sind die ermittelten Tendenzen aller generierten Parameter inklusive der zugehörigen Boxplots dargestellt.

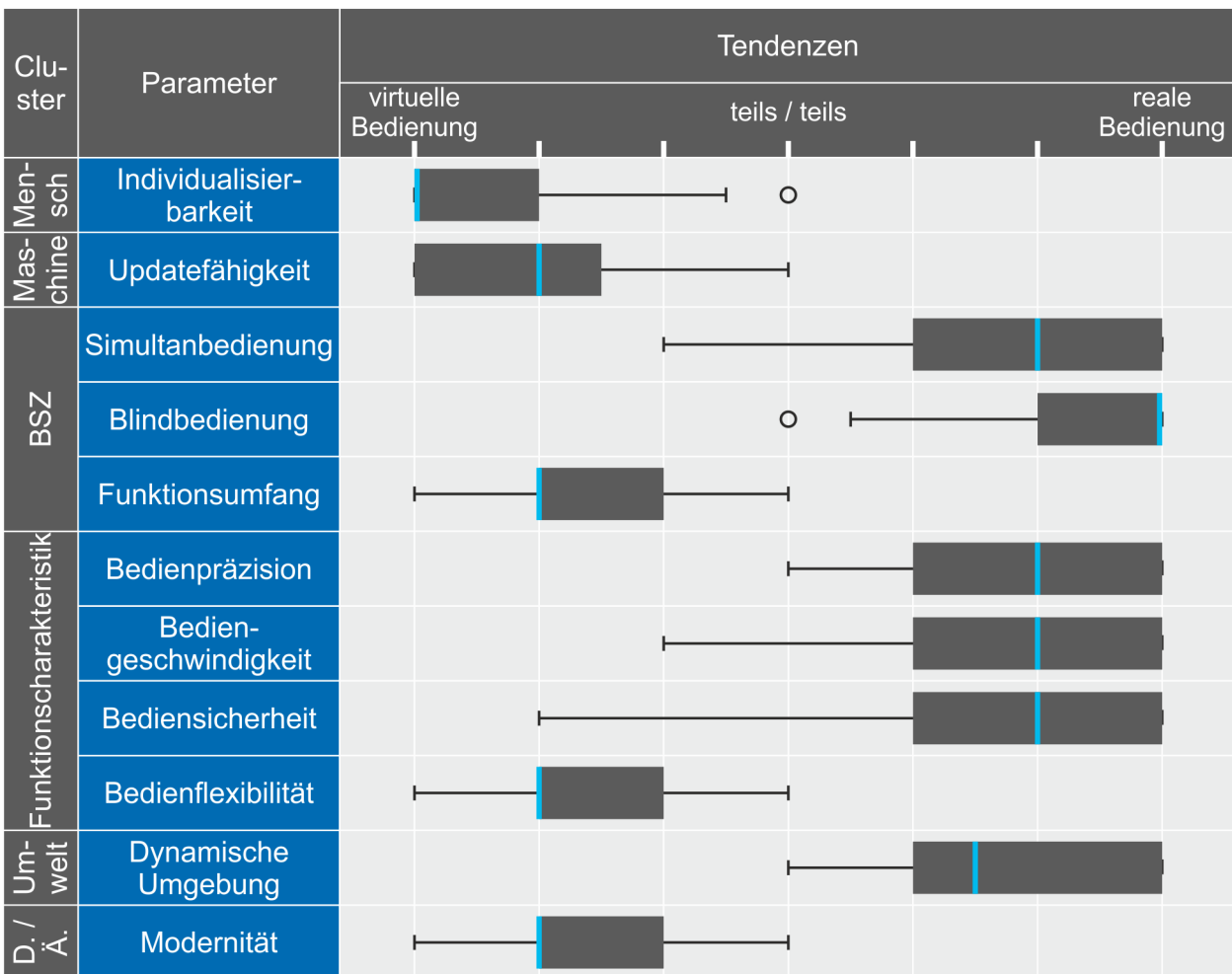


Tabelle 4.6: Eindeutigste Tendenzen von 11 Einflussparametern bzgl. der Kategorisierung in IfT

Bei der Zuordnung einiger Parameter kristallisieren sich keine eindeutigen Tendenzen heraus. Bei 11 Parametern lassen sich jedoch eindeutige Tendenzen erkennen. Diese Parameter mit den eindeutigsten Tendenzen sind in Tabelle 4.6 aufgelistet. Fünf Parameter zeigen eine Zuordnung zur virtuellen Bedienung an und sechs Parameter werden einer realen Bedienung zugeordnet. Das Auswahlkriterium für die Parameter mit eindeutiger Tendenz ist eine maximale Abweichung in der durchschnittlichen Bewertung der Experten von 20 % vom maximal erreichbaren Wert, der entweder die virtuelle oder die reale Bedienung ist. Weicht die durchschnittliche Tendenz mehr als 20 % von den beiden Extremwerten ab, werden die Parameter nicht weiter betrachtet.

Der Grenzwert wird der technischen Bewertung entnommen, welche Lösungen von einer Bewertung über 0,8 als sehr gut kategorisiert [VDI 2225-3 1998, S.4].

4.1.9 Zusammenfassung der Experteninterviews

Die wichtigsten und relevantesten Ergebnisse aus den Experteninterviews werden hier zusammengefasst dargestellt. Die formulierten Forschungsfragen können mit Hilfe der Experteninterviews beantwortet werden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 4.7 zu sehen.

Antworten	
FF 1.1	Den befragten Experten ist kein allgemeingültiger Ansatz zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen bekannt.
FF 1.2	Der Mehrwert wäre laut Expertenkollektiv ziemlich groß, gäbe es eine allgemein anwendbare Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen.
FF 2.1	Es sind vereinzelt Methoden bekannt, die zur Kategorisierung von BE bzgl. der optimal einzusetzenden IfT beitragen, diese sind an das Know-how von Fachpersonal gekoppelt.
FF 2.2	Der Mehrwert wäre laut Experten ziemlich bis sehr groß, gäbe es eine allg. anwendbare Methode, die zur Kategorisierung von BE bzgl. der IfT dienen würde.
FF 3.1	Die Einflussparameter für die Entwicklung von adaptiven Bedienelementen bzw. -systemen werden erfasst.
FF 3.2	Die Gewichtung der Einflussparameter durch die Experten ist erfolgt.
FF 4.1	Die Einflussparameter für die Kategorisierung von Bedienfunktionen hinsichtlich ihrer IfT werden erfasst.
FF 4.2	Die Gewichtung der Einflussparameter durch die Experten ist erfolgt.

Tabelle 4.7: Beantwortung der Forschungsfragen

Die gewichteten Parameter gehen als elementare Kerngrößen in die Methodenentwicklung ein. Zusätzlich zu den Parametern werden Erfahrungen der Expertengruppe generiert. Ein Konsens besteht in der Kritik an der fehlenden Hilfestellung, welche durch Normen und Richtlinien bereitsteht. Hier wird vom Großteil des Expertenkollektivs die

zu allgemein gehaltenen Formulierungen kritisiert. Diese sind laut Experten dafür verantwortlich, dass es keine konkreten Anhaltspunkte zur Unterstützung gibt.

Zusätzlich konnte als Verbesserungspotenzial festgehalten werden, dass ein modularer Aufbau einer Methode, der sich adaptiv an das Entwicklungsvorhaben in Fokussierung und Entwicklungsumfang anpassen kann, einen großen Mehrwert darstellt. Hiermit kann folgender, viel zitierter Kritikpunkt behoben werden: Strukturierte Methoden beinhalten das Risiko, dass die Kreativität und die innovative Lösungsfindung eingeschränkt werden. Deshalb sind Freiheiten im Entwicklungsprozess elementar. Diese können mit einem modularen Aufbau, der sich an den Entwicklungsfokus anpasst, erfüllt werden.

4.2 Erkenntnisse für die Methodikentwicklung

Aus der in Kapitel 3.1.3 dargestellten zeitlichen Entwicklung von Forschungsprojekten mit adaptivem Kontext geht eine eindeutige Entwicklung in Richtung adaptiver Bedienelemente hervor. Die Menge an Entwicklungen hat in den letzten Jahren enorm zugenommen, sowohl in der Serienentwicklung als auch im Bereich von Forschungsprojekten. Diese Beobachtung bezieht sich auf unterschiedliche Branchen.

Die Ergebnisse aus der angewandten Delphi-Methode liefern eine Vielzahl an gewichteten Parametern zur weiteren Methodenentwicklung. Aus der Literaturrecherche und den Ergebnissen der Experteninterviews resultiert die Erkenntnis, dass keine Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen in mobilen Maschinen existiert und dass eine solche Methodik einen hohen Mehrwert hat. Zusätzlich hat sich folgende zu beachtende Empfehlung der Experten verfestigt: Da sich die Methodik bzw. die Einzelmethoden auf einen Entwicklungsprozess von adaptiven Bediensystemen beziehen und dieser Prozess kreative Teilschritte beinhaltet, ist es notwendig dem Anwender einen kreativen Freiraum im Rahmen der Methodik zu garantieren. Dieser kann durch unterschiedliche Techniken und Empfehlungen unterstützt werden, sollte jedoch nicht durch ein starres Methodenkorsett beengt werden.

5 Anforderungsgenerierung

Der Begriff Anforderung wird im Rahmen des Projektmanagements als die Leistung, Beschaffenheit oder Fähigkeit beschrieben, welche ein Prozess oder Produkt zu erfüllen hat, um speziellen Vorgaben bzw. Spezifikationen zu genügen [DIN 69901-5 2009, S. 6]. Es ist elementar, dass die Anforderungsgenerierung entweder von einer fachlich kompetenten Quelle stammt oder aus einer konkreten Vision des zu entwerfenden Systems [RUPP 2021, S. 130].

Um eine Methodik für die Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen zu entwickeln, müssen Anforderungen definiert werden, welche es zu erfüllen gilt. Diese Vorgehensweise lehnt sich an den Produktentwicklungsprozess an [POSNER ET AL. 2012]. Zum einen werden die Anforderungen zur Zieldefinition benötigt und zum anderen um die Entwicklungsergebnisse bzw. die Methodik zu evaluieren und zu bewerten. Die Anforderungen setzen sich aus allgemeingültigen Anforderungen für die Gestaltung von Entwicklungsprozessen und aus spezifischen Anforderungen für eine konkrete Entwicklungsmethodik für adaptive Interfacesysteme zusammen.

Die Vorgehensweise eine Methodik zu generieren, die zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen dient, ist aufgrund der Komplexität und Neuheit der Thematik ein mehrfach iterativer Prozess, der sich grundsätzlich an den in Kapitel 3.2 vorgestellten Vorgehensweisen, Prozessen und Modellen orientiert. Die Methodik ist im Bereich der frühen Phase der Produktentwicklung angesiedelt.

Die Methodenentwicklung basiert auf drei Säulen. Die grundlegende Herangehensweise kann aus allgemeinen Entwicklungsprozessen der Produktentwicklung abgeleitet werden. Dies dient als Orientierung, zeigt jedoch erhebliche Lücken bezüglich der speziellen Anforderungen von adaptiven Produkten bzw. adaptiven Interfaces auf. Zusätzlich liefern Erfahrungswerte aus Entwicklungsprojekten die nötigen praktischen Informationen über den spezifischen Entwicklungsprozess und spezielle Notwendigkeiten hinsichtlich adaptiver Interfaces. Die dritte Säule stellen die Ergebnisse aus den Expertenbefragungen dar. Mit diesen unterschiedlichen Ansätzen kann sichergestellt werden, dass sämtliche relevanten Einflüsse und Kernpunkte des Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden.

Die drei Säulen stellen eine breite Basis zur Verfügung, welche die Grundlage für die Methodik darstellt. Um die grundlegenden Erkenntnisse zu berücksichtigen, werden diese in einer Anforderungsliste festgehalten.

Die frühe Phase der Produktentwicklung gilt als dynamisch und unstrukturiert. Sie ist von Unsicherheit geprägt und auf Kreativität in der Ideen- und Lösungsfindung ange-

wiesen. Standardisierte Vorgehensweisen stoßen in der frühen Phase an ihre Grenzen. Vielmehr sind dynamische Systeme notwendig, welche durch Projekterfahrungen angereichert und optimiert werden. [JAHN 2009, S. 103 f.]

Die speziellen Anforderungen adaptiver Interfaces im Kontext mobiler Arbeitsmaschinen sind auch für die Methodik ausschlaggebend. Der dynamische Wechsel von Arbeitsgeräten und ein sich darauf anpassendes Interface stellt die Kernherausforderung dar. Die Methodik muss zwingend auf diese Problematik eingehen und spezifische Lösungen bereitstellen. Der explizite Fokus der Methodik zielt auf diese Problemstellung ab. Die Methodik eignet sich in erster Linie für Entwicklungsprojekte adaptiver Interfacesysteme in mobilen Maschinen.

5.1 Allgemeingültige Anforderungen

Die allgemeingültigen Anforderungen werden zum einen aus den kontextbedingten Anforderungen und aus den wissenschaftlichen Arbeiten von KELLER & BINZ [2009, S. 205 ff.], POSNER ET AL. [2012] und ROTH [2020, S. 56 f.] abgeleitet. In diesen Arbeiten dienen die Anforderungen der Methodenentwicklung für Konstruktionsprozesse und der Methodenentwicklung im Wissensmanagement in der Produktentwicklung. In Anlehnung an diesen Forschungskontext werden die einzelnen Anforderungen hinsichtlich der Tauglichkeit für den Kontext der methodischen Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen in mobilen Maschinen überprüft und entsprechend gefiltert. Hieraus resultieren folgende Anforderungen, welche nach KELLER & BINZ [2010] und BINZ ET AL. [2011, S. 81] in fünf übergeordnete Anforderungsgruppen eingeteilt werden:

1. Normativität
 - 1.1. Überprüfbarkeit
 - 1.2. Wissenschaftliche Sinnhaftigkeit
2. Didaktik
 - 2.1. Nachvollziehbarkeit
3. Unsicherheit
 - 3.1. Strukturierung
 - 3.2. Flexibilität
 - 3.3. Kompatibilität
4. Konkurrenzfähigkeit
 - 4.1. Praxisrelevanz
 - 4.2. Nützlichkeit
5. Anwendungsgrenzen
 - 5.1. Problemspezifität

Die dargestellten Anforderungsgruppen mit den jeweiligen Untergliederungen werden in der Anforderungsliste, siehe Tabelle 5.1, mit den spezifischen Anforderungen ergänzt und jeweils näher beschrieben.

5.2 Spezifische Anforderungen

Die spezifischen Anforderungen ergeben sich einerseits aus den in Kapitel 4 abgeleiteten Potenzialen bzw. Ergebnissen. Diese werden mit Hilfe von Interviews, einer klassischen Befragungstechnik zur Generierung von Anforderungen, erhoben [RUPP 2021, S. 141]. Andererseits werden die spezifischen Anforderungen aus Erfahrungswerten bei der Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen herangezogen. Diese Technik der Anforderungsermittlung kommt dem ‚Apprenticing‘ nahe [RUPP 2021, S. 151]. Folgende Gruppierung der spezifischen Anforderungen ergibt sich für die Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen:

6. Resultat
 - 6.1. Adaptivität
7. Parametrisierung
 - 7.1. Parameterdefinition
 - 7.2. Parameterverifizierung
 - 7.3. Parameterumsetzung
8. Fokussierung
 - 8.1. Fokusdefinition
 - 8.2. Fokusberechnung
 - 8.3. Fokusanwendung

Wie auch die allgemeinen Anforderungen werden die spezifischen Anforderungen in Tabelle 5.1 näher beschrieben.

5.3 Anforderungsliste

Die Kombination der allgemeingültigen Anforderungen für Entwicklungsprozesse mit den spezifischen Anforderungen an eine Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen werden in einer Anforderungsliste, siehe Tabelle 5.1, dargestellt und beschrieben.

Diese Anforderungsliste stellt einen elementaren Arbeitsschritt in dem methodischen Entwicklungsprozess dar. Die Anforderungen an die Methodik werden in Festforderungen und Wünsche unterteilt. Bei den Festforderungen (F) handelt es sich um Anforderungen, welche zwingend erfüllt werden müssen. Die Erfüllung der Wünsche (Wü) rechtfertigt einen begrenzten Mehraufwand und ist nach Möglichkeit zu erfüllen. [MAIER

2021] Der grundsätzliche Aufbau der Anforderungsliste wird aus MAIER & SCHMID [2021] übernommen.

F Wü	Nr.	Anforderungen	Beschreibung	Quelle
Allgemeine Anforderungen				
	1	Normativität		
F	1.1	Überprüfbarkeit	Validierung und Überprüfung der Methodik muss gegeben sein.	[KELLER & BINZ 2009/10], [POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
F	1.2	Wissenschaftl. Sinnhaftigkeit	Die Kriterien der Objektivität, Zuverlässigkeit und Gültigkeit der Methodik müssen erfüllt werden.	[POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
	2	Didaktik		
F	2.1	Nachvollziehbarkeit	Die unterschiedlichen Kriterien der Verständlichkeit, Wiederholbarkeit, Erlernbarkeit und Anwendbarkeit der Methodik müssen erfüllt werden.	[KELLER & BINZ 2009/10], [POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
	3	Unsicherheit		
W	3.1	Strukturierung	Eine strukturierte Vorgehensweise zur Problemlösung muss erkennbar sein.	[KELLER & BINZ 2009/10], [POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
W	3.2	Flexibilität	Bei der Anwendung der Methodik sollte flexibel vorgegangen werden können.	
W	3.3	Kompatibilität	Bei der Anwendung der Methodik soll die Komplexität niedrig gehalten werden und eine Kompatibilität zu artverwandten methodischen Ansätzen erkennbar sein.	
	4	Konkurrenzfähigkeit		
F	4.1	Praxisrelevanz	Der innovative Ansatz der Methodik ist elementar.	[KELLER & BINZ 2009/10], [POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
F	4.2	Nützlichkeit	Die Methodik muss sowohl effektiv als auch effizient aufgebaut und anwendbar sein.	[POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]
	5	Anwendungsgrenzen		
F	5.1	Problemspezifität	Die Methodik muss geeignete Methoden, Werkzeuge oder Mittel zur Lösung einer Aufgabe identifizieren können.	[KELLER & BINZ 2009/10], [POSNER ET AL. 2012], [ROTH 2020]

Tabelle 5.1: Anforderungsliste (Teil 1/2)

F Wü	Nr.	Anforderungen	Beschreibung	Quelle
Spezifische Anforderungen				
	6	Resultat		
F	6.1	Adaptivität	Durch die Anwendung der Methodik resultiert ein adaptives Interfacesystem.	vgl. Kapitel 5.2
	7	Parametrisierung		
F	7.1	Parameterdefinition	In der Methodik muss eine klare Definition der ermittelten Parameter getroffen werden.	vgl. Kapitel 5.2
F	7.2	Parameter- verifizierung	Diese Parameter müssen inklusive einer Gewichtung verifiziert werden.	
F	7.3	Parameter- umsetzung	Die Parameter müssen in entsprechenden Methoden eine Anwendung ermöglichen.	
	8	Fokussierung		
F	8.1	Fokusdefinition	Die Fokussierung muss klar definiert und veranschaulicht werden.	vgl. Kapitel 5.2
F	8.2	Fokusberechnung	Der Fokus muss auf eine fundierte Art und Weise berechnet und vom Entwicklungsteam vorgegeben werden.	
F	8.3	Fokusanwendung	Das Ergebnis der Fokusberechnung muss zur Anwendung in der Methodik kommen.	

Tabelle 5.1: Anforderungsliste (Teil 2/2)

6 Konzeption der Methodik

Der Methodenbegriff ist als planmäßiges Vorgehen zur definierten Zielerreichung festgelegt. Als Methodik ist das planmäßige Vorgehen unter Berücksichtigung mehrerer Methoden beschrieben. [VDI 2223 2004, S. 88]

Die Entwicklung der Methodik basiert im Wesentlichen auf Praxis und Theorie. Die Theorie besteht aus der empirischen Datenerhebung über die Expertise von ausgewählten Fachleuten und aus der Recherchearbeit. Um das Expertenwissen für die Entwicklung der Methodik zu strukturieren und auf das Wesentliche zu reduzieren, werden Anforderungen gestellt. Diese leiten sich aus der Praxiserfahrung und der identifizierten Problemstellung ab. Durch die Datenerhebung in der ersten Runde der Delphi-Methode fließt Wissen in einen iterativen Anwendungsprozess, in dem Methoden entwickelt werden. Das Wissen wird in einer zweiten Runde der Delphi-Methode kategorisiert und gewichtet. Durch den iterativen Prozess werden diese Methoden verbessert, angewendet und schließlich in der Methodenevaluation bewertet.

Bild 6.1 visualisiert die Anwendbarkeit des Wissens während der theoretischen Potenzialanalyse und der praktischen Methodenentwicklung.

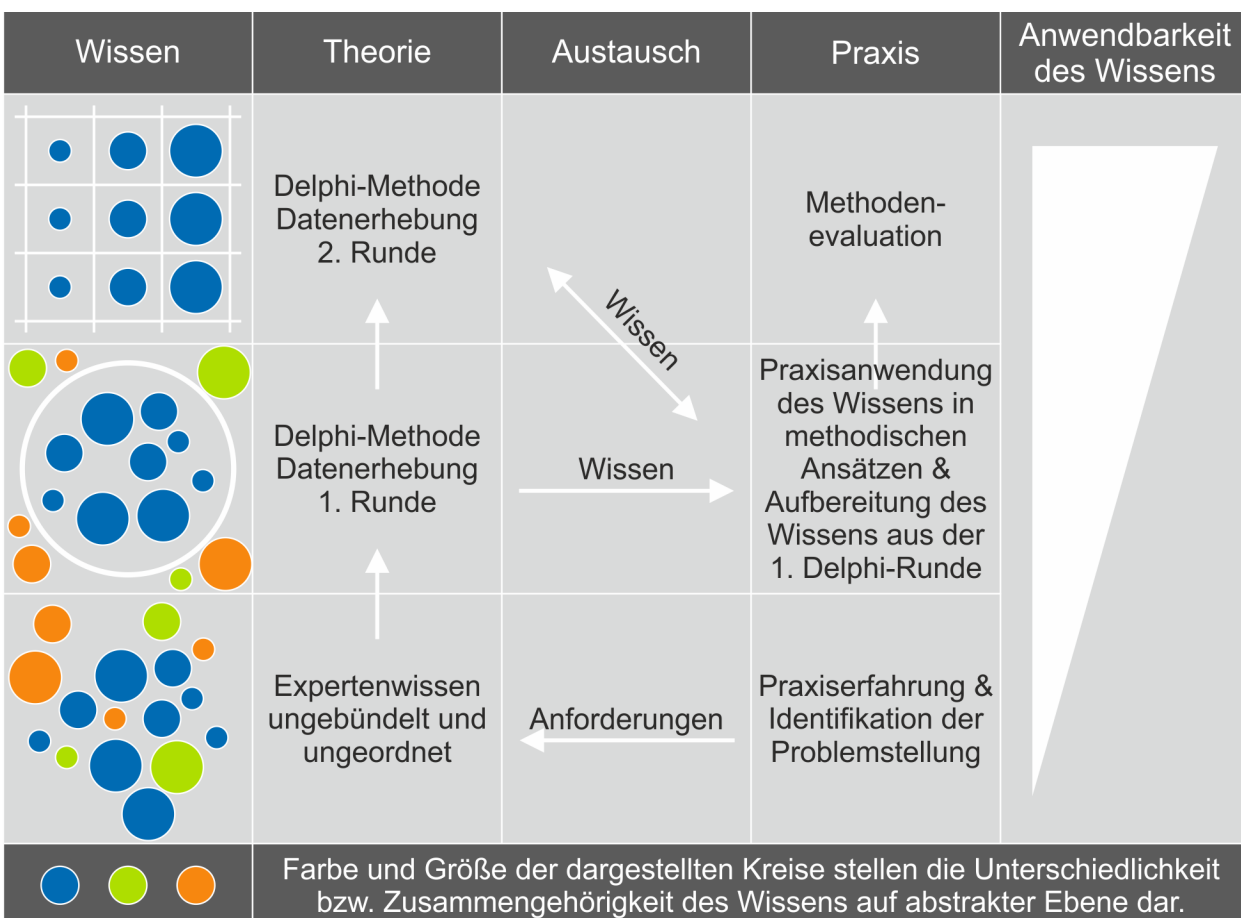


Bild 6.1: Wissensmanagement zur Methodikentwicklung

Die unterschiedlichen Einflussparameter, die es bei der Entwicklung der Methodik zu beachten gilt, werden anhand der Expertengruppe und deren Erfahrungs- und Fachwissen generiert und gewichtet. Die 20 identifizierten Parameter, siehe Tabelle 4.5, sind in die nachfolgenden Methoden eingebunden. Die Parameter dienen einerseits dazu eine projektspezifische Methodenauswahl zu generieren. Andererseits werden die Parameter genutzt, um eine konkrete Zuordnung von BF zu passenden IFT zu generieren. In der weiteren Anwendung sind die Methoden so konzipiert, dass die jeweiligen Parameter durch die Methodenanwendung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund gliedert sich die Methodik in exakt fünf Methoden, welche in Summe alle 20 definierten und zu berücksichtigenden Parameter einbeziehen. Diese fünf Methoden sind notwendig damit die als wichtigsten identifizierten Einflussparameter zur Entwicklung einer Methodik für adaptive Interfacesysteme in den Entwicklungsprozess einfließen können. Jede der fünf Methoden hat inhaltlich einen unterschiedlichen Fokus. In Summe können mit den Methoden alle Parameter abgedeckt werden. Es handelt sich um die Methoden der Fokusgenerierung (FG), die Funktions-Zuordnungsmethode (FZM), die Komplexitätsmethode (KM), die Methode Funktions- und Bedienanalyse (FuB) und die Layer-Methode (LM), welche in Bild 6.2 schematisch dargestellt sind und als Methodik zusammengefasst werden können. Die fünf Methoden werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels im Detail erklärt.

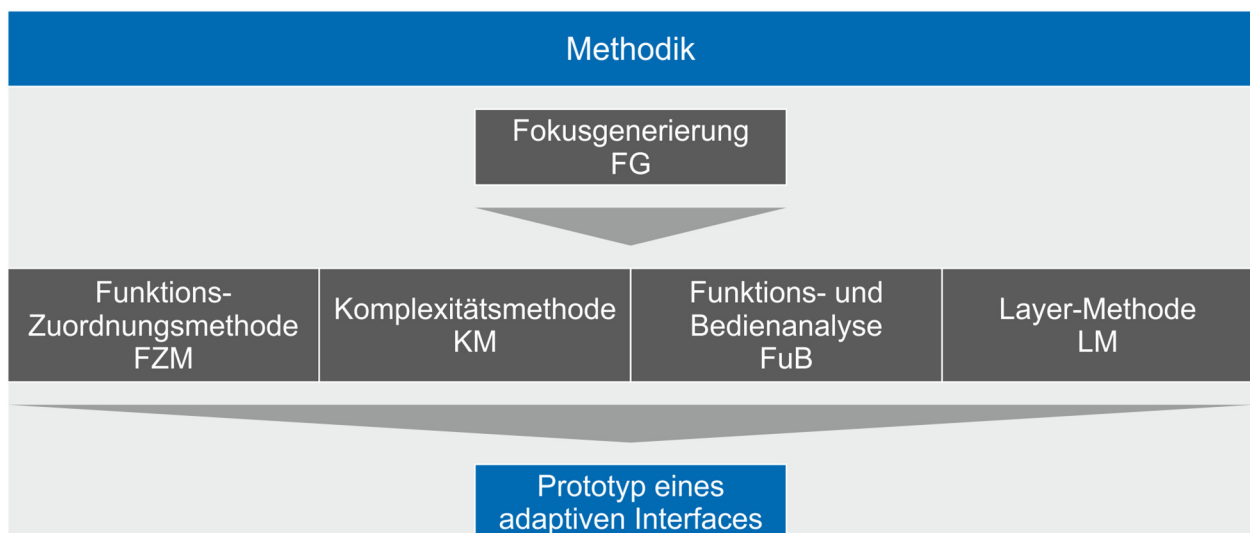


Bild 6.2: Aufbau der Methodik

Das Schaubild der Strukturierung des Wissens aus Bild 6.1 ist ebenso auf den Anwendungsprozess der entwickelten Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfaces anwendbar. Die drei Phasen sind, wie in Bild 6.3 zu sehen ist, den fünf unterschiedlichen Methoden aus der die gesamte Methodik besteht, zugeordnet. Zusätzlich wird in der dritten Zeile der Grafik eine Einordnung getroffen, welchen Entwicklungsphasen die je-

weiligen Methoden zuzuordnen sind. Das vorhandene Wissen für die Entwicklung adaptiver Interfaces wird im Laufe der Anwendung der Methodik geordnet und auf Relevanz geprüft, damit lediglich die notwendigen Aspekte berücksichtigt werden. Die Methodik wurde in sechs unterschiedlichen Projekten angewendet, welche auch zur Evaluation dieser dienen, siehe Kapitel 7. Die Methoden FG, FZM und KM werden der frühen Phase zugeordnet. Aus der von Unsicherheiten und geringen Spezifikationen geprägten Phase können, durch die Anwendung der genannten Methoden, Strukturierung und diverse Spezifikationen resultieren. Die FuB ist sowohl der frühen Phase als auch des klassischen Produktentwicklungsprozesses zuzuordnen. Die LM ist mit ihren Bestandteilen Inhalt des PEPs, wobei die Phasen fließend ineinander übergehen.

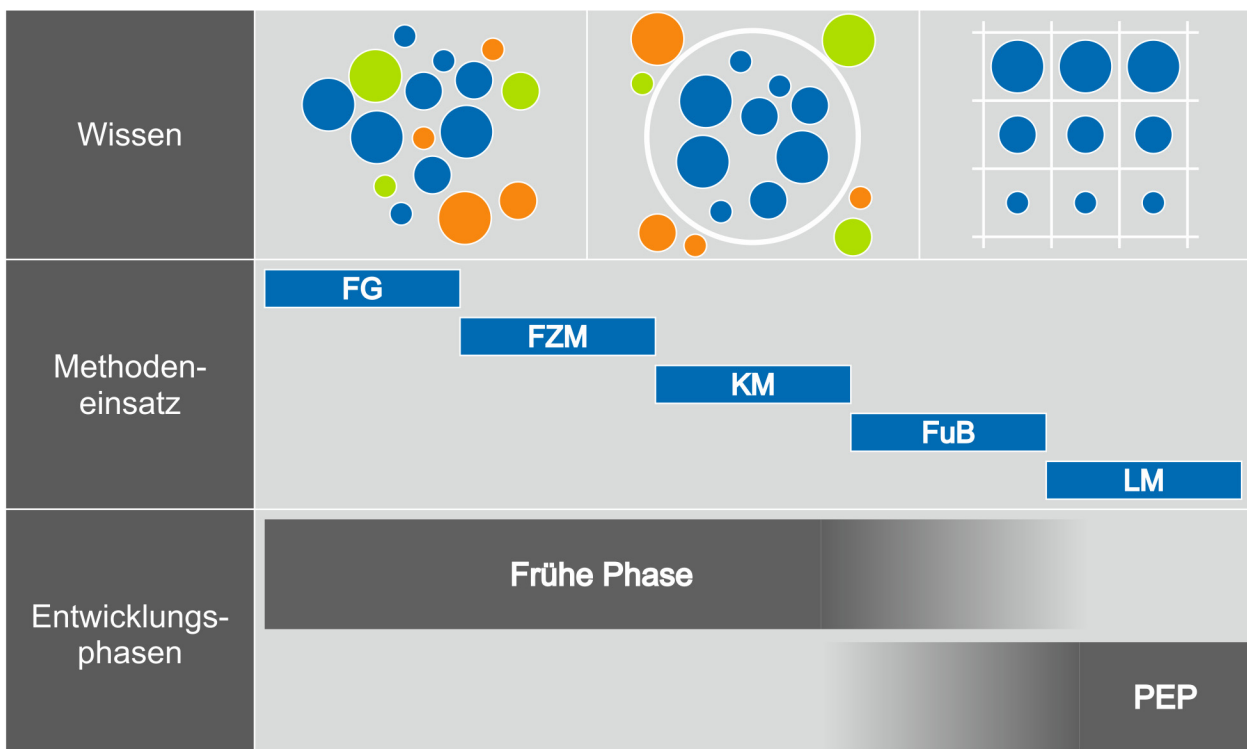


Bild 6.3: Schematische Zuordnung der Methoden in die Wissensstruktur und die Entwicklungsphasen

In Bild 6.3 ist nicht der komplette PEP abgebildet. Die hier vorgestellte Methodik mit den Einzelmethode beinhaltet die Konzeption und Umsetzung von Prototypen unterschiedlicher Ausprägung in der frühen Phase der Entwicklung. Der weitere Prozess bis hin zur Serienreife und die damit verbundenen und notwendigen Prozessschritte werden in dieser Methodik ausgegliedert und sind nachgelagert mit einem separaten Methodenset, welches nicht Teil dieser Arbeit ist, umzusetzen.

In der weiteren Erläuterung der verschiedenen Methoden werden Anwendungsbeispiele verwendet, um die Methoden besser und nachvollziehbarer zu beschreiben. Die Anwendungsbeispiele entsprechen einer Auswahl an Evaluationsprojekten (EvP), welche

auch in Kapitel 7 zur Evaluation der Methodik dienen. Nähere Erklärungen zu den sechs verschiedenen EvP, d.h. EvP1 – EvP6, sind Kapitel 7 zu entnehmen. Beispielhaft werden in diesem Kapitel drei der insgesamt sechs verschiedenen EvPs zur Methodenerklärung verwendet. Das Anwendungsbeispiel für die FG, FZM und FuB ist EvP3, für die KM dient EvP6 und für die LM wird EvP1 verwendet.

6.1 Fokusgenerierung

Die Methode der Fokusgenerierung erzeugt eine Methodenvorauswahl für das jeweilige Projekt. Das Projektteam gewichtet die zur Verfügung stehenden Parameter hinsichtlich des Projektfokus‘ woraus die Methodenvorauswahl entsteht. Für diese stehen die vier Methoden FZM, KM, FuB und LM zur Verfügung.

6.1.1 Motivation und Abgrenzung

Der notwendige Input sind die definierten Projektziele, woraus eine gewichtete Parametrisierung gewonnen wird. Diese Gewichtung identifiziert die gewünschten Entwicklungsschwerpunkte und die essentiellen Produkthanforderungen. Die durch die Fokusgenerierung berücksichtigten Parameter sind die Kundenanforderungen und branchenspezifischen Anforderungen. Die formulierten Kundenanforderungen sind ausschlaggebend für die in Kapitel 6.1.2 beschriebene Gewichtung der Parameter. Auch die branchenspezifischen Anforderungen nehmen Einfluss auf die Parametergewichtung. Der Output aus der Anwendung ist die Fokussierung des Projektteams auf die einheitlichen und klar definierten Projektziele, das Generieren eines einheitlichen Bewusstseins hinsichtlich der Entwicklung und eine Methodenauswahl für die Entwicklungsaufgabe. Elementar für die weitere Entwicklung ist in diesem Zusammenhang das Resultat aus der Anwendung der Fokusgenerierung, welches mit einer eindeutigen Methodenauswahl das weitere methodische Vorgehen während des Entwicklungsprojekts vorgibt. Ein Überblick über den In- und Output der Fokusgenerierung ist in Bild 6.4 zu sehen.

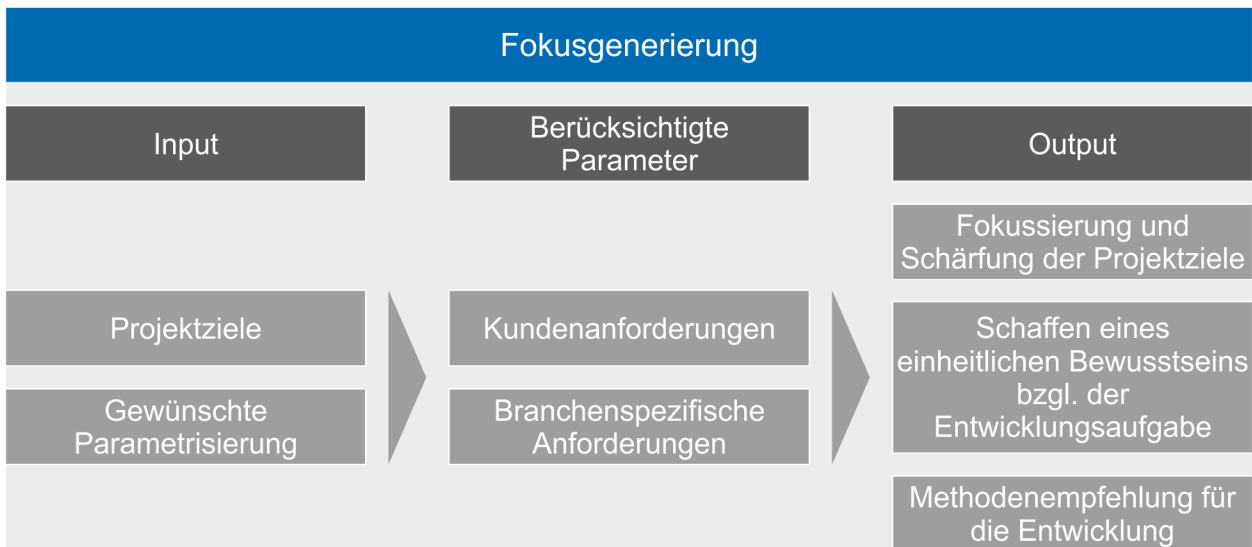


Bild 6.4: Schematische Übersicht über den Input, die berücksichtigten Parameter und den Output der FG

6.1.2 Bewertungsskala und Bewertung

Die Parameter, die in Kapitel 4 als die wichtigsten, hinsichtlich der Entwicklung von adaptiven Interfaces, identifiziert werden, kommen in der FG zum Einsatz. Zu Beginn des durchzuführenden Projekts generiert das Projektteam gemeinsam eine Bewertung dieser Parameter, siehe Tabelle 6.2. Hierbei handelt es sich um insgesamt 20 verschiedene, die Projektziele betreffenden Parameter, wobei die beiden Parameter Kundenanforderungen und branchenspezifische Anforderungen nicht bewertet werden, da diese bei der Anwendung der FG bereits Berücksichtigung finden. Die Parameter resultieren aus den in Kapitel 4.1.7 generierten und gewichteten Parametern. Von Bedeutung hierbei ist es, dass diese Bewertung im Konsens aller Projektbeteiligten getroffen wird, wobei relevante Überlegungen zur Vereinheitlichung des Projektfokus im Projektteam entstehen. Außerdem ist beim Ausfüllen der Bewertungstabelle zu beachten, dass die 5-stufige Bewertungsskala für alle Parameter dieselben Wertebereiche bereitstellt und dadurch das Bewertungsverhältnis unter den Parametern berücksichtigt wird. Die Ratingskala ist nach den Gestaltungsempfehlungen von MENOLD & BOGNER [2015, S.5] präzise, ausbalanciert, allgemein verständlich und äquidistant gestaltet. Der Wertebereich der Skala wird nach ROHRMANN [1978, S. 231] mit der in Tabelle 6.1 dargestellten verbalen Bezeichnung versehen. Die verbale Bezeichnung ‚nicht wichtig‘ steht für den negativsten Ausschlag und kommt dem Zahlenwert 0 gleich. Der Zahlenwert 1 wird durch die Bezeichnung ‚wenig wichtig‘ widerspiegelt. Der neutrale Wert ist 2 und wird verbal als ‚mittelmäßig wichtig‘ gekennzeichnet. Der erste von zwei positiven Bewertungen in der Skala ist auf der Zahlenskala 3 und auf der verbalen Skala als ‚ziemlich wichtig‘ definiert. Der positivste Skaleneintrag ist ‚sehr wichtig‘ bzw. der Zahlenwert 4.

--	-	.	+	++
nicht wichtig	wenig wichtig	mittelmäßig wichtig	ziemlich wichtig	sehr wichtig
0	1	2	3	4

Tabelle 6.1: Verwendete Ratingskala in Anlehnung an ROHRMANN [1978, S. 231]

Mit dem dargestellten Wertebereich werden die unterschiedlichen Parameter bewertet. Eine Erklärung zu den 20 verschiedenen Parametern findet sich im Anhang unter Tabelle A.5. Die Tabelle 6.2 zeigt in der ersten Spalte die 20 zu bewertenden Parameter. In der zweiten Spalte sind Bewertungen aus dem Projekt EvP3 als Anwendungsbeispiel eingetragen. Die zweite Spalte wird vom Methodenanwender ausgefüllt, während die weiteren fünf Spalten bereits vorausgefüllt sind. Diese fünf Spalten beinhalten die fünf Methoden und eine Zuordnung der jeweiligen Parameter zu den Methoden. Hier ist eine Vorauswahl getroffen, die einer Zuordnung der Parameter zu den verschiedenen Methoden entspricht. Die beiden letzten Parameter, Kundenanforderungen und branchenspezifische Anforderungen, sind der Fokusgenerierung zugeordnet. Diese beiden Parameter werden dementsprechend bereits bei der Anwendung der Fokusgenerierung angewendet und müssen nicht gewichtet werden. Diese Parameter sind projektbedingt bereits vom jeweiligen Kunden und der jeweiligen Branche definiert. Die letzte Zeile bildet die Summe aus der Bewertung der Parameter, die der relevanten Methode zugeordnet ist und für die weitere Berechnung in Kapitel 6.1.3 von Bedeutung ist.

Bewertung / Methoden Parameter	Bewertung	Methoden				
	0-4	FG	FZM	KM	FuB	LM
Ergonomie	3					x
Intuitivität	4				x	
Kompatibilitäten	4				x	
Benutzer- freundlichkeit	3				x	
Funktions- erkennung	4					x
Funktions- eindeutigkeit	4					x
Fähigkeiten des Users	0			x		
Qualifikation des Users	0			x		
Anordnung	3					x
Usability	3				x	x
Komplexität	4			x		
BSZ / Use- Case	4				x	
Bedien- geschwindigkeit	3				x	
Bedien- häufigkeit	3					x
Bedien- präzision	2				x	
Blind- bedienung	2		x			
Verfügbarkeit der BE	4					x
Bedien- umgebung	3		x			
Kunden- anforderungen	-	x				
Branchenspe- zifische Anford.	-	x				
Summe x	-	-	5	4	23	24

Tabelle 6.2: Bewertungstabelle der Fokusgenerierung am Bsp. EvP3

6.1.3 Berechnung

Mit der in Tabelle 6.2 erfassten Gewichtung und der dazugehörigen Zuordnung der Parameter zu den fünf Methoden wird im nächsten Schritt rechnerisch eine Empfehlung bestimmt. Aus dieser resultiert mit den erfassten Projektzielen und dem Projektfokus eine Empfehlung für die zu verwendenden Methoden. Die Berechnung ist in Tabelle 6.3 dargestellt. Da bei der Bewertung ein unausgeglichenes Verhältnis der Zuordnung zu den einzelnen Methoden herrscht, muss dieses rechnerisch ausgeglichen werden. Der FZM sind zwei Parameter, der KM drei Parameter, der FuB und der LM jeweils sieben Parameter zugeordnet. In einem ersten Schritt wird die Summe der Gewichtung, die pro Methode bzw. pro Spalte erreicht wird, addiert. Hier werden die x -Werte jeder Methode generiert. Diese sind sowohl in Tabelle 6.2 als auch in Tabelle 6.3 zu sehen. Die maximal möglichen Werte jeder einzelnen Spalte sind in der Zeile x_{\max} festgehalten. Der höchste dieser Werte ist $x_{\max, \text{all}}$. Der Wert $x_{\max, \text{all}}$ wird durch x_{\max} geteilt. Hierbei entstehen die Faktoren $7/2$ für die FZM, $7/3$ für die KM, 1 für die FuB, und 1 für die LM, welche als y gekennzeichnet sind. Dieser Faktor gleicht das Missverhältnis aus, welches bei der Parameterverteilung zu den jeweiligen Methoden entstanden ist. Um nun ein aussagekräftiges Verhältnis über die Wichtigkeit der vier Methoden in dem relevanten Projekt zu erhalten, wird die ursprüngliche Summe x mit dem errechneten Faktor y multipliziert. Das Ergebnis z wird durch die Summe aller z -Werte geteilt und es resultiert ein Wert zwischen 0 und 1 . Durch die Multiplikation mit 100 entsteht ein Prozentwert. Dieser Wert trifft eine Aussage über die Wichtigkeit der jeweiligen Methodenanwendung hinsichtlich des betrachteten Projekts.

		Methoden			
		FZM	KM	FuB	LM
Summe der Bewertungen einer Methode über alle Parameter	x	5	4	23	24
Maximal möglicher x -Wert	x_{\max}	8	12	28	28
Maximal möglicher x -Wert, aller Methoden	$x_{\max, \text{all}}$	28			
Verhältnis zwischen max. mögl. Wert aller Methoden zu max. mögl. Wert der Methode	$y = (x_{\max, \text{all}} / x_{\max})$	$7/2$	$7/3$	1	1
Produkt aus dem Verhältnis y und der Summe der Bewertungen x	$z = y * x$	17,5	9,3	23	24
Summe aus z , die den theoretischen, methodenübergreifenden Maximalwert darstellt	$\Sigma (z)$	73,833			
Prozentuale Wichtigkeit der Methode für den Projektfokus	$(z / \Sigma (z)) * 100$	23,7	12,6	31,2	32,5

Tabelle 6.3: Berechnungsübersicht

Das Ergebnis der Berechnung wird nun mit Hilfe eines definierten Wertebereichs eingeteilt. Die Werte entspringen Erfahrungswerten in der Methodenanwendung und berücksichtigen eine begrenzte Verfügbarkeit an personellen und zeitlichen Kapazitäten im Projekt, welche lediglich als qualitative Größen betrachtet werden. Die Verteilung des Wertebereichs ist so gewählt, dass lediglich eine Methode als Wichtigste eingeordnet werden kann. Zusätzlich ist in diesem Fall ebenso nur maximal eine Methode als sehr wichtig definiert, was wiederum den jeweils anderen beiden Methoden keine Notwendigkeit in der Anwendung zukommen lässt. Die Empfehlung von drei Methoden lässt lediglich eine wichtigste Methode und maximal zwei Methoden im dritten Wertebereich von 0,17 - 0,33 zu, um die Notwendigkeit verfügbarer Kapazitäten nicht zu überschreiten. Wird die Anwendung von vier Methoden empfohlen sind diese entweder demselben Wertebereich zugeordnet oder die Verteilung beschränkt sich auf die beiden mittleren Wertebereiche. Die Wertebereiche und die zugehörige Einteilung sind in Tabelle 6.4 dargestellt. In diesem Beispiel werden wie auch in Tabelle 6.2 und 6.3 sämtliche Parameter anhand der Daten aus dem Anwendungsbeispiel EvP3 verwendet. Folglich kommt es in diesem Beispiel zu den in Tabelle 6.4 dargestellten Ergebnissen. Die Empfehlung für EvP3 führt zur Anwendung der FZM, FuB und LM. Das in Tabelle 6.4 dargestellte Ergebnis der FG empfiehlt eine Anwendung der drei Methoden FZM, FuB und LM im weiteren Projektverlauf. Die drei Methoden werden dann als gleichgewichtet betrachtet, was wiederum auch die Empfehlung einer gleichbetrachteten Anwendung hinsichtlich personeller und zeitlicher Kapazitäten für die Projektplanung nach sich zieht. Im Falle einer unterschiedlichen Gewichtungsverteilung ist projektspezifisch zu entscheiden, ob eine dementsprechende Verteilung der Kapazitäten auf die Methoden durchgeführt wird. Die Definition der Wertebereiche ermöglicht eine sinnvolle Verteilung der Kapazitäten auf die jeweils wichtigen Methoden.

		Methoden			
		FZM	KM	FuB	LM
Wichtigste Methode in diesem Projekt.	> 0,5				
Methode ist im Projekt sehr wichtig und der Anwendung sollte besonderer Augenmerk gelten.	> 0,33 - 0,5				
Methode wird im Projekt angewendet.	0,17 - 0,33	x		x	x
Methodenanwendung ist in diesem Projekt nicht notwendig.	< 0,17		x		

Tabelle 6.4: Wertebereich und Einordnung anhand des EvP3

6.1.4 Diskussion

Die Fokusgenerierung dient der Methodenvorauswahl, gebunden an die jeweiligen Projektziele und Interessen der Projektpartner. In der konkreten Umsetzung der Fokusgenerierung können unterschiedliche Methoden wie ein ‚cognitive walkthrough‘, die Aufstellung eines Meilensteinplans oder rudimentäre Diskussionen über die Vorgehensweise, einzusetzenden Werkzeuge und Methoden, Zuständigkeiten und Projektziele dienen, um eine Vereinheitlichung der Erwartungen und Vorstellungen an das Projekt zu erzielen. Das Ergebnis ist eine flexible Methodenempfehlung, die die modular aufgebaute Methodik bereitstellt. Dies entspricht einem quasigeleiteten Projektleitfaden.

6.2 Funktions-Zuordnungsmethode

Nach der abgeschlossenen Fokusgenerierung ist der erste mögliche Methodeneinsatz die Anwendung der Funktions-Zuordnungsmethode. Hier wird der Gedanke verfolgt, alle zu bedienenden Funktionen zu kategorisieren. Diese Kategorisierung teilt sämtliche Funktionen unterschiedlichen Interfacetechnologien zu. Es bedarf eines methodischen Ansatzes, welcher die verschiedenen Funktionen parametrisiert und anschließend den zur Verfügung stehenden IFT zuordnet. Die notwendigen Parameter werden aus dem Expertenwissen aus Kapitel 4.1.8 generiert.

6.2.1 Motivation und Abgrenzung

Bei der Anwendung der Funktions-Zuordnungsmethode werden die aus Kapitel 4.1.7 bekannten Parameter Blindbedienung und Bedienumgebung berücksichtigt. Beide Parameter werden in der in Kapitel 6.2.3 beschriebenen Funktionscharakterisierung bewertet und fließen in die Eignungsberechnung, siehe Kapitel 6.2.5, ein. Der Output der Methodenanwendung ist die Gestaltungsempfehlung hinsichtlich geeigneter Interfacetechnologien für einzelne Bedienfunktionen, einzelner Funktionsgruppen, einzelner Bedienszenarien oder des gesamten Interfaces hinsichtlich einer virtuellen oder realen Bedienung.

Die Notwendigkeit einer Gestaltungsempfehlung für Bedienfunktionen hinsichtlich der IFT, durch die sie ausgeführt werden, wird durch Experteninterviews bestätigt. Eine solche Gestaltungsempfehlung muss zwei elementare und korrelierende Faktoren beherrschen, um anwendbar zu sein. Zum einen muss die hohe Vielfalt der abzubildenden Funktionen und das stetig steigende Wachstum bzw. die Veränderung von Funktionscharakteristika, die in unterschiedlichen Branchen einer technischen Umsetzung bedürfen, erfasst werden. Hier ist eine starre und unflexible Gestaltungsempfehlung nicht zielführend. Es bedarf eines abstrakten methodischen Ansatzes, um die Aktualität und den Umfang punktuell zu erfassen.

Zum anderen gilt es technologischen Entwicklungen nachzukommen. Bei der Entwicklung von Technologien für Bedienfunktionen sind hohe Forschungsaufwände und rapide Forschungsfortschritte zu verzeichnen, welche eine Gestaltungsempfehlung gekoppelt an den Stand der Technik nach kürzester Zeit obsolet erscheinen lassen. Diese Entwicklung begründet die Notwendigkeit eines abstrakten methodischen Ansatzes zur Kategorisierung von Funktionen und deren geeigneter IfT.

Durch die Expertise von Spezialisten können Parameter generiert werden, welche als Einflussgrößen dienen, um Funktionen hinsichtlich ihrer Eignung zu bestimmten IfT zu charakterisieren. Durch diese Vorgehensweise wird ein Werkzeug generiert, welches eine Funktionscharakteristik bietet und dieser eine oder mehrere geeignete IfT zuordnet.

Mit diesem methodischen Ansatz wird erreicht, dass sämtliche Funktionsumfänge erfasst und zeitgleich neue oder weiter entwickelte IfT einbezogen werden können.

Die FZM stellt im Rahmen dieser Arbeit lediglich Parameter zur Verfügung, die auf die Unterscheidung zwischen der virtuellen und realen Interfacetechnologie abzielt. Um einen umfassenden Ansatz zu erhalten, müssen die Parameter spezifisch auf zusätzliche Interfacetechnologien erweitert werden. Für die zu entwickelnde Methodik besteht kein Bedarf den Ansatz über die beiden Interfacetechnologien real und virtuell hinaus auszuweiten, weshalb auch die Parametersammlung lediglich darauf ausgelegt ist.

Für die Durchführung der Funktions-Zuordnungsmethode ist die gewichtete Parametrisierung notwendig, die die Entwicklungsziele des Projekts widerspiegelt. Zusätzlich muss ein Projektfokus auf die angestrebte Funktionszuordnung getroffen werden. Hierbei muss entschieden werden, ob die Methode auf die BF, die FuG, die BSZ oder das gesamte Interfacesystem (IS) angewendet werden soll. Im Folgenden wird stellvertretend für die BF, die FuG, die BSZ und das IS lediglich von den BF gesprochen.

Ein Überblick über den In- und Output der FZM ist in Bild 6.5 zu sehen.

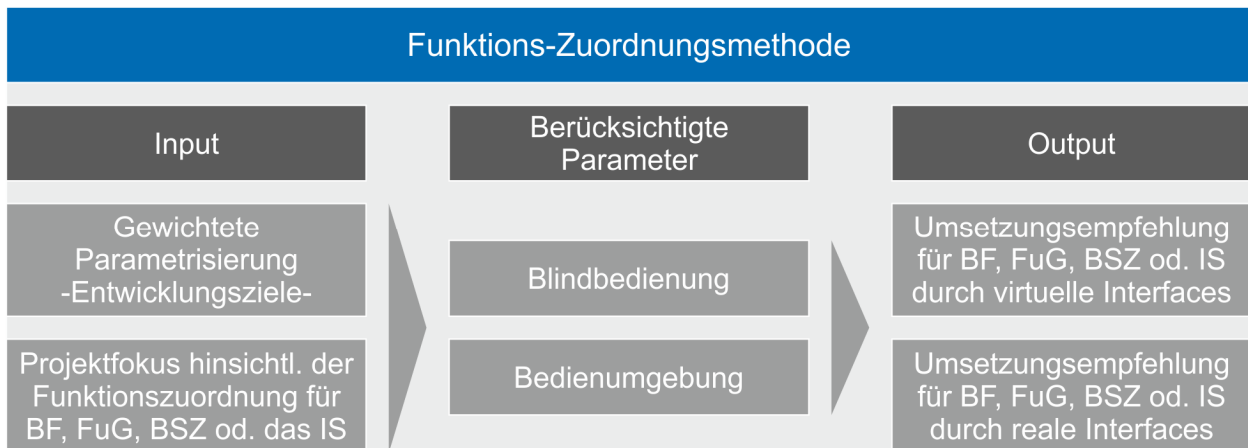


Bild 6.5: Schematische Übersicht über den Input, die berücksichtigten Parameter und den Output der FZM

6.2.2 Parameterauswahl aus Expertendelphi

In dem Expertendelphi konnten Tendenzen ermittelt werden, die die Parameter hinsichtlich einer virtuellen oder realen Bedienung charakterisieren. Hieraus kann abgeleitet werden, welche Anforderungen an bestimmte Bedienszenarien für ein virtuelles oder reales Interface ausschlaggebend sind. Dies ist der elementare Bestandteil für die Kategorisierung unterschiedlicher Funktionen in die verschiedenen Interfacetechnologien. Die Parameter sind auf die reale und virtuelle Bedienung fokussiert. Es heben sich elf Parameter mit einer eindeutigen Tendenz aus der Parametersammlung ab, wie in Kapitel 4.1.8 dargestellt. Zusätzlich werden diese um drei Parameter ergänzt, die aus Erfahrungen bei der Anwendung der Gesamtmethodik resultieren. Diese sind die ‚Prä-Bedienung‘, die ‚Intra-Bedienung‘ und die ‚Post-Bedienung‘. Diese drei Parameter definieren den Zeitpunkt der Bedienung und spiegeln die Dynamik der Arbeitsumgebung wider, wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Insgesamt existieren somit 14 Parameter. Sieben davon signalisieren eine Tendenz zur realen Bedienung und sieben zur virtuellen Bedienung. Eine Parameterbeschreibung ist im Anhang in Tabelle A.6 dargestellt. Die Maximalbewertung für eine IfT beträgt 20, wie in Tabelle 6.6 zu sehen ist.

Die Bewertung wird anhand einer 5-stufigen Likert-Skala mit den Zahlenwerten von 0 bis 4 vorgenommen. Diese Skala wird sowohl für die Funktionscharakterisierung als auch für die Charakterisierung der IfT verwendet.

6.2.3 Funktionscharakterisierung

In einem ersten Schritt bewertet der Methodenanwender sämtliche Bedienfunktionen mittels der definierten Parameter. Anhand der in Tabelle 6.5 aufgelisteten Parameter resultiert hier eine erste Charakterisierung hinsichtlich der Wichtigkeit des Parameters für die jeweilige BF. Die Bewertung für die unterschiedlichen Bedienszenarien wird in

eine Bewertung unterschiedlicher Funktionsgruppen unterteilt. Diese Funktionsgruppen können wiederum in mehrere Bedienfunktion gegliedert werden. Diese werden nach der Wichtigkeit, siehe Tabelle 6.1, mit einer 5-stufigen Likert-Skala bewertet. Tabelle 6.5 stellt beispielhaft das BSZ Straßenfahrt (Transport) bei einem vom Traktor gezogenen Güllefass der Firma Zunhammer dar. Für jede BF wird ein Eignungsgrad (EG) berechnet. Eine detaillierte Erklärung zu dieser Berechnung wird in Kapitel 6.2.5 aufgezeigt. Diese Anwendung kommt in EvP3 zum Einsatz und wird hier exemplarisch dargestellt. Es handelt sich lediglich um einen Auszug aus der Anwendung der FZM im Projekt. Hier sind sechs der 31 BF für das repräsentative Arbeitsgerät aufgeführt. In Summe werden im Rahmen des EvP3 12 Arbeitsgeräte mit durchschnittlich 19 BSZ pro Arbeitsgerät und insgesamt 460 BF untersucht und demnach einzelne Bediencharakteristiken abgeleitet. Mit Hilfe dieser Bewertung kann jede einzelne Bedienfunktion BF charakterisiert werden.

BSZ	Straßenfahrt (Transport)					
Funktionsgruppe	Reifendruck einstellen		Deichsel einstellen			Rührwelle
Bewertung BF Parameter	Reifendruck- regelanlage aktivieren	Reifendruck ändern	Deichsel- federung	Deichsel- federung Automatik	Traktivdeichsel (Topdruck- zylinder)	Rührwelle
	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4
Individualisierbarkeit	0	0	0	0	0	0
Updatefähigkeit	3	3	3	3	3	3
Simultanbedienung	1	1	1	1	1	1
Blindbedienung	0	3	3	1	1	0
Funktionsumfang	0	1	0	0	0	0
Bedienpräzision	1	1	1	0	0	1
Bediengeschwindigkeit	0	1	1	0	0	0
Bediensicherheit	2	2	2	2	2	2
Bedienflexibilität	0	2	2	1	2	1
Dynamische Umgebung	0	1	1	0	1	1
Modernität	0	0	0	0	0	0
Prä-Bedienung	4	4	4	4	4	0
Intra-Bedienung	4	4	4	0	0	4
Post-Bedienung	4	4	4	0	0	0
EG BF real	0,59	0,63	0,64	0,57	0,57	0,73
EG BF virtuell	0,70	0,66	0,64	0,71	0,71	0,55

Tabelle 6.5: Tabellarische Kategorisierung des BSZ Straßenfahrt am Bsp. EvP3

6.2.4 Charakterisierung der Interfacetechnologie

Welche Interfacetechnologie für jeden Parameter geeignet ist, wird bereits in der Expertenbefragung, siehe Kapitel 4.1.8, bewertet. Die Parameter in Tabelle 6.6 sind identisch mit denen aus Tabelle 6.5. Die Bewertung der beiden IfT entstammt aus den Mittelwerten der Ergebnisse der Experteninterviews, welche anhand der Bewertungsskala in Tabelle 6.7 in eine Skala von jeweils 0 bis 4 bzgl. virtueller und realer IfT eingeteilt werden.

Bewertung IfT Parameter	IfT reale Bedienung // BIfT _r	IfT virtuelle Bedienung (Touch) // BIfT _v
	0-4	0-4
Individualisierbarkeit	0	3
Updatefähigkeit	0	3
Simultanbedienung	2	0
Blindbedienung	4	0
Funktionsumfang	0	2
Bedienpräzision	3	0
Bediengeschwindigkeit	2	0
Bediensicherheit	3	0
Bedienflexibilität	0	2
Dynamische Umgebung	2	0
Modernität	0	2
Prä-Bedienung	0	4
Intra-Bedienung	4	0
Post-Bedienung	0	4
Σ	20	20

Tabelle 6.6: Bewertete IfT am Bsp. EvP3

Bei der Festlegung der Bewertung für die beiden Interfacetechnologien werden die gemittelten Bewertungen aus den Experteninterviews verwendet. Die dafür zugrundeliegende Bewertungsskala ist in Tabelle 6.7 dargestellt. Die sieben Stufen aus den Experteninterviews werden in einer Zahlenskala von 1 bis 7 eingeteilt. Dieser Bereich wird nun auf neun Bereiche erweitert. Die Erweiterung der Einteilung auf neun Stufen ist notwendig, um die Konsistenz der Fünfstufigkeit in der Bewertung innerhalb der Methoden zu bewahren. Die neun Stufen ermöglichen eine Bewertung von 0-4 für eine reale Bedienung und eine Bewertung von 0-4 für eine virtuelle Bedienung.

Tendenz IfT	virtuell				real				
Bewertungsskala aus Experteninterviews	-3	-2	-1	0	1	2	3		
Werteeinteilung aus Experteninterviews für die Charakterisierung der IfT	1 - 1,625	1,625 - 2,25	2,25 - 2,875	2,875 - 3,5	3,5 - 4,5	4,5 - 5,125	5,125 - 5,75	5,75 - 6,375 - 7	
Bewertungsskala für die Funktionscharakterisierung	4	3	2	1	0	1	2	3	4

Tabelle 6.7: Bewertungsskala

Diese neun Stufen beinhalten jeweils vier unterschiedlich starke Ausschläge in Richtung der realen und virtuellen Bedienung sowie einen neutralen Mittelwert. Eine einheitliche Einteilung für die neun Stufen wird mit 0,625 gewählt, wobei ein breiterer Wert von 1 für den Mittelwert (3,5-4,5) eingesetzt wird. Die exakten Ergebnisse der Expertenbefragung in Form einer Tabelle mit Boxplots befinden sich im Anhang unter Tabelle A.4.

6.2.5 Eignungsberechnung

Im nächsten Schritt muss berechnet werden, welche Interfacetechnologie besser für die jeweilige Bedienfunktion geeignet ist. Soll die einzelne Bedienfunktion einer Interfacetechnologie zugeordnet werden, werden deren Parameterbewertungen mit der Charakterisierung der unterschiedlichen Interfacetechnologie abgeglichen. Es wird ein Eignungsgrad (EG) für die beiden Interfacetechnologien berechnet. Jede Differenz zwischen Parameterbewertung und der Bewertung der IfT wird summiert. Anschließend wird der resultierende Wert durch den Maximalwert (Parameteranzahl x Maximalbewertung) geteilt. Das Ergebnis wird von 1 subtrahiert und es ergibt sich ein Wert zwischen 0 und 1. Je höher dieser Wert ist, desto besser geeignet ist die überprüfte IfT für die untersuchte BF. Die Gleichung zur Berechnung des EG ist folgende:

$$EG = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |BBF_i - BlfT_{i(r,v)}|}{\text{Parameteranzahl} \times 4} \quad (\text{Gl. 6.1})$$

Die Bewertung der Bedienfunktion wird in Gleichung 6.1 als BBF und die Bewertung für die IfT als BlfT abgekürzt. Nachdem diese Berechnung sowohl für die reale Bedienung als auch die virtuelle Bedienung durchgeführt ist, werden die beiden EG verglichen. Die IfT mit dem höheren EG ist für die untersuchte BF besser geeignet. Sind beide EG nahezu gleich, wird sowohl eine reale als auch eine virtuelle Bedienung gleichermaßen empfohlen. Die errechneten EG können in den Wertebereich, der Tabelle 6.8, eingesetzt werden, um die Bedeutung des EG-Wertes einzuordnen.

	0	0,25	0,5	0,75	1
Wertebereich für den Eignungsgrad	nicht geeignet	wenig geeignet	mittelmäßig geeignet	ziemlich geeignet	sehr geeignet

Tabelle 6.8: Wertebereich für den EG

Die letzten beiden Zeilen, die in Tabelle 6.5 zu sehen sind, zeigen die jeweiligen EG des beispielhaften Auszugs aus dem EvP3. Hier ist zu sehen, dass die erste, vierte und fünfte BF besser durch eine virtuelle Bedienung ausgeführt werden. Für die zweite und dritte BF, ist sowohl ein reales als auch ein virtuelles Interface geeignet, da die EG sich nur geringfügig unterscheiden. Für die sechste BF ist in Anbetracht der EG ein reales Interface besser geeignet.

6.2.6 Diskussion

Die FZM ist ein wichtiges Tool, um eine Entscheidungshilfe zu Rate zu ziehen, mit welcher IfT bestimmte BF durchgeführt werden sollen. Diese Entscheidung ist in der weiteren Anwendung sowohl ein großer Faktor bei der User Experience (UX) und Usability, die der User erlebt, als auch ein sicherheitskritischer Faktor.

Diese Methode kann durch Austauschen der Parameter und das Erweitern mit weiteren Interfacetechnologien aktualisiert und an die gewünschten Umstände angepasst werden. Die Gültigkeit der verwendeten Parameter entspricht bei fortschreitenden wissenschaftlichen Erkenntnissen und technologischen Fortschritten möglicherweise nicht mehr dem Stand der Technik, weshalb eine regelmäßige Überprüfung vor der Methodenanwendung nötig ist. Die Auswertung kann je nach Projektcharakteristik in der Detaillierung variieren. Die Berechnung des Eignungsgrades kann auf komplette Systeme angewendet werden. Projektspezifisch können Eignungsgrade einzelner Bedienszenarien, Funktionsgruppen und Bedienfunktionen ermittelt werden.

Falls Bedarf bestehen sollte, die Methode mit zusätzlichen Parametern für die reale bzw. virtuelle Bedienung zu erweitern, können aus der im Anhang in Tabelle A.4 dargestellten Tabelle weitere Parameter herangezogen werden, welche eine Tendenz hinsichtlich der IfT diagnostizieren. Die Parameter mit der eindeutigsten Tendenz sind wie beschrieben bereits in der Methode implementiert, jedoch können u. U. Parameter mit einer geringeren Tendenz zusätzlich behilflich sein.

6.3 Komplexitätsmethode

Die Komplexitätsmethode bestimmt den Zusammenhang zwischen der HMI- und Produktkomplexität (PK), den Fähig- und Fertigkeiten des Users und dem Automatisierungsgrad (AG) des Systems, sowohl für bestehende als auch für zu entwickelnde Produkte. Dies ist notwendig um zu gewährleisten, dass der User mit der Bedienung des zur Verfügung gestellten Produkts nicht überfordert ist. Als Analysetool wird die KM eingesetzt um Wettbewerbs- und Vorgängerprodukte auf die verschiedenen Komplexitäten zu überprüfen. Als Prognosetool wird die KM eingesetzt um zukünftige Produkte bzw. sich in der Planung befindliche Produkte hinsichtlich ihrer Komplexität einordnen zu können. Gegebenenfalls werden Optimierungen durchgeführt und Anwendungsempfehlungen formuliert.

6.3.1 Motivation und Abgrenzung

Die Komplexität technischer Systeme beeinflusst maßgeblich die Gestaltung der MMS, weshalb diese einen wichtigen Faktor im Entwicklungsprozess darstellt. Der methodische Ansatz zur Handhabung der Komplexität basiert auf drei miteinander verknüpften Variablen. Die Produktkomplexität, die HMI-Komplexität (HMIK) und der Automatisierungsgrad sind voneinander abhängig. Als Grundlage für die Beziehung zwischen Produkt- und HMI-Komplexität dient das UASW-Modell, siehe Kapitel 2.1.6. Die Produktkomplexität, siehe Kapitel 2.5, spiegelt die Komplexität wider, welche von den maschinenseitigen Funktionen ausgehen. Diese sind oftmals in den Anforderungen fixiert und Veränderungen sind nur schwierig möglich. Hier lässt sich kaum eine Reduktion der Komplexität erzielen. Die HMI-Komplexität identifiziert die Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle und hängt von der Umsetzung der Produktfunktionen im HMI ab. Das Bindeglied dieser beiden Komplexitäten ist der Automatisierungsgrad. Dieser gibt das Verhältnis zwischen den Funktionen des Produkts und den bedienbaren Funktionen des HMIs an.

Um die Produktkomplexität messbar zu machen, muss diese parametrisiert werden. In Kapitel 2.5 werden unterschiedliche Variablen aufgezeigt, welche dafür geeignet sind, grundsätzlich die Komplexität messbar zu machen. Diese werden auf die Produktkom-

plexität übertragen und an die spezifische Situation angepasst. Nach KAUFMANN ET AL. [2021] sind die relevanten und modifizierten Komplexitätsvariablen bezüglich der Produktkomplexität die Anzahl an Wirkteilen, die Anzahl an Funktionen eines Wirkteils, die Korrelation der Wirkteile untereinander und die Varietät der Wirkteile.

Die HMI-Komplexität setzt sich aus der Interfacekomplexität (IK) und der Expertise (E) zusammen. Die IK ist maßgebend bzgl. der HMI-Komplexität, jedoch spielt auch der jeweilige User eine entscheidende Rolle. Es gilt ein passendes Maß zu finden, den User mit einer spezifischen Expertise mit der Komplexität des Interfaces (IK) nicht zu überfordern. Hinsichtlich der Interface-Komplexität wird analog zur PK vorgefahren. Die identifizierten Variablen für die Komplexitätsbestimmung werden auf den spezifischen Interfacekontext übertragen. Diese sind die Anzahl der Stellteile, die Anzahl an Funktionen pro Stellteil, die Korrelation zwischen den Stellteilen und die Varietät der Stellteile. Die genannten Variablen stellen die Komplexität der Maschinenbedienung in den Vordergrund. Da die Bedienung stets von unterschiedlichen Usern durchgeführt wird, werden zusätzlich noch Komponenten bezüglich der Fertigkeiten und Fähigkeiten des Users berücksichtigt. Hierfür werden zwei Variablen eingeführt. Zum einen ist dies die Expertise des Users auf das relevante HMI (EH) bezogen. Zum anderen wird die Expertise des Users hinsichtlich des Produkts (EP) im Allgemeinen betrachtet.

Die dritte Variable ist der Automatisierungsgrad. Dieser dient als Ausgleichsvariable. Ergibt die Berechnung, dass der HMI-Komplexitätswert zu hoch ist und zeitgleich eine Reduzierung der PK nicht möglich ist, kann über eine Erhöhung des AGs eine Reduzierung der HMI-Komplexität erreicht werden.

Zusammenfassend generiert sich der Input für die KM aus Produktkennzahlen, die die Wirkteile des Produkts betreffen. Hierunter fallen die Anzahl der Wirkteile (AW), die Anzahl der Funktionen pro Wirkteil (AFW), die Korrelationen der Wirkteile (KW) und die Varietät der Wirkteile (VW). Außerdem sind die Produktkennzahlen des HMIs, die Stellteile, ein wichtiger Input für die KM. Synonym zu den Produktkennzahlen der Wirkteile zählt die Anzahl an Stellteilen (AS), die Anzahl an Funktionen pro Stellteil (AFS), die Korrelationen zwischen den Stellteilen (KS) und die Varietät der Stellteile (VS) als wichtiger Input. Als dritte Einflussgröße ist die Zielgruppencharakteristik zu nennen, welche sich in der Expertise des Users widerspiegelt. Diese lässt sich in die Expertise des HMIs (EH) und die Expertise des Produkts (EP) unterteilen. Insgesamt sind das zehn Variablen. Die in der KM berücksichtigten Parameter sind die Komplexität, die Fähigkeiten des Users und die Qualifikation des Users. Die Komplexität wird als Faktor berechnet, welcher wiederum ausschlaggebend für die Gestaltungsempfehlungen hinsichtlich der Fähigkeiten und Qualifikation des Users ist. Der resultierende Output sind die Kom-

plexitätskennzahlen bzgl. des Produkts, des IS und der notwendigen Expertise des Users. Aus der Kennzahl zur Expertise des Users und der Kennzahl des IS ergibt sich die Komplexitätskennzahl bzgl. des HMIs. Zusätzlich ergeben sich Empfehlungen zur Auslegung des Automationsgrads (AG) und die Einsatzmöglichkeiten des HMIs. Die Komplexität wird final in einen Wertebereich eingeordnet und Handlungsempfehlungen werden abgeleitet. Es entsteht eine Dreiecksbeziehung zwischen PK, HMIK und AG. Zusammenfassend sind der Input und Output in einer Übersicht in Bild 6.6 dargestellt.

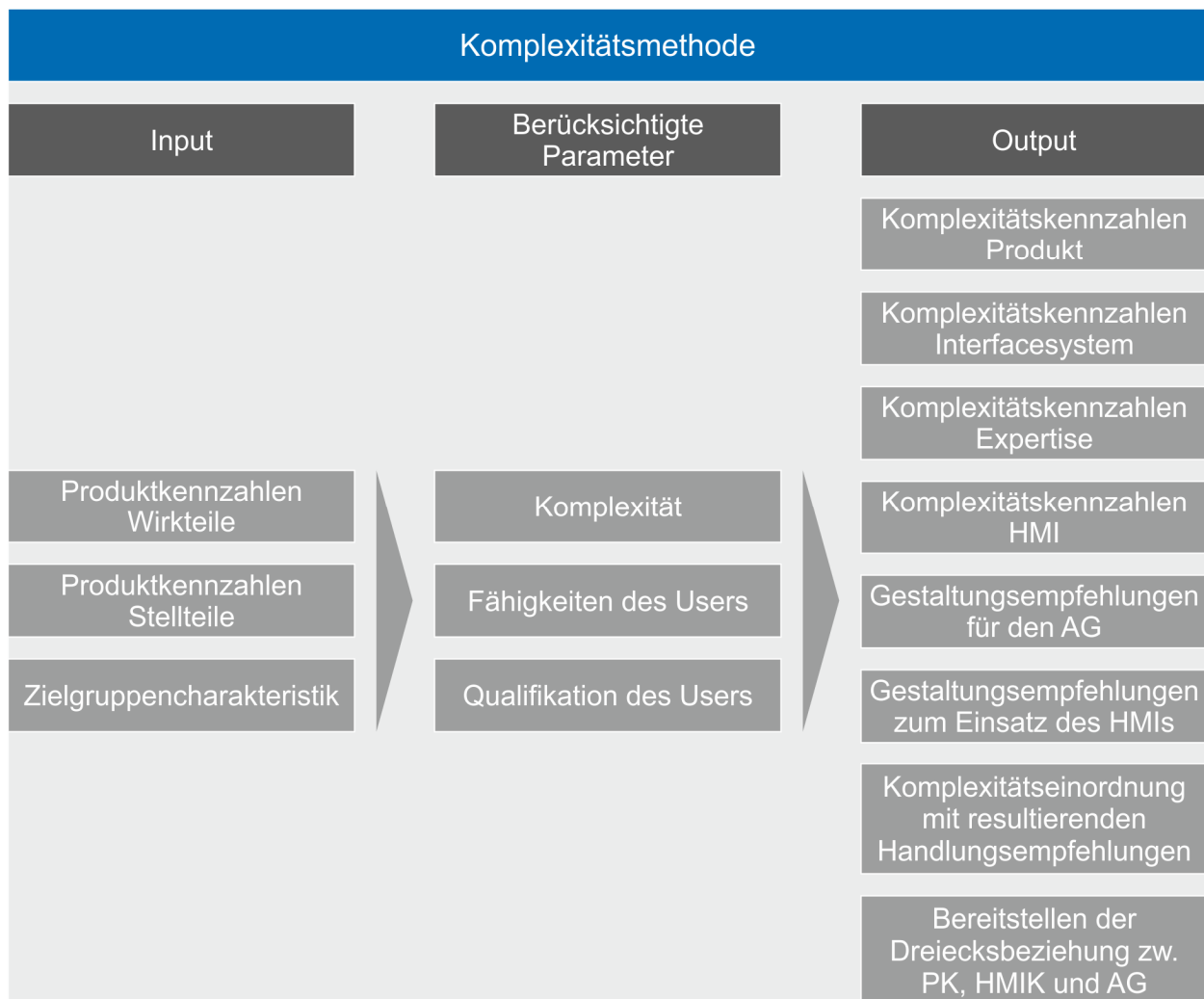


Bild 6.6: Schematische Übersicht über den Input, die berücksichtigten Parameter und den Output der KM

6.3.2 Bewertungsskala

Die Bewertung wird synonym zu der FG und FZM mit einer 5-stufigen Likert-Skala durchgeführt. Dabei werden für die zehn Variablen unterschiedliche Wertebereiche festgelegt. Die Wertebereiche für Expertise Produkt und Expertise HMI werden in Tabelle 6.9 dargestellt.

Wertebereich für die Expertise Produkt (EP) und Expertise HMI (EH)	0	1	2	3	4
	keine Erfahrung	seltene Nutzung	gelegentl. Nutzung	häufige Nutzung	permanente Nutzung

Tabelle 6.9: Wertebereiche EP und EH

Die folgenden definierten Wertebereiche der Tabellen 6.10 bis 6.13 gelten sowohl für Wirkteile als auch Stellteile. Die Tabellen bzgl. der Stellteile sind im Anhang unter Tabelle A.7 bis A.10 dargestellt. Die Definitionen der Wertebereiche wurden unter Berücksichtigung der Komplexitätscharakteristiken und deren Einfluss auf das Produkt bzw. HMI hinsichtlich der Wirkteile und Stellteile getroffen. Tabelle 6.10 präsentiert die Wertebereiche für die Anzahl an Wirkteilen, die von 0 bis > 100 eingeteilt sind. Die Einteilung der Wertebereiche basiert auf dem in KAUFMANN ET AL. [2021] vorgestellten Ansatz. Existieren keine Wirkteile bzw. Stellteile handelt es sich um ein wenig komplexes Produkt bzw. HMI. Der Wertebereich 1-7 richtet sich nach den Erkenntnissen aus MILLER [1965] wonach 7 ± 2 Informationseinheiten als Grenze des Arbeitsgedächtnisses bzgl. eines Zeitpunkts gelten. Die beiden mittleren Wertebereiche wurden aufgrund der in KAUFMANN ET AL. [2021] durchgeführten Evaluation anhand von Beispielprodukten festgelegt. Bei einer Anzahl von mehr als 100 Wirkteilen handelt es sich um ein sehr komplexes Produkt. Ab 100 Wirkteilen kann davon ausgegangen werden, dass Verbesserungen getroffen werden müssen unabhängig der exakten Anzahl.

Anzahl an Wirkteilen	0	1	2	3	4
	0	1 - 7	8 - 49	50 - 100	> 100
	Wirkteile	Wirkteile	Wirkteile	Wirkteile	Wirkteile

Tabelle 6.10: Wertebereiche AW

Tabelle 6.11 stellt die Wertebereiche für die Anzahl an Funktionen pro Wirkteil, die von $\emptyset 1$ bis $\emptyset > 4$ eingeteilt sind, dar. Hier wird der Durchschnittswert der Funktionen erfasst der einem Wirkteil zugeordnet werden kann. Die Wertebereiche wurden anhand der beispielhaften Evaluation aus KAUFMANN ET AL. [2021] eingeteilt.

Anzahl an Funktionen pro Wirkteil	0	1	2	3	4
	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 4	Ø > 4
	Funktion pro Wirkteil	Funktionen pro Wirkteil	Funktionen pro Wirkteil	Funktionen pro Wirkteil	Funktionen pro Wirkteil

Tabelle 6.11: Wertebereiche AFW

Tabelle 6.12 zeigt die Wertebereiche für die Korrelationen zwischen den Wirkteilen, die von Ø 1 bis Ø > 4 eingeteilt sind. Die Korrelationen zwischen den Wirkteilen stellen die wechselseitige Beziehung zwischen den unterschiedlichen Wirkteilen dar. Funktioniert ein Wirkteil lediglich aufbauend auf die Funktion eines anderen Wirkteils, dann korrelieren die beiden Wirkteile miteinander. Die Einteilung der Wertebereiche basiert wiederum auf den Untersuchungen aus KAUFMANN ET AL. [2021].

Korrelation zwischen den Wirkteilen	0	1	2	3	4
	0	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø > 3
	Korrelation zwischen Wirkteilen	Korrelation zwischen Wirkteilen	Korrelationen zwischen Wirkteilen	Korrelationen zwischen Wirkteilen	Korrelationen zwischen Wirkteilen

Tabelle 6.12: Wertebereiche KW

Tabelle 6.13 veranschaulicht die Wertebereiche für die Varietät der Wirkteile, die von 0 % bis 100 % der unterschiedlichen Wirkteiltypen reicht. Eine Varietät der Wirkteiltypen von 0 % heißt, dass es sich um ausschließlich gleiche Wirkteile handelt. Eine Varietät von 100 % bedeutet, dass alle Wirkteile unterschiedlich sind und keine gleichen Wirkteile in dem technischen System existieren.

Varietät der Wirkteile	0	1	2	3	4
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
	unterschiedliche Wirkteiltypen	unterschiedliche Wirkteiltypen	unterschiedliche Wirkteiltypen	unterschiedliche Wirkteiltypen	unterschiedliche Wirkteiltypen

Tabelle 6.13: Wertebereiche VW

Die Wertebereiche der Bewertungsskalen für die Stellteile sind im Anhang in den Tabellen A.7 bis Tabelle A.10 aufgelistet. Sie sind identisch zu den Bewertungsskalen der Produktkennzahlen der Wirkteile.

Vor dem Einsatz der in Tabelle 6.9 bis 6.13 und Tabelle A.7 bis A.10 im Anhang dargestellten Wertebereiche, müssen die Grenzen überprüft und gegebenenfalls auf das spe-

zifische Entwicklungsvorhaben angepasst werden. Die Grenzwerte sind nach den in KAUFMANN ET AL. [2021] beschriebenen Kriterien definiert.

6.3.3 Komplexitätsberechnung

Die Berechnung der Komplexität wird mit Hilfe der dargestellten Variablen durchgeführt. Die Berechnungen werden in KAUFMANN ET AL. [2021] in vier beispielhaften Anwendungen mit unterschiedlichen Produkten evaluiert. Im Rahmen dieser Arbeit werden zusätzlich drei Projektevaluationen erfolgreich durchgeführt, um die Validität der Methode zu erhöhen. Die Berechnung der Produktkomplexität wird in Gleichung 6.2 dargestellt:

$$PK = \frac{AW + 0,5 * (AFW + KW + VW)}{10} \quad (\text{Gl. 6.2})$$

Die wichtigste Variable hinsichtlich der Produktkomplexität ist die Anzahl der Wirkteile (AW). Je mehr Wirkteile in einem technischen System vorhanden sind, desto komplexer wird das System sein, weshalb in der Berechnung AW doppelt so schwer gewichtet wird, wie die weiteren Variablen AFW, KW und VW. Die Summe aus diesen gewichteten Variablen wird durch den maximal erreichbaren Wert zehn geteilt. Der Wertebereich des Ergebnisses erstreckt sich von 0 bis 1. Aus dem in Tabelle 6.14 definierten Wertebereich resultieren die entsprechenden Gestaltungsempfehlungen.

Ergibt sich ein PK-Wert von $> 0,7$, signalisiert dies eine hohe Produktkomplexität, welche wiederum einen Indikator für eine sehr hohe bzw. hohe HMIK darstellt und sich durch eine Erhöhung des AG senken lässt. Befindet sich der Wert zwischen $0,7$ und $0,3$ spiegelt dies eine moderate PK wider, was wiederum ein Indiz dafür ist, dass auch die HMIK auf einem moderaten Niveau liegt. Liegt der PK-Wert unter $0,3$ deutet dies auf eine niedrige Produktkomplexität hin, woraus Rückschlüsse auf eine ebenso niedrige HMIK gezogen werden können.

Mit Hilfe der PK können im Fall einer Neuentwicklung eines HMIs, in der keine konkrete Analyse des HMIs stattfinden kann, Rückschlüsse auf die HMIK gezogen werden.

Die Berechnung der HMI-Komplexität in Gleichung 6.5 setzt sich aus der in Gleichung 6.3 dargestellten IK und der in Gleichung 6.4 dargestellten Expertise zusammen.

$$IK = \frac{AS + AFS + 0,5 * (KS - VS)}{10} \quad (\text{Gl. 6.3})$$

Bei der Berechnung der IK sind die dominierenden Variablen die Anzahl an Stellteilen (AS) und die Anzahl der Funktionen pro Stellteil (AFS), die im Vergleich zu der Korrelation der Stellteile (KS) und der Varietät der Stellteile (VS) doppelt gewichtet sind, da wiederum die Anzahl und Funktionsanzahl der Stellteile einen höheren Einfluss auf die Komplexität des Interfaces haben, als KS und VS. KS und VS haben einen sich entge-

gegengesetzten Effekt, weshalb sie voneinander subtrahiert werden. KS hat den Effekt die Komplexität zu erhöhen, da mehr Korrelationen zwischen den Stellteilen ein größeres Verständnis in der Bedienung erforderlich macht. Eine hohe Varietät der Stellteile verringert im Gegenteil zur Varietät der Wirkteile die Komplexität des Interfaces, da der User die variierenden Stellteile besser unterscheiden und den zugehörigen BF zuordnen kann. Der Faktor 10 im Nenner ergibt sich wiederum aus dem maximal möglichen Wert, was zur Folge hat, dass der erreichbare Wertebereich zwischen 0 und 1 liegt. Die Berechnung der Expertise wird in Gleichung 6.4 dargestellt:

$$E = \frac{EH + 0,5 EP}{6} \quad (\text{Gl. 6.4})$$

Bei der Berechnung der Expertise E ist EH doppelt so hoch gewichtet wie EP, da die Kenntnisse des relevanten HMIs dem User die Bedienung deutlich vereinfacht, im Gegensatz zur Expertise des Produkts. Der Nenner 6 repräsentiert wiederum den maximal erreichbaren Wert. Der erzielbare Wertebereich von E liegt zwischen 0 und 1. Die Berechnung der HMI-Komplexität wird in Gleichung 6.5 dargestellt:

$$\text{HMIK} = (1-E) + \text{IK} \quad (\text{Gl. 6.5})$$

Die HMIK setzt sich aus E und IK zusammen. Da eine hohe Expertise günstig für einen niedrigen HMIK-Wert ist, geht die Expertise mit $(1-E)$ in die Berechnung ein. Bei maximaler Expertise des Users geht dieser Term gegen 0. Somit ist E und IK gleich gewichtet, da der erzielbare Wertebereich von HMIK zwischen 0 und 2 liegt.

Stellt sich ein HMIK-Wert von $> 1,5$ ein, ist die Komplexität für den jeweiligen User zu hoch und es sind Optimierungen durchzuführen. Bei einem Wert zwischen 1,5 und 1 ist von einer hohen Komplexität auszugehen mit der Empfehlung zu Optimierungen. Wird ein Wert zwischen 1 und 0,75 berechnet, wird von einer moderaten Komplexität ausgegangen und Optimierungen sind demnach optional. Bei Werten unter 0,75 ist die Komplexität bedienbar und es sind keine Optimierungen in Erwägung zu ziehen.

Der Zusammenhang zwischen der errechneten Expertise und der IK gibt nach den untersuchten Beispielen die Indikation, dass ein E-Wert von über 0,83 eine IK von über mindestens 0,5 problemlos bedienbar machen sollte. Handelt es sich um einen E-Wert von über 0,5 sollte eine Bedienung eines Interfaces mit dem errechneten Wert von über 0,25 für den User bedienbar sein.

Stellt sich nach der Berechnung anhand des HMIK-Werts heraus, dass Optimierungen notwendig sind bzw. umgesetzt werden sollen, können folgende Gestaltungsmaßnahmen ergriffen werden. Der Automatisierungsgrad AG kann erhöht werden, um zeitgleich die HMIK zu senken. Die Anzahl an Stellteilen (AS) kann mit der Hilfe von z. B. adaptiven BE verringert werden. Grundsätzlich kann geprüft werden, ob die PK gesenkt wer-

den kann. Bei einer Senkung der Korrelation der Stellteile sinkt HMIK, genauso wie bei einer Erhöhung der Varietät der Stellteile. Im Falle, dass weder an der PK noch an der IK eine Verbesserung erzielt wird, kann die Expertise der User verbessert werden. Hier können Schulungen, Trainings, Service-Hotlines und Bedienunterstützungen dazu beitragen, dass der User die Komplexität des HMIs schneller und besser verinnerlicht.

Tabelle 6.14 stellt die Wertebereiche der beiden Komplexitäten und die zugehörigen Gestaltungsempfehlungen dar.

Wertebereiche		Beschreibung		Gestaltungsempfehlung
		PK	HMIK	
Produktkomplexität von 0 bis 1	PK > 0,7	hohe PK	Indikator, dass die HMIK sehr hoch bzw. hoch sein könnte. Der AG sollte erhöht werden, um die AS und/oder AFS zu verringern. Die AS kann mit Hilfe adaptiver BE verringert werden.	
	PK = 0,3 - 0,7	mittlere PK	Indikator, dass HMIK sich auf einem mittleren Niveau befindet.	
			PK sollte verringert werden, um IK und HMIK zu verringern. Die KS sollte verringert werden. VS sollte erhöht werden, um die Intuitivität beim Bedienen zu erhöhen.	
	PK < 0,3	niedrige PK	Indikator, dass HMIK sich auf einem niedrigen Niveau befindet. EH und/oder EP können mit der Hilfe von Schulungen und Einweisungen erhöht werden.	
	HMI-Komplexität von 0 bis 2	HMIK > 1,5	sehr hohe HMIK	HMIK ist zu hoch, Maßnahmen müssen ergriffen werden. Es müssen umfangreiche Einweisungen und Schulungen angeboten werden. Die AS und AFS muss verringert werden.
		HMIK = 1-1,5	hohe HMIK	HMIK ist hoch, Maßnahmen sollten ergriffen werden. Dem User sollte Support angeboten werden. Die AS und AFS sollte verringert werden. Zusätzlich kann auch eine Erhöhung der KS und Verringerung der VS erfolgreich sein.
HMIK = 0,75 - 1		mittlere HMIK	HMIK ist in Ordnung, Maßnahmen können ergriffen werden. Neben dem Supportangebot kann punktuell über eine Verringerung der AS, AFS, KS und eine Erhöhung der VS nachgedacht werden.	
HMIK < 0,75		niedrige HMIK	HMIK ist handhabbar.	
	Maßnahmen sind nicht notwendig.			

Tabelle 6.14: Wertebereiche PK und HMIK mit zugehörigen Gestaltungsempfehlungen

6.3.4 Anwendungsbeispiele und Komplexitätsdreieck

Als Anwendungsbeispiel dient EvP6, in dem ein adaptives GUI zur Bedienung ausgewählter Funktionen im Radlader entwickelt wird. Im Projekt werden 22 Wirkteile ausgewählt, die mit einer durchschnittlichen Anzahl an Funktionen pro Wirkteil bei über vier liegen. Es werden durchschnittlich zwei Korrelationen zwischen den Wirkteilen unter-

sucht. Bei der Unterschiedlichkeit der Wirkteile kann eine 100%ige Varietät unter den Wirkteilen festgestellt werden. Das Entwicklungsziel sieht vor, ca. 44 Stellteile mit durchschnittlich mehr als vier BF pro Stellteil für das GUI zu entwickeln. Eine Korrelation von durchschnittlich zwei und 100 % verschiedener Stellteile sind die projizierten Ziele für die Entwicklung. Die potentiellen User werden von komplett unerfahren bis äußerst erfahren, für sowohl die Expertise mit dem Produkt als auch mit dem HMI, eingestuft. Da der unerfahrenste User in diesem Fall für die Entwicklung relevant ist, werden die beiden Größen EH und EP mit null bewertet. Tabelle 6.15 zeigt die Bewertungen der einzelnen Größen und die Berechnungen inklusive der resultierenden Ergebnisse aus dem EvP6.

			0-4	Gleichung	Ergebnis
Produktkomplexität	PK	AW	2	$PK = \frac{AW + 0,5 * (AFW + KW + VW)}{10}$	PK = 0,7
		AFW	4		
		KW	2		
		VW	4		
HMI-Komplexität	Interfacekomplexität	AS	2	$IK = \frac{AS + AFS + 0,5 * (KS - VS)}{10}$	IK = 0,5
		AFS	4		
		KS	2		
		VS	4		
	Expertise	EH	0	$E = \frac{EH + 0,5 EP}{6}$	E = 0
		EP	0		
	HMIK	IK	0,5	$HMIK = (1-E) + IK$	HMIK = 1,5
		E	0		

Tabelle 6.15: Berechnungen am Bsp. EvP6

Die PK wird mit 0,7 berechnet. Diese Berechnung liefert nach Tabelle 6.14 die Information, dass es sich um eine mittlere PK handelt, welche jedoch sehr nahe an einer hohen PK liegt. Für den potentiellen User könnte es demnach schwierig sein, die Bedienung des HMIs erfolgreich vorzunehmen. Die weitere Berechnung ergibt einen IK-Wert von 0,5, welcher kombiniert mit dem E-Wert von 0 einen HMIK-Wert von 1,5 ergibt. Dies ist

als hohe HMIK einzustufen, wonach Maßnahmen ergriffen werden sollten. Der Usergruppe sollte Unterstützung angeboten werden, zumindest für die unerfahrenen Usergruppen.

Bild 6.7 stellt das Komplexitätsdreieck dar, welches die Beziehung zwischen den drei Einflussgrößen Produktkomplexität, HMI-Komplexität und Automatisierungsgrad des Produkts verbildlicht.

Das blaue ungestrichelte Dreieck zeigt die Ergebnisse der Berechnung mit einem projektspezifisch abgeschätzten AG. Der AG entspricht einem qualitativen Wert, welcher eine Einschätzung über den tatsächlichen AG des betrachteten Systems ergibt. In diesem Kontext ist es nicht notwendig eine konkrete Aussage über den AG zu treffen, da die Information über Konstanz, Erhöhung oder Verringerung des Automatisierungsgrads ausreichend ist. Das gestrichelte Dreieck symbolisiert die Optimierungen. In Bild 6.7 sind die Dreiecke kombiniert in einem Komplexitätsdreieck abgebildet. Dieses bezieht sich auf eine adaptive GUI-Entwicklung eines Radladers aus EvP6. Der Wertebereich der PK ist mit 1 und der Wertebereich der HMIK mit 2 gekennzeichnet.

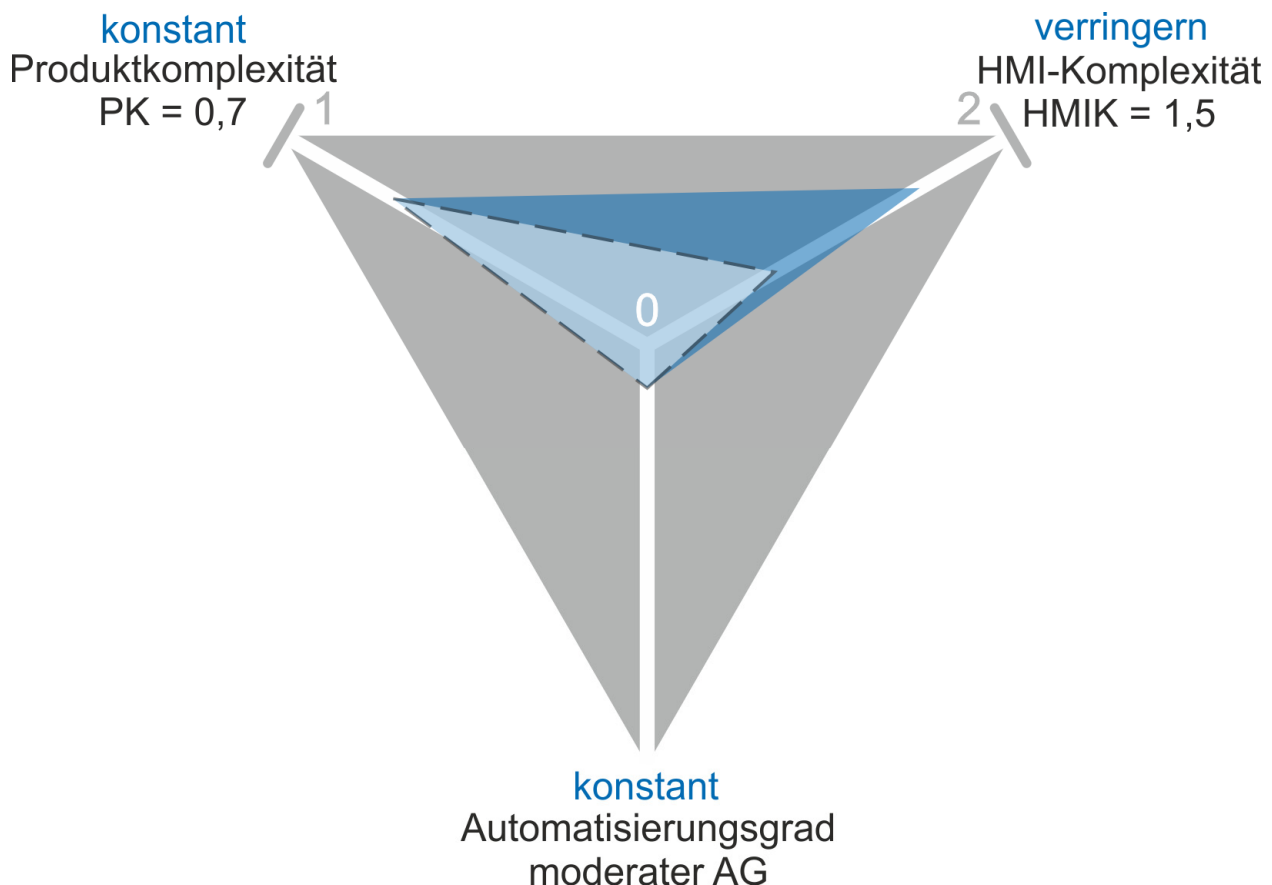


Bild 6.7: Komplexitätsdreieck

Die Berechnungsergebnisse sind an der Grenze zum zwingenden Optimierungsbedarf, weshalb eine Optimierung angestrebt werden sollte. In diesem Projekt besteht keine

Möglichkeit die PK zu verringern. Genauso wenig kann im Rahmen des Projekts der Automatisierungsgrad der Maschine erhöht werden. Aus diesen Gründen bleibt die hohe IK bestehen. Jedoch kann mit einer adaptiven Unterstützung des Users die Expertise gesteigert werden. Gelingt es den User derart zu unterstützen und auf seine Fähigkeiten und Fertigkeiten einzugehen, kann der HMIK-Wert verringert werden und eine erfolgreiche Bedienung des GUIs wird wahrscheinlicher.

6.3.5 Diskussion

Die Methode ist geeignet, um eine Einschätzung zu bekommen, wie komplex die untersuchten Systeme sind. Der Einsatzbereich umfasst sowohl die Analyse als auch die Prognose. Die Analyse existierender Systeme kann differenziert für das Produkt oder das HMI vorgenommen werden. Für eine Prognoseanwendung der Methode wird eine Analyse des Produkts dazu verwendet, eine Prognose für die Komplexität des HMIs abzuleiten. Hieraus resultieren Gestaltungsempfehlungen für das zu entwickelnde HMI.

Bei der Anwendung der Methode ist es elementar, vorab die definierten Wertebereiche auf deren Gültigkeit und den projektspezifischen Fokus zu prüfen. Je nach Projekt können unterschiedliche Wertebereiche sinnvoll sein.

6.4 Funktions- und Bedienanalyse

Die Funktions- und Bedienanalyse stellt ein Tool dar, welches zur Analyse von bestehenden HMIs und zur Anforderungsgenerierung neu- oder weiterzuentwickelnder HMIs dient. Der Aufbau der Methode basiert auf der von SCHMID & MAIER [2017, S. 230 ff.] vorgestellten Workflow-Analyse. Die grundsätzliche Differenzierung zwischen ‚Mensch‘ und ‚Maschine‘ wird aufgegriffen. Diese methodische Herangehensweise zielt einerseits auf eine detaillierte Analyse der Bedienung und der einzelnen Bedienszenarien ab. Andererseits werden die mit der Bedienung verbundenen Funktionen im Detail beleuchtet. Die elementaren Erkenntnisse, die aus der FuB-Analyse gewonnen werden, sind das Wissen über die Bedienung, die zugehörigen Funktionen und deren Zusammenspiel. Um eine Entwicklung eines adaptiven Interfaces umzusetzen, müssen die grundsätzlich zu bedienenden Funktionen im Detail analysiert und verstanden werden. Hieraus ergeben sich wiederum die Anforderungen an die Bedienung.

6.4.1 Motivation und Abgrenzung

Die für die adaptiven Interfaces relevanten Informationen über die intuitive und gebrauchstaugliche Bedienung und notwendigen Kompatibilitäten gilt es in einer strukturierten und übersichtlichen Art zu erfassen.

Der notwendige Input für die FuB sind detaillierte Informationen über die Bedienszenarien, Arbeitsabläufe und Bedienabläufe bei der Nutzung des betrachteten Produkts. Das Know-how über die Funktionalitäten der Wirk- und Stellteile ist zusätzlich ein elementarer Input zur Anwendung der Methode.

Zur Berücksichtigung kommen bei der Methodenanwendung die Parameter Usability, Intuitivität, Benutzerfreundlichkeit, Bedienszenarien, Bedienpräzision, Bediengeschwindigkeit und Kompatibilität. Die Einordnung der BE in unterschiedliche Sehbereiche (SB) und die Berücksichtigung von Bedien- bzw. Komfortwinkeln resultiert in einer Beachtung der Parameter Usability und Intuitivität. Die Benutzerfreundlichkeit wird gewährleistet, indem zusätzlich zu den Komfortwinkeln und Sehbereichen die Bediendauer und -anordnung untersucht wird. Die unterschiedlichen Bedienszenarien sind auf der X-Achse der Tabelle 6.16 aufgelistet. Diese werden zusätzlich noch in Funktionsgruppen und Bedienfunktionen untergliedert. Die im Einzelfall notwendige Bedienpräzision wird durch die Greifart, Bediencharakteristik und Bewegungsart und -richtung erfasst. Zusätzlich werden hier die Körperteile erfasst, die bei der Bedienung der Stellteile bewegt werden. Dies dient dem grundsätzlichen Verständnis über die Bedienung und die Positionierung des Users. Diese Dokumentation vereinfacht auch das Verständnis der Bedien- und Komfortwinkel. Die Bediendauer, Bedienhäufigkeit und Bedienphilosophie ist ausschlaggebend für die Bediengeschwindigkeit. Die Bedienphilosophie hängt von dem Bedienzeitpunkt und der Notwendigkeit einer Blindbedienung ab. Durch den Kompatibilitätsabgleich zwischen den maschinenseitigen Wirkteilen und den menschseitigen Stellteilen, wird der Parameter Kompatibilität berücksichtigt.

Als Resultat der Methodenanwendung lassen sich notwendige und nicht notwendige Kompatibilitäten in der Stellteil-Wirkteilbeziehung identifizieren. Es entsteht somit ein grundlegender Ein- und Überblick über das Produkt und dessen Bedienung beim Anwender. Zusätzlich lassen sich sowohl für die Stell- als auch für die Wirkteile Funktionscharakteristiken ableiten. Darüber hinaus werden für die weitere Vorgehensweise aus den generierten Anforderungen Konzeptionsempfehlungen abgeleitet. Der Input-Output-Überblick der FuB ist in Bild 6.8 dargestellt.

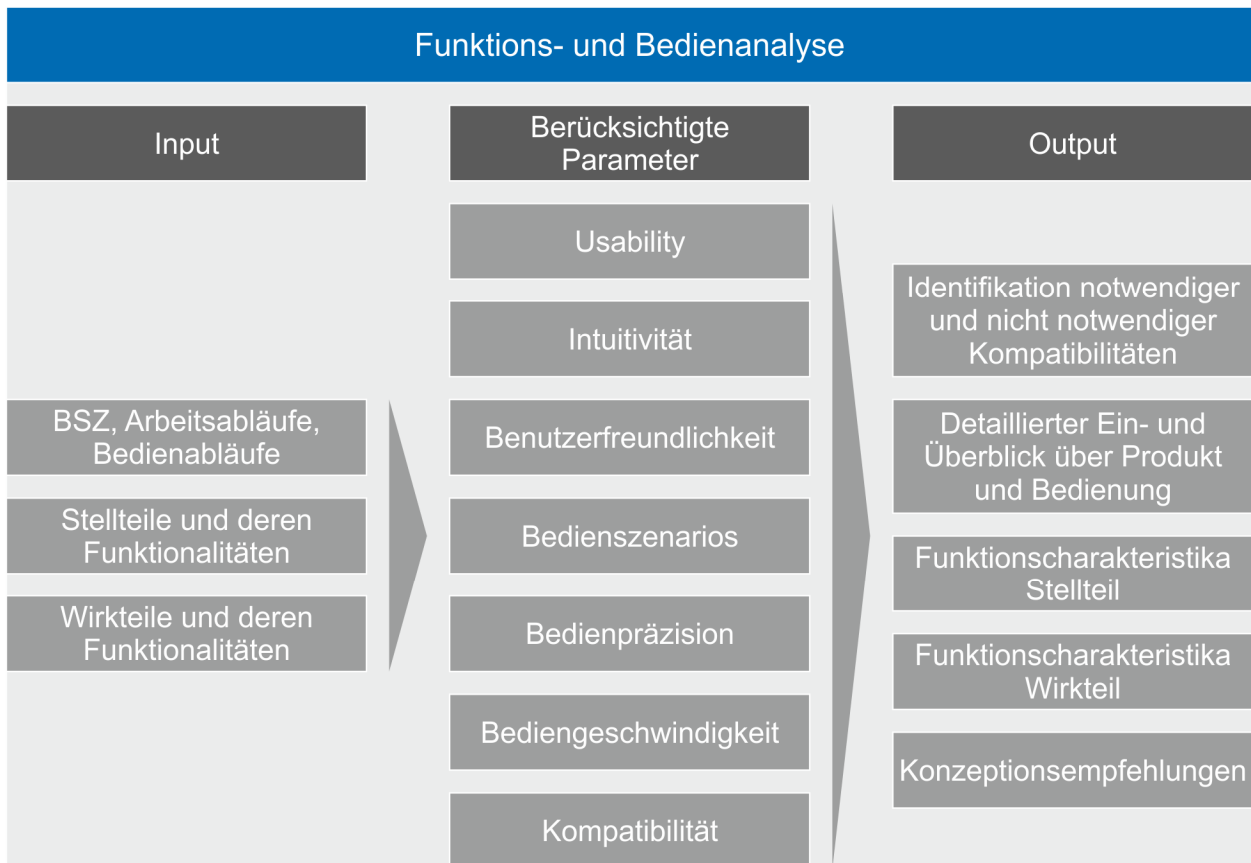


Bild 6.8: Schematische Übersicht über den Input, die berücksichtigten Parameter und den Output der FuB

6.4.2 Parametrisierung

Die Methode besteht grundsätzlich aus einer Betrachtung der Maschinengestalt, aufgeteilt in Wirkteil und Bedienraum sowie der Betrachtung des Menschen, in diesem Fall des Bedieners und der Bedienung. Die Bedienung ist in Bedienraum und Stellteil unterteilt. Maschinenseitig wird das Wirkteil in die Priorisierung und Kompatibilität gegliedert. Menschseitig ist das Stellteil ebenso in eine Priorisierung und Kompatibilität aufgeteilt. Tabelle 6.16 zeigt den Gesamtaufbau der Methode. Das Ziel, welches aus der Analyse sämtlicher Bedienszenarios einhergeht, ist es, einen Kompatibilitätsabgleich zu schaffen, welcher zwischen ‚Mensch‘ und ‚Maschine‘, im Detail zwischen Wirkteil und Stellteil, zu beachten ist. Hierbei werden jeweils Funktionscharakteristiken des Wirk- und Stellteils erhoben, welche sich vergleichen lassen und mit deren Hilfe sich anschließend eine notwendige Kompatibilität bestimmen lässt. Aus diesem Grund werden inhaltlich zusammengehörige Paare zwischen ‚Maschine‘ und ‚Mensch‘ gebildet, um diesen Abgleich durchzuführen. Im ersten Schritt werden die einzelnen Parameter beschrieben. Zusätzlich resultiert aus der Methode ein umfassender Überblick über sämtliche BSZ, deren Bedienung und über das technische System, wofür es ein adaptives HMI zu entwickeln gilt.

Die erfassten Parameter entstammen hauptsächlich den Erfahrungen der unterschiedlichen Projektanwendungen. Eine Bestätigung der ausgewählten Parameter wird durch Gespräche mit diversen Experten, u. a. aus den Interviews aus Kapitel 4, erzielt. Eine explizite Gewichtung der Parameter ist in diesem Fall nicht notwendig.

Die in Tabelle 6.16 erfassten Ergebnisse stellen eine exemplarische Anwendung der Methode dar. Diese Ergebnisse resultieren aus der Methodenanwendung in EvP3. Es ist lediglich ein BSZ mit drei Funktionsgruppen und insgesamt sechs BF dargestellt. Im Projekt EvP3 werden insgesamt 460 BF analysiert.

Im Falle des EvP3 wird die FuB mit Hilfe von projektspezifischen Experteninterviews durchgeführt. Externe Unterstützung ist grundsätzlich nötig, wenn der Projektbearbeiter nicht über detaillierte Fachkenntnis des technischen Systems und dessen Bedienung verfügt.

Da nachfolgenden Erläuterungen zu den einzelnen Einträgen in Tabelle 6.16 richten sich nicht stringent nach der Abfolge in der Tabelle, sondern richten sich nach den jeweiligen Inhalten. Die Inhalte werden in ihrer Abfolge nach zusammengehörigen Kompatibilitäten erklärt.

BSZ			Straßenfahrt (Transport)							
Funktionsgruppe			Reifendruck einstellen		Deichsel einstellen			Rührwelle		
Bewertung BF			Reifendruck- regelanlage aktivieren	Reifendruck ändern	Deichsel- federung	Deichsel- federung Automatik	Traktordeichs- el (Topdruck- zylinder)	Rührwelle		
Parameter										
Maschine	Bedienraum	Ergonomie	Sehbereiche	Bl.feld, U.bl.feld	Gesichts- feld	Gesichts- feld	Umblickge- sichtsfeld	Umblickge- sichtsfeld	Umblickge- sichtsfeld	
			Bedienwinkel / Komfortwinkel	R.: 0° S.E., +10°Fr.E.	El.:30°-45° H.E.	El.:30°-45° H.E.	S.:0-15S.E. 0°-30°Fr.E.	S.:0-15°S.E. 0°-30°Fr.E.	ES.:0-15°S.E. 0°-30° Fr.E.	
			Bediendistanz	l /40 cm vom	35 cm vom Ellenbogen	35 cm vom Ellenbogen	r / 30 cm vom	r /45 cm vom	außerhalb der	
			Interface- technologie	virtuell 0,70 FZM	virtuell 0,66 FZM	virtuell/real 0,64 FZM	virtuell 0,71 FZM	virtuell 0,71 FZM	real 0,73 FZM	
	Wirkteil	Prio- risierung	Sicherheits- kritikalität	wenig kritisch	nicht kritisch	nicht kritisch	nicht kritisch	nicht kritisch	nicht kritisch	
			Ausführungs- zeitpunkt	prä, intra, post	prä, intra, post	prä, intra, post	prä	prä	intra	
		Kompatibilität	Anordnung	vorn / hinten	vorn / hinten	vorn	vorn	vorn	vorn / hinten	
			Funktions- charakteristik	Druck aktivieren	Druck einstellen	Höhe verstellen	Automatik aktivieren	Lastvert. einstellen	Wellenrot./ Längsachse	
	Bewegungsart und -richtung		an / aus	mehr / weniger	hoch / runter	ein / aus	hoch / runter	ein / aus		
	Ausführungs- dauer	kontinuier- lich	mittel	mittel	kontinuier- lich	mittel	kontinuier- lich	▶		
	Mensch	Stellteil	Kompatibilität	Anordnung	vorn	vorn	vorn	vorn	vorn	vorn
				Bedien- charakteristik	drücken od. kippen	drücken od. kippen	kippen od. schieben	drücken od. kippen	drücken	kippen od. rotieren
Bewegungsart und -richtung				Translation vertikal	Translation vertikal	Translation vertikal	Translation vertikal	Translation vertikal	Translation vertikal	
Bediendauer				kurz	kurz	mittel	kurz	kurz	kurz	
Priorisierung		Bedienzeit- punkt	prä, intra, post	prä, intra, post	prä, intra, post	prä	prä	intra		
		Bedien- häufigkeit	selten	sehr häufig	sehr häufig	selten	selten	gelegent- lich		
		Blindbedienung notwendig	nicht notwendig	ziemlich notwendig	ziemlich notwendig	wenig notwendig	wenig notwendig	nicht notwendig		
Bedienraum		Ergonomie	Interface- technologie	virtuell	virtuell	virtuell	virtuell	virtuell	real	
			Greifart	Kontaktgriff	Kontaktgriff	Kontaktgriff	Kontaktgriff	Kontaktgriff	Kontaktgriff	
			Körperteil	R., S., El., Finger	El., Finger	El., Finger	Schulter, El., Finger	Schulter, El., Finger	S., El., Finger	

Tabelle 6.16: Funktions- und Bedienanalyse vgl. [KAUFMANN ET AL. 2020] am Bsp. EvP3

Die grundsätzliche Definition des zur Verfügung stehenden Bedienraumes wird durch ergonomische Parameter festgelegt. Maschinenseitig wird dieser durch den Sehbereich und die Bedien- bzw. Komfortwinkel definiert. Die Winkelbeschreibung wird in Tabelle 6.16 mit R. (Rumpf), El. (Ellenbogen), S. (Schulter), Fr.E. (Frontalebene), H.E. (Horizontalebene) und S.E. (Sagittalebene) abgekürzt. Weiter wird der Bedienraum mit der Bediendistanz vom User zum BE und der Interfacetechnologie definiert. Der Sehbereich gliedert sich, wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, in Gesichtsfeld, Blickfeld, Umblickgesichtsfeld und außerhalb des SB. Die Bedien- und Komfortwinkel sind ebenfalls in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Auch die Bediendistanz wird über die Abstände des jeweiligen Gelenks zum BE ermittelt. Hier werden Daten aus den Perzentilen der zu erwartenden Usergruppe verwendet.

Die Sicherheitskritikalität muss projektspezifisch festgelegt werden. Hier kann die Bewertungsskala beispielsweise zwischen nicht kritisch, sicherheitskritisch bzgl. eines Maschinenschadens und sicherheitskritisch bzgl. eines Personenschadens rangieren. Das Gesichtsfeld sollte für die Bedienfunktionen mit der höchsten Bewertung der Sicherheitskritikalität eingesetzt werden. Über das Blickfeld und das Umblickgesichtsfeld bis zu der Kategorie außerhalb des SB, wird die Einteilung anhand sinkender Bewertungsergebnisse fortgeführt. Die Priorisierung ergibt sich aus der mit einer 5-stufigen Likert-Skala bewerteten Sicherheitskritikalität, wie in Tabelle 6.17 abgebildet ist.

--	-	.	+	++
nicht kritisch	wenig kritisch	mittelmäßig	ziemlich kritisch	sehr kritisch
0	1	2	3	4

Tabelle 6.17: Bewertung der Sicherheitskritikalität

Die Bedienhäufigkeit des Stellteils ist ein Parameter, der dem ‚Mensch‘ zugeordnet ist. Die Bewertung der Bedienhäufigkeit, siehe Tabelle 6.18, ist ausschlaggebend für die Priorisierung des Erreichbarkeitsraums, welcher sich aus Bedienwinkel und Bediendistanz zusammensetzt. Je höher die Bedienhäufigkeit ist, desto komfortabler bedienbar und besser zu erreichen sollte das jeweilige BE sein. Hier gilt es eine prototypische Untersuchung durchzuführen, um eine geeignete Kombination aus definierten Komfortwinkeln und Bediendistanzen zu finden.

--	-	.	+	++
nie	selten	gelegentlich	oft	sehr häufig
0	1	2	3	4

Tabelle 6.18: Bewertung der Bedienhäufigkeit

Die Bewertung der Notwendigkeit der Blindbedienung ist ebenso dem User zugeordnet und priorisiert die Auswahl der IfT. Grundsätzlich sind die Ergebnisse aus der FZM zu verwenden. Sollte diese Methode nicht durchgeführt worden sein, kann generell eine hohe Bewertung der Notwendigkeit der Blindbedienung als Indiz für ein reales Interface angenommen werden. Liegt hier eine geringe Bewertung vor, ist der Einsatz eines virtuellen Interfaces möglich. Tabelle 6.19 zeigt die Bewertungsskala für die Notwendigkeit der Blindbedienung.

Zusätzlich wird für die Analyse mit Hilfe von beispielsweise Fragebogen, Videoaufzeichnungen oder der Methode des ‚lauten Denkens‘ erfasst, ob das bestehende Interface virtuell oder real ausgeführt ist. Bei der Erfassung der Daten empfiehlt es sich, ergänzend zu der vorherrschenden Interfacetechnologie, auch die vom Experten empfohlene IfT zu vermerken.

--	-	.	+	++
nicht notwendig	wenig notwendig	mittelmäßig	ziemlich notwendig	sehr notwendig
0	1	2	3	4

Tabelle 6.19: Bewertung der Notwendigkeit der Blindbedienung

Ein weiterer Aspekt, der bzgl. des Stellteils analysiert wird, ist der Bedienzeitpunkt. Hier wird in Anlehnung an Kapitel 2.3.1 der Zeitpunkt der Maschinenbedienung erfasst. Wird bedient bevor die mobile Arbeitsmaschine in Bewegung ist, handelt es sich um eine Prä-Bedienung. Befindet sich die Maschine bereits in Bewegung, ist es eine Intra-Bedienung und ist die Maschinenbewegung abgeschlossen, wird eine Post-Bedienung dokumentiert. Diese Kategorisierung ist ein zusätzlicher Indikator, ob ein Interface real oder virtuell ausgeführt wird. Bei einer Prä- oder Postbedienung befindet sich die Maschine nicht in Bewegung und die Bedienumgebung ist statisch sowie wenig zeitkritisch.

Aus diesem Grund ist ein virtuelles Interface besser zu bedienen, als bei einer dynamischen Bedienumgebung, welche durch Vibrationen und Zeitdruck gegen ein virtuelles Interface sprechen. Diese Bedienumgebung ist während einer Intrabedienung gegeben. Ist die Anordnung des Interfaces außerhalb des SB oder in einem weniger gut einsehbaren Bereich wie beispielsweise dem Umblickgesichtsfeld vorgesehen, ist von einer virtuellen Ausführung des Interfaces abzuraten, da hierbei ein Sichtkontakt zum Interface zwingend notwendig ist. Für die Bedienung eines realen Interfaces ist der Sehbereich nicht von größter Bedeutung.

Die Greifart wird in Kontakt-, Zufassungs- und Umfassungsgriff eingeteilt, siehe Kapitel 2.1.3. Die IfT lässt Rückschritte auf die Greifart zu. Handelt es sich um ein virtuelles BE wird der Kontaktgriff gewählt, für ein reales BE kommen alle Greifarten in Frage. Einen Einfluss auf die Greifart hat auch die Bediencharakteristik. Bei einer An/Aus-Charakteristik passt häufig der Kontaktgriff, wiederum ist ein Drehen überwiegend einem Zufassungsgriff zuzuordnen. Auch diese Einteilung dient der detaillierten Erfassung und besseren Verständlichkeit der Bedienung.

Die Analyse des Körperteils zeigt an, welche Körperregionen bei der Bedienung des jeweiligen Stellteils benötigt werden. Hierunter fallen sowohl Körperteile, die direkt das Stellteil betätigen als auch Körperteile, die bewegt werden müssen, um das Stellteil zu erreichen. Hier wird zwischen Kopf, Rumpf, Schulter, Ellenbogen und Fingern unterschieden. Die Erreichbarkeit wird mit dem betreffenden Körperteil abgeglichen. Die Bediendistanz und der Bedienwinkel der jeweiligen Körperteile wird hinsichtlich einer ergonomisch annehmbaren Körperhaltung untersucht. Hier muss ein untergeordneter Fokus auf die Bediendauer gerichtet werden, da diese entscheidend sein kann, ob die Körperhaltung vertretbar ist oder nicht. Aus dieser Einteilung resultiert kein kausaler Zusammenhang, jedoch hilft die Information bei der Verständlichkeit der Bedienung und deren Ablauf.

Die kategorisierende Bewertung der einzelnen Bedienfunktionen bzw. Bedienszenarien gilt es von Experten bzw. Expertenteams der jeweiligen Produkte durchzuführen, solange dieses Wissen nicht im Projektteam vorhanden ist.

6.4.3 Kompatibilitätenabgleich

Die projektspezifisch notwendigen X-Kompatibilitäten, siehe Kapitel 2.3.2, werden durch die FuB identifiziert. Die in Tabelle 6.16 dargestellten Parameter dienen als Grundlage des Kompatibilitätenabgleichs. Es wird jeweils ein maschinenzugehöriger Parameter einem menschseitigen Parameter zugeordnet. Die Gegenüberstellung dieser beiden Parameter kann als Grundlage genutzt werden, um eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Kompatibilität zu treffen. Diese Erkenntnis über die Notwendigkeit be-

stimmter Kompatibilitäten ist ein wichtiger Anforderungsaspekt für die weitere Entwicklung des HMI. Im Folgenden werden die Parameterpaare für die Erkennung notwendiger Kompatibilitäten dargelegt.

Die Anordnung des Wirkteils wird in vorn, hinten, rechts und links eingeteilt. Hier wird projektspezifisch im Grad der Detaillierung variiert. Die Anordnung wird analog für das Stellteil wie auch für das Wirkteil untersucht. Bei der Stellteilanordnung wird ebenso zwischen vorn, hinten, rechts und links unterschieden. Es gilt anhand der umfangreichen Informationen, die mit Hilfe der FuB gesammelt werden, zu entscheiden, ob eine Kompatibilität für die untersuchte BF notwendig ist bzw. auf einer 5-stufigen Skala zu dokumentieren, wie notwendig die räumliche Kompatibilität im Einzelfall ist. Für die Konzeptionsphase dient diese Dokumentation, um wichtige räumliche Kompatibilitäten an den relevanten BE zu berücksichtigen.

Das Bewegen des Wirkteils ist in diesem Zusammenhang definiert durch die Funktionscharakteristik und die Bewegungsart- und richtung. Die Funktionscharakteristik definiert die ausführende Bewegung des Wirkteils. Es handelt sich um Abläufe wie drehen/schwenken, an/aus, mehr/weniger, Rechts-/Linksbewegungen, Vor-/Zurückbewegungen und Hoch-/Runterbewegungen. Bei der Bewegungsart und Bewegungsrichtung werden beispielsweise Translationsbewegungen nach vorn oder Rotationsbewegungen im Uhrzeigersinn erfasst. Die Bewegung des Stellteils ist konform zur Bewegung des Wirkteils definiert. Die Bediencharakteristik erfasst die Bedienbewegung, welche mit der Bewegungsart- und richtung kombiniert die Bewegung des Stellteils ergibt. Die Bediencharakteristik wird durch Bedienabläufe wie drehen/schwenken, an/aus, mehr/weniger, rechts/links, vor/zurück und hoch/runter beschrieben. Bei der Bewegungsart- und richtung können neben translatorischen und rotatorischen Bewegungsbeschreibungen auch Beschreibungen wie antippen, ziehen oder drücken erfasst werden. Auch hier sind die Notwendigkeiten der Kompatibilität durch die umfassenden Analyseergebnisse der FuB gegeben. Diese sind über die Höhe der Bewertung hinsichtlich der Notwendigkeit der Bewegungskompatibilität für einzelne BE entscheidend. Diese Einteilung wird in der weiteren Konzeption zur Gestaltung des adaptiven Interfaces berücksichtigt.

Die Ausführungsdauer beschreibt die Zeitdauer des Wirkteils bis die Funktion ausgeführt ist. Diese kann ein kurzes, mittleres oder langes Zeitfenster in Anspruch nehmen. Zusätzlich wird vermerkt, ob es sich um eine kontinuierliche Ausführung handelt, welche unterschiedliche Endpunkte einnehmen kann. Die Bediendauer beschreibt die Zeitdauer des Stellteils bis die Funktion ausgeführt ist. Diese kann analog zur Ausführungsdauer des Wirkteils ein kurzes, mittleres oder langes Zeitfenster in Anspruch nehmen. Alterna-

tiv wird festgehalten, ob es sich um eine kontinuierliche Ausführung handelt, was bedeutet, dass unterschiedliche Stufen einstellbar sind. Die Ausführungsdauer stellt ein entscheidendes Kriterium dar, wie die Bediendauer des jeweiligen Bedienelements gestaltet wird. Je nach Bewertung der Notwendigkeit der zeitlichen Kompatibilität, wird in der Umsetzung das BE mit einer zeitlich zur Ausführungsdauer kompatiblen Bediendauer gestaltet.

Grundsätzlich ist in allen Gestaltungsfällen, unabhängig von der konkreten Bedienfunktion oder des konkreten Bedienszenarios, auf die Bedeutungskompatibilität und sekundäre Kompatibilität zu achten. Zusätzlich ist bei den verschiedenen Stellteilen eine durchgängige Konsistenz zu berücksichtigen.

Tabelle 6.20 zeigt die aus der FuB resultierenden Kompatibilitäten, die als Anforderungen in die Konzeption des adaptiven Interfaces eingehen. Die Ratingskala richtet sich nach der Wichtigkeit, siehe Kapitel 6.1.2.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die räumlichen Kompatibilitäten hinsichtlich der Anordnung für die sechs untersuchten BF ‚ziemlich wichtig‘ eingestuft sind. Für die Konzeption des Bediensystems ist dies zu beachten. Die Bewegungskompatibilität der Funktions- und Bediencharakteristiken einzelner BF ist in zwei von sechs Fällen als ‚wenig wichtig‘ eingeordnet. Hier kann eine Implementierung der Kompatibilität in die Entwicklung einfließen, falls ohne großen Mehraufwand und entgegenstehende Anforderungen zu realisieren. Die Kompatibilität der vier weiteren BF ist ‚mittelmäßig wichtig‘. Für diese BF sollte für die Umsetzung der Kompatibilität auch ein Mehraufwand aufgebracht werden. Die zeitliche Kompatibilität bzgl. der Ausführungs- und Bediendauer ist hinsichtlich der einzelnen BF unterschiedlich. Für drei BF ist die Kompatibilität ‚nicht wichtig‘. Hier kann die Umsetzung der Kompatibilität außer Acht gelassen werden. Bei zwei BF ist die Kompatibilität ‚mittelmäßig wichtig‘ und bei einer BF ‚sehr wichtig‘. Für die Deichselfederung beispielsweise ist die Vorgabe die ‚zeitliche Kompatibilität‘ in dem BS zwingend umzusetzen, wonach eine mittlere Ausführungsdauer der Wirkteils zwingend einer mittleren Bediendauer des Stellteils entsprechen muss.

BSZ			Straßenfahrt (Transport)					
Funktionsgruppe			Reifendruck einstellen		Deichsel einstellen			Rührwelle
Kompatibilitätsbewertung BF			Reifen- druckregel- anlage aktivieren	Reifen- druck ändern	Deichsel- federung	Deichsel- federung Automatik	Traktiv- deichsel (Topdruck- zylinder)	Rührwelle
			Parameter	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4
Räumliche Kompatibilität	Anordnung	vorn	3	3	3	3	3	3
		hinten	3	3	-	-	-	-
		rechts	-	-	-	-	-	-
		links	-	-	-	-	-	-
Bewegungskompatibilität	Funktions- und Bediencharakteristik / Bewegungsart- und richtung	hoch/runter	-	-	2	-	2	-
		an/aus auf/zu	1	-	-	1	-	2
		drehen/ schwenken	-	-	-	-	-	-
		mehr/weniger	-	2	-	-	-	-
		vor/zurück	-	-	-	-	-	-
		rechts/links	-	-	-	-	-	-
Zeitliche Kompatibilität	Ausführungs- und Bediendauer	kurz	-	-	-	-	-	-
		mittel	-	2	4	-	0	-
		lang	-	-	-	-	-	-
		kontinuierlich	0	-	-	0	-	2
Bedeutungskompatibilität, sekundäre Kompatibilität, Konsistenz								

Tabelle 6.20: Resultierende Kompatibilitäten nach Wichtigkeit am Bsp. EvP3

6.4.4 Diskussion

Für Ergonomie-, Interface- und Usabilityexperten ist diese Methode wertvoll, da durch die Anwendung der Methode und der dafür nötigen Kommunikation mit dem jeweiligen Fachpersonal die Grundlage gebildet wird, durch die das notwendige Verständnis des Produkts generiert wird. Die Anwendung der FuB bedarf detaillierter Kenntnisse über die zu analysierenden bzw. zu entwickelnden Systeme. Sind diese im Projektteam nicht vorhanden, sollte diese Expertise von den jeweiligen Fachexperten eingeholt werden.

Bei komplexen technischen Systemen ist es von enormem Wert, die umfangreichen BSZ kategorisch zu analysieren und die entsprechenden Rückschlüsse auf die weitere Gestaltung des Interfaces in einer modularen und strukturierten Form abrufbar zu haben.

Zusätzlich entstehen sowohl ergonomische Anforderungen als auch Anforderungen, die die Kompatibilität betreffen. Diese sind für die Konzeption adaptiver Bedienelemente grundlegend und stellen diverse Empfehlungen für die Konzeption zur Verfügung.

Die IfT wird im Rahmen dieser Arbeit auf virtuelle und reale Interfaces begrenzt. Diese können bei der weiteren Anwendung der Methode um diverse weitere Interfacetechnologien ergänzt werden.

6.5 Layer-Methode

Die Layer-Methode dient zur Generierung einer optimalen Anordnung der Bedienfunktionen für das entstehende adaptive Bediensystem. Zusätzlich werden die resultierenden Informationen aus der Layer-Methode genutzt, um Funktionsgestalten für die adaptiven Bedienelemente zu entwickeln. Die Methode baut auf der Funktions- und Bedienanalyse auf. Idealerweise wird die FuB und LM in einem Projekt angewandt. Es besteht auch die Möglichkeit die LM ohne eine vorhergehende Anwendung der FuB zu verwenden. Voraussetzung hierfür ist, dass das notwendige Wissen, welches mit der FuB generiert wird bereits vorhanden ist und strukturiert zur Verfügung steht. Die grundsätzliche Anwendung der Methode basiert auf verschiedenen Layern, welche stellvertretend für ein Bedienszenario sind. Diese werden über das zur Verfügung stehende Grundlayout gelegt. In jedem Layer sind Informationen über die notwendige Bediencharakteristik jeder einzelnen Bedienfunktion des jeweiligen Bedienszenarios hinterlegt. Die Summe aller Layer gibt Aufschluss über die Anordnung der einzelnen Stellteile sowie deren Funktionsgestalt unter Berücksichtigung der implementierten Adaptivität, sowohl der einzelnen Stellteile als auch der Anordnung.

6.5.1 Motivation und Abgrenzung

Die ergonomische Anordnung und gebrauchstaugliche Formgebung von Bedienelementen spielt eine zentrale Rolle in der Gestaltung von MMS. Die Gestaltung von adaptiven Bedienelementen erfordert zudem Informationen über die Bedienfunktionen, die in dem adaptiven BE kombiniert werden. Diese sich daraus ableitenden und zu implementierenden Charakteristiken werden in der LM zusammengefasst, um darauf aufbauend adaptive BE und BS zu entwickeln.

Für die Anwendung der Methode müssen die Abmessungen des zur Verfügung stehenden Bauraums vorhanden sein. Dieses Grundlayout dient als Basis, auf der die unter-

schiedlichen Layer angeordnet werden. Einige Informationen aus der FuB fließen in die Layer-Methode ein.

So dienen die erfassten Komfortwinkel und die Erreichbarkeitsräume als Input für die Methode. Zusätzlich ist die generierte Bediencharakteristik der Bedienfunktionen mit den Informationen zu den relevanten Kompatibilitäten notwendig. Auch die Bedienhäufigkeiten der einzelnen Bedienfunktionen sind als Input zu liefern, um die Methode anzuwenden.

Im Zuge der Anwendung der Layer-Methode werden sieben Parameter berücksichtigt. Durch die bedienszenariospezifische Abstimmung der Verfügbarkeit von BE, die adaptive Anordnung der Stellteile, die nach Bedienhäufigkeiten ausgerichtete Ergonomie, die nach Kompatibilitäten ausgerichtete Funktionserkennung und Funktionseindeutigkeit, lässt sich die Usability des adaptiven Bediensystems optimal gestalten.

Als Output resultieren unterschiedliche Vorgaben, die die Gestaltung des adaptiven Bediensystems unterstützen. Hierunter fallen Vorgaben zur Anordnung der Stellteile, zur Gestaltung der Stellteile und zur notwendigen Adaptivität der Stellteile.

Eine Übersicht über den Methodeninput und -output ist in Bild 6.9 zu sehen.

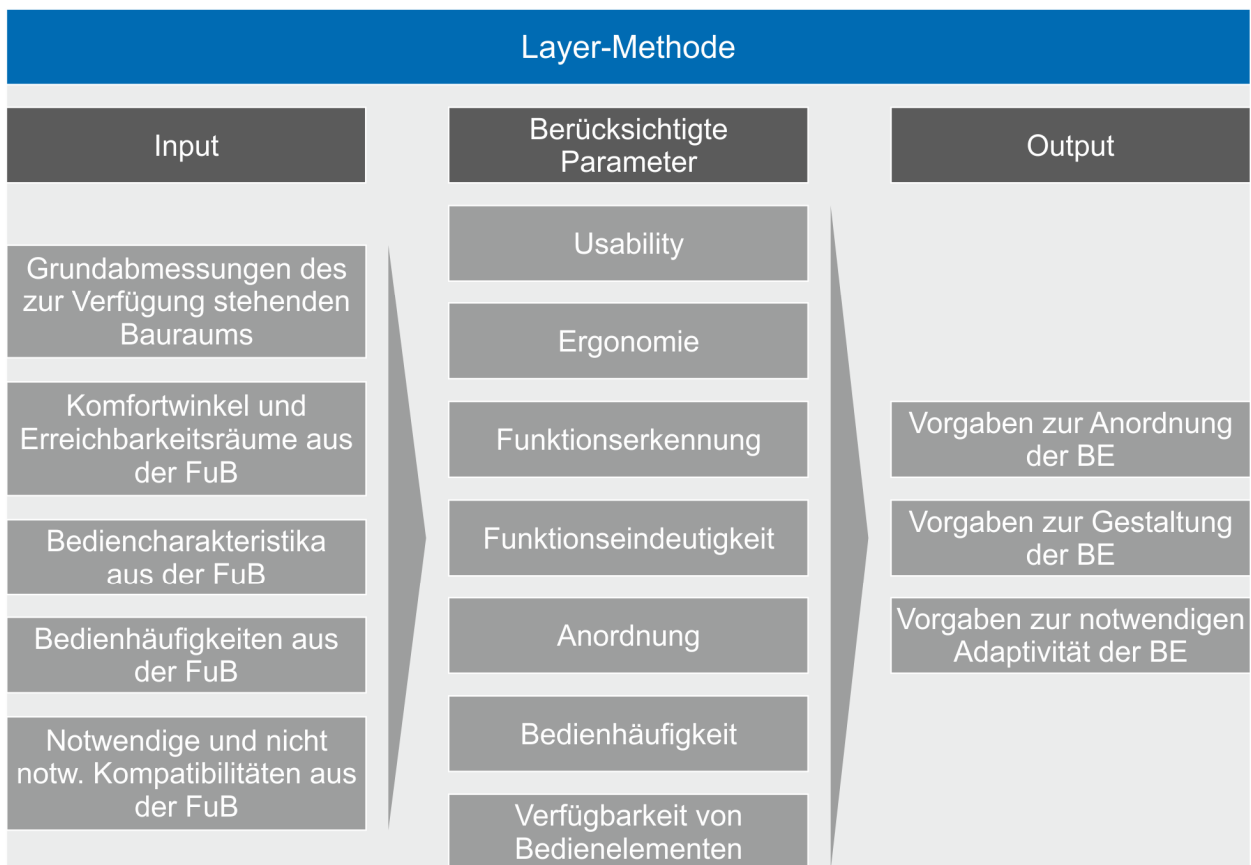


Bild 6.9: Schematische Übersicht über den Input, die berücksichtigten Parameter und den Output der LM

6.5.2 Methodenapplication und Anwendungsbeispiel

Die FuB generiert Erkenntnisse und Prinzipien, die es in der LM umzusetzen gilt, um diesbezüglich konkrete Konzepte zu entwickeln. Der Grundgedanke und Ausgangspunkt ist zum einen die umfassende Bediencharakterisierung aller abzubildenden Bedienfunktionen und zum anderen eine idealisierte Anordnung nach Bedienprioritäten und ergonomischen Aspekten. Hierzu wird ein Kuchendiagramm mit den verschiedenen Bediencharakteristiken aus der FuB generiert, wobei die unterschiedlichen Charakteristiken als Kuchenstücke zur Anwendung kommen. Es ergeben sich bei den bisherigen Methodenapplicationen sechs verschiedene Charakteristiken. Diese sind in Bild 6.10 dargestellt. Die Anzahl und Beschreibung der Funktionscharakteristiken können individuell auf das jeweilige Projekt abgestimmt und dementsprechend angepasst werden.

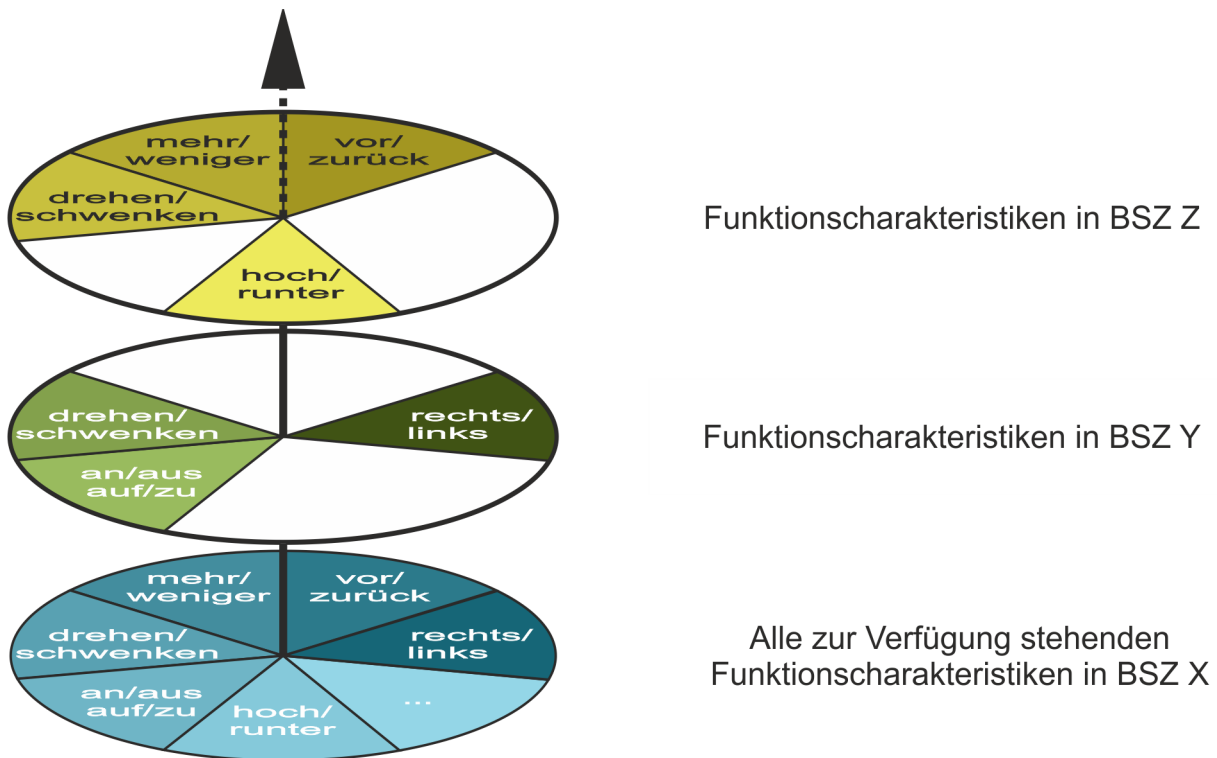


Bild 6.10: Schematische Darstellung der Layer-Methode mit drei beispielhaften BSZ

Die semantische Logik, welche die Funktionsweise charakterisiert, wird im Folgenden am BSZ X beschrieben. Eine Zu- und Abnahme einer Funktion wird durch ein ‚mehr/weniger‘ charakterisiert. Die Verschiebung in Blickrichtung bzw. in die Richtung der Positionierung des Users wird mit ‚vor/zurück‘ charakterisiert. Eine seitliche Bewegung oder Verschiebung wird durch ‚rechts/links‘ gekennzeichnet. Bei einer Auf- bzw. Abwärtsbewegung erfolgt eine Einteilung in ‚hoch/runter‘. Ein An- bzw. Abschalten oder auch ein Öffnen bzw. Schließen wird der Charakteristik ‚an/aus‘ bzw. ‚auf/zu‘ zugeordnet. Handelt es sich um eine Dreh- oder Schwenkbewegung, wird die Charakteristik ‚drehen/schwenken‘ eingesetzt. Diese sechs Hauptcharakteristiken erfassen die zu be-

dienenden Funktionen. Sollten in einem speziellen Entwicklungsvorgang Funktionen auftreten, welche sich mit Hilfe der dargestellten Charakteristiken nicht erfassen lassen, können diese problemlos hinzugefügt werden und die Layer-Methode um diese ergänzt werden. Das Zwischenergebnis stellt eine charakterisierte Funktionssammlung dar, welche in der Lage ist, in verschiedene Layer eingeteilte Bedienszenarien zu visualisieren und das Ausmaß der im Interface zu implementierenden Funktionen darzustellen.

In einem nachfolgenden Schritt wird das für das Interface zur Verfügung stehende Layout, welches nach ergonomischen und anthropometrischen Kriterien und dem zur Verfügung stehenden Raum bemessen wird, verwendet. Dieses Grundlayout richtet sich nach Erreichbarkeitsräumen, Sichtbereichen und Komfortwinkeln, siehe Kapitel 2.3.1. Bild 6.11 stellt das Grundlayout im Anwendungsbeispiel EvP1 dar, welches durch die genannten Begrenzungen den zur Verfügung stehenden Raum für das Interface präsentiert. Es handelt sich hierbei um den zur Verfügung stehenden Raum für eine Bedienarmlehne im Traktorcockpit. Die Entfernung zwischen Ellenbogenauflegepunkt und der jeweiligen Positionierungsstufe stellt die Bediendistanz dar, welche für die Extrema der betrachteten User, beispielsweise die 5 Perzentil Frau und den 95 Perzentil Mann, berücksichtigt werden muss. Diese wird in EvP1 experimentell bestimmt und orientiert sich am Stand der Technik. Auch der Winkel, welcher den Bereich für die Positionierung der BE definiert, ist durch experimentelles Vorgehen und ergonomische Richtlinien aus der Literatur, siehe Kapitel 2.3.1, festgelegt. Es handelt sich um einen Bereich von 45°. Für den Fall, dass beispielsweise der 1.EAP gewählt wird, sind die zu positionierenden Bedienelemente in absteigender Reihenfolge von 1.PSB bis 4.PSB zu wählen, da der Bedienkomfort in dieser Richtung abnimmt. Das Layout bietet die Möglichkeit die räumliche Kompatibilität in verschiedenen Richtungen zu berücksichtigen. Jedoch sind die unterschiedlichen Komfortzonen zu berücksichtigen, welche sich aus der PSB und dem Anordnungswinkel ergeben. Die komfortablere Positionierung bzgl. des Anordnungswinkels ist in EvP1 von links nach rechts abnehmend. Je weiter rechts das BE positioniert ist, desto weniger komfortabel ist die Bedienung.

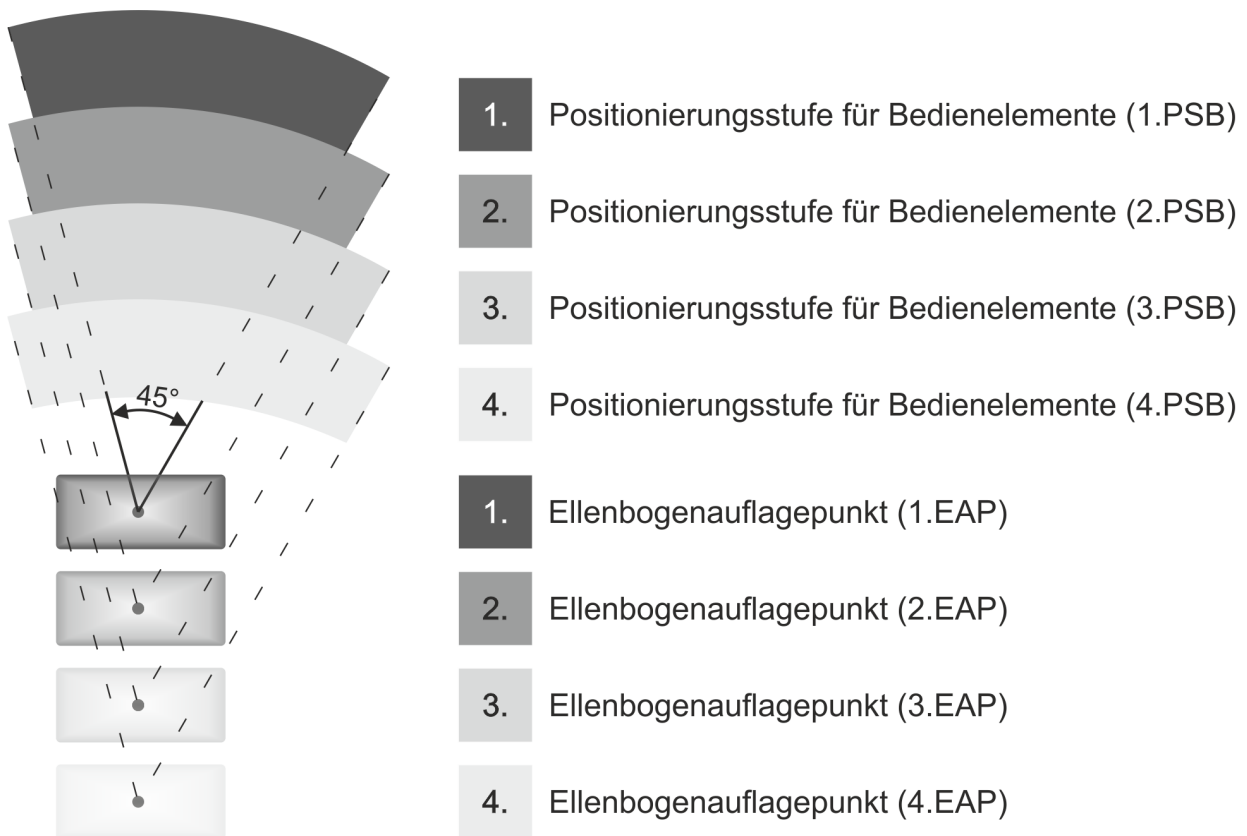


Bild 6.11: Grundlayout einer Bedienarmlehne mit unterschiedlichen Positionierungsstufen am Bsp. EvP1

Nachdem das Grundlayout definiert ist, werden die BF auf den bedienszenariospezifischen Layern nach Priorität angeordnet. Diese Priorität richtet sich nach den in der FuB ermittelten Bedienungshäufigkeiten, sicherheitskritischen und ergonomischen Aspekten. Der große Vorteil der Methode ist, dass grundsätzlich kein Platzmangel auf dem Grundlayout herrscht, da durch die verschiedenen Layer jedes Bedienszenario auf einer eigenen Ebene idealisiert angeordnet wird. Hier werden Kompromisslösungen vorerst ausgeschlossen.

Werden die Erkenntnisse aus der Layerpositionierung und dem definierten Grundlayout kombiniert, entsteht die in Bild 6.12 dargestellte Übersicht. Diese dient als Ausgangsbasis für die Konzeptentwicklung. Mit Hilfe der Layer kann die optimale Anordnung der unterschiedlichen Bedienfunktionen erkannt werden und zusätzlich ist die notwendige Charakteristik dieser unterschiedlichen Funktionen offensichtlich.

Zu den geeigneten Umsetzungsmöglichkeiten der Layer-Methode zählen kreative Methoden zur Prototypenentwicklung. In EvP1 kommen Prinzipskizzen, 2D-Montagen, 3D-Montagen, Schaumstoffmodelle, Modelle aus FIMO-Modelliermasse, Clay-Modelle, 3D-Scans, CAD-Modelle und 3D-Drucke zum Einsatz. Aus diesen Prototypen, welche unterschiedliche Reifegrade besitzen, konnten mit dem Einsatz diverser Iterationsschleifen

und Kombinationen der einzelnen Methoden zwischen den unterschiedlichen Prototypen ein finaler funktionsfähiger Prototyp generiert werden. Dieser wird in Feldtests evaluiert.

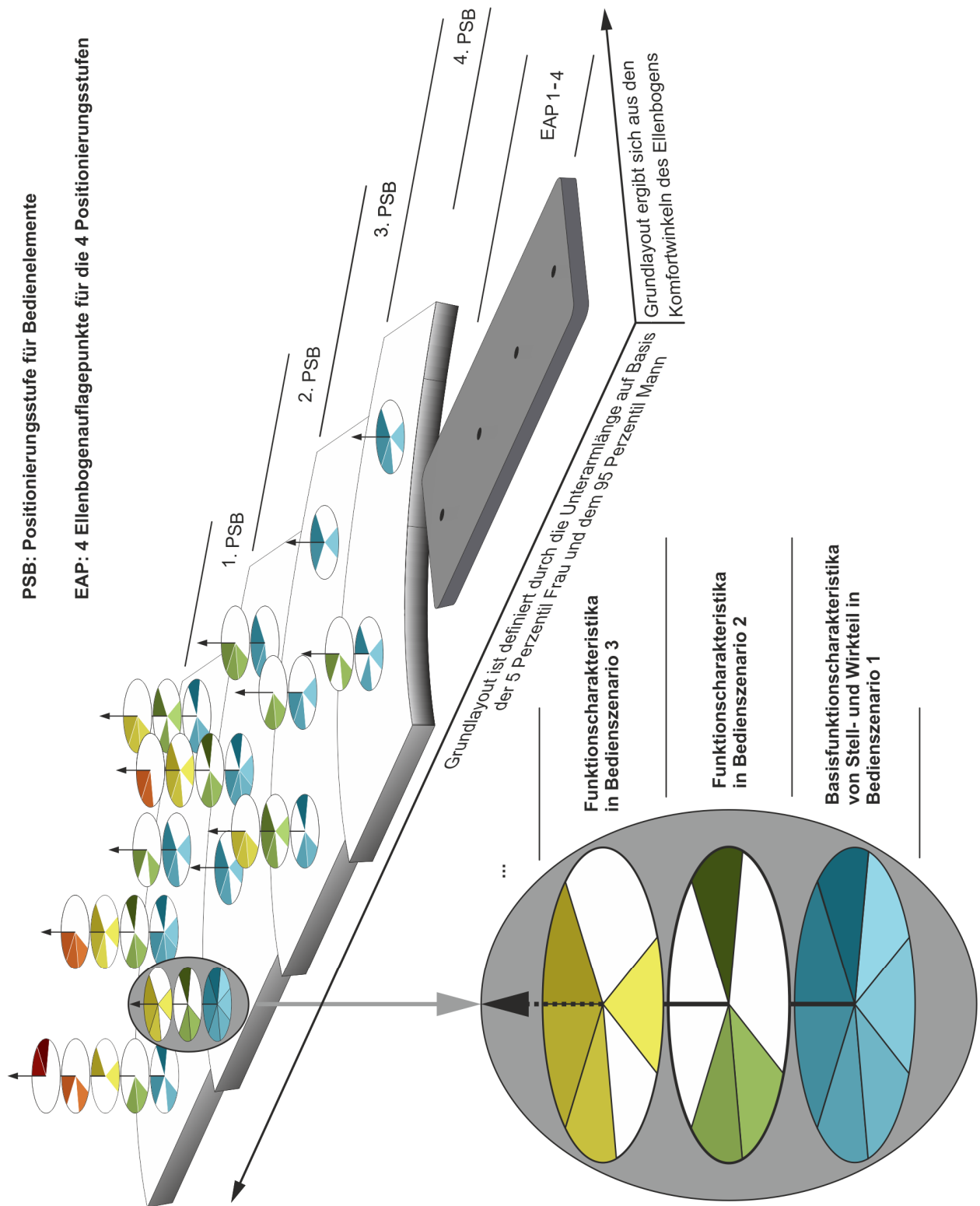


Bild 6.12: Übersicht der LM mit Grundlayout des Anwendungsbeispiels aus EvP1 [KAUFMANN ET AL. 2020]

Ein Auszug weiterer Methoden und Techniken, die zur konzeptionellen Umsetzung eingesetzt werden können, sind das Prinzip der grünen Wiese, Lego Serious Play und Design Thinking. Diese Techniken sind je nach Bedarf beliebig erweiterbar.

6.5.3 Diskussion

Die Layer-Methode gibt einen Überblick über die Summe aller zu berücksichtigenden BF. Zusätzlich ist die Anordnung dieser BF visualisiert dargestellt und kann nach den einzelnen BSZ gefiltert werden. Diese Übersicht clustert potentielle Ansammlungen wichtiger BF auf prominenten Stellen des zur Verfügung stehenden Layouts des Interfaces. Durch die Überlagerung der Charakteristika der einzelnen BF werden die Anforderungen an die adaptiven BE bzw. an die adaptiven Interfaces deutlich. Ergonomische Grundlagen werden bei der Methodenanwendung ebenso berücksichtigt wie die Anforderungen an die Bedienung der einzelnen BSZ. Auf Basis der LM sind sämtliche Grundlagen gegeben, die für die Anwendung weiterer Kreativitätsmethoden benötigt werden, um erfolgreich adaptive Interfaces zu gestalten.

6.6 Methodenergebnisse

Die Ergebnisse der Methodik werden im Folgenden anhand der jeweiligen Resultate der Einzelmethode zusammengefasst. Durch die Anwendung der unterschiedlichen Methoden werden die projektspezifischen Anforderungen gewichtet und entsprechend dieser Gewichtung berücksichtigt. Hierfür liefert die FG die passende Methodenauswahl. Mit der Anwendung der FZM wird eine Kategorisierung einzelner BF, hinsichtlich der geeignetsten IFT getroffen, welche für die Interfacekonzeption relevant ist. Durch die Berechnung der Komplexitäten in der KM wird gewährleistet, dass die HMI-Komplexität die Expertise der potentiellen Usergruppe nicht übersteigt. Zusätzlich werden die drei Kerngrößen der PK, HMIK und des AG in dem Komplexitätsdreieck in ein Verhältnis gesetzt. Aus diesem und den Komplexitätsberechnungen lassen sich Empfehlungen für die Interfacekonzeption ableiten. Aus der Anwendung der FuB resultieren Funktions- und Bediencharakteristiken, notwendige Kompatibilitäten und ergonomische Maße. Die daraus gewonnenen Kenntnisse über die MMS dient als Grundlage für die Gestaltung dieser. In der LM werden die ergonomischen Maße in Form von konkreten Positionierungen der Stellteile und Anzeigen umgesetzt. Die funktionalen Anforderungen an die adaptiven Interfaceelemente und an das adaptive Interfacesystem werden mit Hilfe von verschiedenen etablierten Innovations- und Kreativitätstechniken zu Konzepten adaptiver Interfaces weiterentwickelt.

Im Folgenden werden die Resultate aus den Methodenanwendungen zusammengefasst. Die Ergebnisse stellen strukturierte Produkthanforderungen unterschiedlicher Art

zur Verfügung, die für adaptive Interfaces relevant sind. Tabelle 6.21 zeigt die Resultate aus der Methodenanwendung in komprimierter Form.

	Berücksichtigte Parameter	Resultierende HMI-Anforderungen aus den Methodenanwendungen
FG	Kundenanforderungen, Branchenspezifische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbeziehung der Kundenanforderungen in das Projekt ▪ Einbeziehung der branchenspezifischen Anforderungen in das Projekt ▪ Methodenempfehlung für den weiteren Projektverlauf
FZM	Blindbedienung, Bedienumgebung	Vorgaben an die Interfacetechnologie bzgl.: <ul style="list-style-type: none"> ▪ des Gesamtsystems ▪ der Bedienszenarien ▪ der Funktionsgruppen ▪ der Bedienfunktionen
KM	Komplexität, Fähigkeiten des Users, Qualifikation des Users	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empfehlungen hinsichtlich der Anzahl an Stellteilen, Anzahl an Funktionen pro Stellteil, Varietät der Stellteile, Korrelation der Stellteile, ▪ Vorgaben zur notwendigen Userunterstützung ▪ Kompatibilitätsdreieck
FuB	Usability, Intuitivität, Benutzerfreundlichkeit, BSZ, Bedienpräzision, Bediengeschwindigkeit, Kompatibilität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funktions- und Bediencharakteristiken ▪ Vorgaben zur Notwendigkeit der Kompatibilitäten ▪ Analyse der ergonomischen Kerngrößen ▪ Analyse und Verständnis der Bedienung und daraus resultierende Gestaltanforderungen
LM	Usability, Ergonomie, Funktionserkennung, Funktionseindeutigkeit, Anordnung, Bedienhäufigkeit, Verfügbarkeit von BE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anforderungen an die ergonomische Positionierung ▪ Anforderungen an Funktionsvielfalt pro adaptivem Interface ▪ Überschneidungen in den Bediencharakteristiken ▪ Bedienszenariospezifische Überschneidungen von Bedienpositionen

Tabelle 6.21: Resultierende Produktanforderungen aus der Methodikanwendung

Die Methodikanwendung resultiert in einer Prototypentwicklung, welche zeitgleich auch die Leistungsgrenze der Methodik darstellt.

7 Evaluation der Methodik

Um die Methodik zu evaluieren werden unterschiedliche Evaluationsarten genutzt. Die Basis der Evaluation stellen die in Kapitel 5 erhobenen Anforderungen dar, welche im folgenden Kapitel sukzessive evaluiert werden.

Die formative Evaluation findet bereits während des Entwicklungsprozesses statt, um Korrekturen umgehend in dem Entwicklungsprozess zu implementieren und somit das vorgegebene Ziel möglichst zufriedenstellend zu erreichen, wie in Kapitel 2.12.1 beschrieben.

Die in Kapitel 2.12.2 vorgestellte, im Kontext von Usability Untersuchungen veröffentlichte, heuristische Evaluation wird mit abgeänderten Parametern zur Methodenevaluation eingesetzt. Sie stützt sich auf das Fachwissen und Urteilsvermögen von Experten. Bei der Evaluation der in dieser Arbeit entwickelten Methodik ist die Expertise von Fachleuten fundamental und deshalb kommt die heuristische Evaluation mit abgeänderten Parametern zum Einsatz.

Die dritte angewandte Evaluationsart ist die summative Evaluation, siehe Kapitel 2.12.3. Hier wird nach dem Entwicklungsprozess eine Art Erfolgsevaluation durchgeführt, welche die beurteilbaren Resultate objektiv bewertet.

Sämtliche Evaluationsarten prüfen die gesamte Methodik und die fünf einzelnen Methoden anhand der erhobenen Anforderungen. Je nach Charakteristik der Anforderung wird die Evaluation methodenübergreifend oder für jede Methode einzeln bewertet. In beiden Fällen werden die Anforderungen anhand eines Erfüllungsgrades (ErG) evaluiert.

Zusätzlich dient für bestimmte Anforderungen die in Kapitel 4 vorgestellte Potenzialanalyse als Evaluationsgrundlage. Beispielsweise wird die Praxisrelevanz u. a. durch die Abfrage des potentiellen Mehrwerts einer etwaigen Methodik evaluiert.

Die vier zusammenspielenden Arten der Evaluation, Potenzialanalyse PA, formative Evaluation FE, heuristische Evaluation HE und summative Evaluation SE, ergeben die gesamtheitliche Evaluation der Methodik. Tabelle 7.1 zeigt, aus welchen Bausteinen sich die komplette Evaluation ergibt und welche Anforderungen mit welcher Evaluationsart bewertet werden. Die jeweiligen Anforderungen werden teilweise mit der Hilfe von Teilanforderungen untersucht. Diese Teilanforderungen sind nötig, um einzelne Anforderungen im Detail zu evaluieren. Anforderungen sind in Tabelle 7.1 blau und Teilanforderungen grau dargestellt.

		Potenzialanalyse	Formative Evaluation	Heuristische Evaluation	Summative Evaluation
Anforderungen	Teilanforderungen	Praxisrelevanz	Wiss. Sinnhaftigkeit	Nachvollziehbarkeit	Überprüfbarkeit
		Parameterdefinition	Gültigkeit	Verständlichkeit	Wiss. Sinnhaftigkeit
		Parameterverifizierung	Nützlichkeit	Erlernbarkeit	Objektivität
			Effektivität	Anwendbarkeit	Zuverlässigkeit
			Effizienz	Strukturierung	Nachvollziehbarkeit
			Problemspezifität	Flexibilität	Wiederholbarkeit
			Parameterumsetzung	Kompatibilität	Praxisrelevanz
			Fokusanwendung	Komplexität	Nützlichkeit
				Kompatibilität	Effektivität
				Nützlichkeit	Effizienz
				Effektivität	Adaptivität
				Effizienz	Fokusdefinition
				Problemspezifität	Fokusberechnung
					Fokusanwendung
Gesamtevaluation					

Tabelle 7.1: Zusammensetzung der Evaluation

Die in der Anforderungsliste definierten Anforderungen werden punktuell formativ, heuristisch, summativ und mit der Potenzialanalyse evaluiert. Die unterschiedlichen Anforderungen werden anhand von qualitativen Bewertungskriterien überprüft. Hierzu wird für jedes Projekt ein individueller Fragebogen erstellt, der von den jeweiligen Projektanwendern analysiert wird. Die Evaluation wird mit Hilfe eines modularen und standardisierten Fragebogens durchgeführt. Die gestellten Fragen zielen auf den Erfüllungsgrad der unterschiedlichen in Kapitel 5.3 definierten Anforderungen ab. Der Fragebogen besteht aus Modulen, die projektspezifisch zum Einsatz kommen und die Evaluation der unterschiedlichen Anforderungen ermöglichen. Die im Fragebogen überprüften Aussagen werden mit Hilfe einer 5-stufigen Likert-Skala evaluiert. Diese erstreckt sich von ‚trifft gar nicht zu‘ bis ‚trifft voll zu‘, wie in Tabelle 7.2 dargestellt ist.

--	-	.	+	++
trifft gar nicht zu	trifft eher nicht zu	teils / teils	trifft eher zu	trifft voll zu
0	1	2	3	4

Tabelle 7.2: Ratingskala ‚Zustimmung‘

Die Ergebnisse werden evaluationsartübergreifend in 5-stufigen Kuchendiagrammen visualisiert, welche die 5-stufige Likert-Skala widerspiegelt. Der Zusammenhang zwi-

schen der verbalen Ratingskala und dem Kuchendiagramm des Erfüllungsgrades ist in Tabelle 7.3 dargestellt.

trifft gar nicht zu	trifft eher nicht zu	teils / teils	trifft eher zu	trifft voll zu
	◐	◑	◒	●

Tabelle 7.3: Zusammenhang zwischen verbaler Ratingskala und dem Erfüllungsgrad

Werden Anforderungen in mehreren Evaluationsprojekten oder Evaluationsarten betrachtet, wird der Mittelwert als Ergebnis präsentiert. Die unterschiedlichen Evaluationsarten kommen abgestimmt auf die zu evaluierenden Anforderungen zum Einsatz. Zusätzlich dienen mehrere Projekte zur Evaluation einzelner Anforderungen, um verschiedene Projektvoraussetzungen zu evaluieren.

Der Fragebogen zur Evaluation setzt sich aus geschlossenen und offenen Items zusammen. Die geschlossenen Items werden mit der Likert-Skala bewertet. Zusätzlich besteht für den Evaluierenden die Möglichkeit, zu jedem Item einen offenen Text zur Erläuterung der Bewertung zu erstellen.

Schlussendlich werden die Evaluationsergebnisse zusammengefasst und die Durchschnittswerte in einer Gesamtevaluation, siehe Kapitel 7.5, dargestellt.

Die Methodik, die sich in fünf einzelne Methoden gliedert, wird anhand von sechs unterschiedlichen EvP und 16 Anforderungen evaluiert.

Tabelle 7.4 zeigt die EvP mit den pro Projekt analysierten Methoden. Zusätzlich sind die Projekte den Evaluationsarten zugeordnet. Die Anforderungen, die mit der PA und SE betrachtet werden, beziehen sich auf die Methodik als Ganzes. Die Anforderungen, die mit der FE und HE bewertet werden, beziehen sich teilweise auf die Methodik und teilweise auf die fünf einzelnen Methoden. Damit handelt es sich um vier verwendete Evaluationsarten.

Potenzialanalyse											
Formative Evaluation			Heuristische Evaluation								
EvP1		EvP2		EvP3		EvP4		EvP5		EvP6	
Methoden	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG
		FZM	FZM				FZM	FZM			
		KM					KM	KM			
	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB	FuB
	LM		LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM	LM

Summative Evaluation

Tabelle 7.4: Methoden- und Projektzuordnung zu den 4 verwendeten Evaluationsarten

Bei der Potenzialanalyse und den drei weiteren Evaluationsarten handelt es sich um anforderungsorientierte Evaluationsvorgehen. Die formative Evaluation findet während der Projektlaufzeit statt und wird vom Projektleiter vorgenommen. Deshalb fällt diese Evaluationsart zusätzlich unter die Kategorie der projektorientierten Evaluation. Die summative Evaluation wird nach Abschluss des jeweiligen Projekts vorgenommen und konzentriert sich auf die Projektergebnisse. Hierbei handelt es sich um eine ergebnisorientierte bzw. erfolgsorientierte Evaluation. Die heuristische Evaluation wird ebenso nach Abschluss des jeweiligen Projekts vom Projektanwender vorgenommen, weshalb von einer projekt- und anwenderorientierten Evaluation gesprochen wird.

Tabelle 7.5 zeigt einen Überblick hinsichtlich der Anforderungen und deren Zuordnung zu den Evaluationsprojekten. Die Darstellung bietet zusätzlich eine Übersicht, welche Anforderungen mit Blick auf die gesamte Methodik evaluiert werden und welche mit Blick auf die einzelnen Methoden. Diese Unterscheidung hängt von der jeweiligen Anforderung ab. Beispielsweise wird die Anforderung ‚Adaptivität‘ anhand des prototypischen Ergebnisses evaluiert. Dieses entsteht nach der Anwendung der kompletten Methodik, weshalb die Evaluation der Adaptivität anhand der Methodik durchgeführt wird.

		Anforderungen		Evaluation		Evaluationsart	Evaluationsprojekt					
		Teilanforderungen		Methodik	Methode		EvP1	EvP2	EvP3	EvP4	EvP5	EvP6
Normativität	Überprüfbarkeit		x		SE	x	x	x	x	x	x	
	Wissenschaftl. Sinnhaftigkeit	Objektivität	x		SE	x	x	x	x	x	x	
		Zuverlässigkeit	x		SE	x	x	x	x	x	x	
		Gültigkeit		x	FE	x	x					
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		x	HE			x	x	x	x	
		Wiederholbarkeit	x		SE	x	x	x	x	x	x	
		Erlernbarkeit		x	HE			x	x	x	x	
		Anwendbarkeit		x	HE			x	x	x	x	
Unsicherheit	Strukturierung		x		HE			x	x	x	x	
	Flexibilität		x		HE			x	x	x	x	
	Kompatibilität	Komplexität	x		HE			x	x	x	x	
		Kompatibilität		x	HE			x	x	x	x	
Konkurrenzfähigkeit	Praxisrelevanz		x		PA / SE	x	x	x	x	x	x	
	Nützlichkeit	Effektivität	x		FE / HE / SE	x	x	x	x	x	x	
		Effizienz	x		FE / HE / SE	x	x	x	x	x	x	
A.g.	Problemspezifität			x	FE / HE	x	x	x	x	x	x	
Resultat	Adaptivität		x		SE	x	x	x	x	x	x	
Parametrisierung	Parameterdefinition		x		PA							
	Parameterverifizierung		x		PA							
	Parameterumsetzung		x		FE	x	x					
Fokussierung	Fokusdefinition		x		SE	x	x	x	x	x	x	
	Fokusberechnung		x		SE	x	x	x	x	x	x	
	Fokus-anwendung		x		FE / SE	x	x	x	x	x	x	

Tabelle 7.5: Zuordnung der zu evaluierenden Anforderungen zu den EvP

7.1 Evaluation durch die Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse dient dazu, bestimmte Anforderungen an die Methodik vor Beginn der Methodenentwicklung zu untersuchen. Hierbei liegt der Fokus darauf, dass ein grundsätzlicher Bedarf an der Methodik besteht und diese sich auf die für den Anwendungszweck relevanten Parameter fokussiert. Diese Potenzialanalyse wird in Kapitel 4 vorgestellt. Die Evaluation der betreffenden Anforderungen, welche mit Hilfe der Potenzialanalyse durchgeführt wird, ist unabhängig von den jeweiligen Evaluationsprojekten. Die Evaluation aus der Potenzialanalyse richtet sich auf die Anforderungen Praxisrelevanz, Parameterdefinition und Parameterverifizierung, siehe Tabelle 7.1. Durch die Experteninterviews werden diese Anforderungen evaluiert. Die Praxisrelevanz wird mit Hilfe der Fragen nach der bestehenden Existenz und dem potentiellen Mehrwert einer Methodik zur Entwicklung adaptiver Interfaces bewertet. Die Parameterdefinition wird mit der Abfrage untersucht, ob eine Generierung eines umfangreichen Parameterpools durch Experten, eine Clusteranalyse und eine einheitliche Definition dieser Parameter existiert. Die Evaluation der Parameterverifizierung erfolgt durch die Aussage, ob es eine Gewichtung und Überprüfung der Parameter gibt. Dies wird in der zweiten Delphi-Befragung und deren Vorbereitung durchgeführt. Kapitel 4.1.6 zeigt die durchschnittliche Einschätzung der Experten hinsichtlich der aufgezeigten Fragen, welche die Praxisrelevanz einer Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen betreffen. Zusätzlich werden durch die in Kapitel 4.1.7 dargestellten Ergebnisse, die Anforderungen der Parameterdefinition und Parameterverifizierung evaluiert. Tabelle 7.6 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse aus der Potenzialanalyse hinsichtlich der Evaluation der drei genannten Anforderungen. Der Erfüllungsgrad ist zum einen mit einem Diagramm und zum anderen mit einem exakten Zahlenwert (ZW) gegeben. Der untere der beiden Werte ist der in der Evaluation bewertete ZW, der die Werte zwischen 0 und 4 einnehmen kann. Der obere Wert ist der entsprechende ZW auf einer angepassten Skala die von 0 bis 1 reicht. Diese Skala wird eingeführt, um die Einhaltung des in Kapitel 4.1.7 eingeführten Grenzwerts von 0,8 zu überprüfen. Dieser Grenzwert wird im Rahmen der Evaluation analog zu der Verwendung in Kapitel 4 eingesetzt.







		Erfüllungs- grad	ZW ErG Methodik	Zu evaluierende Frage / Aussage
Konkurrenz- fähigkeit	Praxisrelevanz		1 4	Existiert ein methodischer Ansatz zur Entwicklung von adaptiven Interfaces?
			0,75 3	Wie groß ist der potentielle Mehrwert einer Methode zur Entw. von adaptiven Interfaces?
Parametrisierung	Parameter- definition		1 4	Die Parameter wurden eindeutig definiert.
			1 4	Die Parameter wurden sowohl geclustert als auch vereinheitlicht und inhaltlich zusammengefasst.
	Parameter- verifizierung		1 4	Die Parameter wurden überprüft und bestätigt.
			1 4	Die Parameter wurden gewichtet.

Tabelle 7.6: Evaluationsergebnisse der Potenzialanalyse

7.2 Formative Evaluation

Im Rahmen dieser Arbeit handelt es sich bei dem Entwicklungsprodukt um eine Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen. In diesem Zusammenhang bedeutet die formative Evaluationsform das systematische Sammeln von Informationen, um Entscheidungen zur Gestaltung und Verbesserung der Methodik während der Projektphase zu treffen. Zusätzlich wird die Methodik anhand unterschiedlicher Anforderungen bewertet.

Die Anwendung dieser Evaluation kommt während der Projekte EvP1 und EvP2 zum Einsatz, um in einem iterativen Prozess sowohl das entstandene adaptive Produkt als auch die Methodik, die zur Entwicklung dieses Produkts geführt hat, möglichst exakt an die jeweilige Zielsetzung anzunähern.

Die formative Evaluation bezieht sich anforderungsabhängig entweder auf die Gesamtmethodik oder die einzelnen Methoden, wie in Tabelle 7.5 gekennzeichnet ist.

7.2.1 Formative Evaluation der Methodik

Die formative Evaluation der folgenden Anforderungen bezieht sich auf die Methodik als Gesamtheit der fünf verschiedenen Methoden. Bei den Anforderungen handelt es sich um die Nützlichkeit, welche in Effektivität und Effizienz aufgeteilt ist, die Parameterumsetzung und die Fokusanwendung. Diese Anforderungen werden im Rahmen der formativen Evaluation anhand einer Anwenderbefragung durchgeführt. Bei diesem Anwender handelt es sich um Anwender und Methodikentwickler zugleich.

Die Effektivität wird mit zwei verschiedenen Aussagen überprüft. ‚Die Methodik ist effektiv aufgebaut‘ und ‚die Anwendung der Methodik ist zielführend‘.

Die Effizienz wird ebenso mit zwei verschiedenen Aussagen evaluiert. ‚Die Methodik ist effizient aufgebaut‘ und ‚die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden‘.

Um die Parameterumsetzung zu evaluieren, werden zwei Aussagen zur Verifizierung gestellt. Zum einen ‚die verifizierten Parameter kommen zur Anwendung in der Methodik‘ und ‚die verifizierten Parameter haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces‘.

Die Fokusanwendung wird über folgende Aussage bewertet: ‚Der definierte Fokus kommt in der Methodik zur Anwendung‘.

7.2.2 Formative Evaluation der Methoden

Um die Gültigkeit der Methodik zu evaluieren ist es notwendig, die Gültigkeit der einzelnen Methoden zu analysieren, da diese ganzheitlich betrachtet die Methodik ergeben. Zur Evaluation werden die zwei folgenden Aussagen bezüglich jeder der fünf Methoden verifiziert. ‚In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet‘ und ‚die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfacesystems‘.

Die zu prüfende Aussage, um die Problemspezifität zu evaluieren lautet: ‚Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren‘.

7.2.3 Evaluationsprojekt EvP1

Das 3,5-jährige Forschungsverbundprojekt aISA - adaptive Interfacesysteme im Ackerschlepper ist ein von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung und der Landwirtschaftlichen Rentenbank gefördertes Projekt, welches die Zielsetzung verfolgt, ein adaptives Interfacesystem für Ackerschlepper zu entwickeln, das sich auf die unterschiedlichen Bedienszenarien optimal anpasst. Im Rahmen dieser Arbeit handelt es sich dabei um das erste Evaluationsprojekt, EvP1.

In dem Forschungsprojekt ist es gelungen, mit Hilfe der in Kapitel 6 vorgestellten Methodik und den inkludierten einzelnen Methoden, reale adaptive Bedienelemente bzw. ein komplettes adaptives Bediensystem zu entwickeln, welches sich durch verschiedene Adaptivitätsmerkmale bedienszenariospezifisch optimal einstellt. Bei den Adaptivitätsmerkmalen handelt es sich um die Verfügbarkeit und Positionierung von Bedienelementen, unterschiedliche Betriebsmodi und die grafische Kennzeichnung der Adaptivität.

In EvP1 wird eine formative Evaluation vom Projektverantwortlichen für die Entwicklung der Methodik durchgeführt. Iterative Verbesserungen fließen direkt in die Entwicklung

der unterschiedlichen Methoden ein. Beginnend mit der Fokusgenerierung werden anschließend sowohl die Funktions- und Bedienanalyse als auch die Layer-Methode evaluiert (s.a. Tab. 7.4).

7.2.3.1 Evaluationsergebnisse

Die Evaluationsergebnisse folgen auf die Evaluation und sind unterteilt in Ergebnisse hinsichtlich der gesamten Methodik und Ergebnisse der einzelnen Methoden.

Die nachfolgenden Anforderungen werden bezüglich der gesamten Methodik überprüft. Die Anforderung Nützlichkeit spaltet sich in die Effektivität und Effizienz auf. Hierbei wird zusätzlich zur Effektivität und Effizienz geprüft, ob die Anwendung der Methodik zielführend und mit angemessenem Aufwand durchführbar ist. Um die Anforderung der Parametrisierung zu evaluieren wird geprüft, ob die verifizierten Parameter bei der Anwendung der Methodik zum Einsatz kommen. Zusätzlich wird der Einfluss dieser Parameter auf die Entwicklung des adaptiven Interfacesystems analysiert. Die dritte zu prüfende Anforderung bezüglich der gesamten Methodik ist die Fokussierung (F.) der Methodik. Hier ist der zur Anwendung kommende definierte Fokus sowie dessen Einfluss auf die Interfaceentwicklung entscheidend.

Tabelle 7.7 stellt die Evaluationsergebnisse der FE in EvP1 dar, welche die Anforderungen Nützlichkeit, Parameterumsetzung und Fokusanwendung beinhalten.








			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Konkurrenzfähigkeit	Nützlichkeit	Effektivität		Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
				Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz		Die Methodik ist effizient aufgebaut.	
			Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.	
Parametrisierung	Parameterumsetzung			Die verifizierten Parameter kommen zur Anwendung in der Methodik.
				Die verifizierten Parameter haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
F.	Fokusanwendung			Der definierte Fokus kommt in der Methodik zur Anwendung.

Tabelle 7.7: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP1

Die Kritikpunkte des Anwenders hinsichtlich der Parametrisierung, die aus den geschlossenen und offenen Fragen der Evaluation hervorgehen, sind im Folgenden beschrieben. In diesem Projekt werden nicht alle Parameter angewandt, was jedoch wegen der spezifischen Projektfokussierung nicht zwingend notwendig ist. Es werden

exklusive der FG zwei von vier Methoden angewandt, wobei die entsprechenden Parameter zum Einsatz kommen. Hinsichtlich der Nützlichkeit steht der erhebliche Aufwand während der Anwendung im Zentrum der Kritik. Insbesondere die FuB mit der umfangreichen Analyse und Funktionserfassung, wird in den offenen Fragen als sehr aufwendig beschrieben. Stellungnehmend auf die Bewertung der Fokusanwendung, wird der Aufwand und die Vorgehensweise als passend beurteilt, da der Fokus notwendig ist, um die Ziele der Projektpartner und die vorherrschende Projektidee zu vereinheitlichen. Im Folgenden werden die einzelnen Methoden mit den zugeordneten Anforderungen evaluiert. Zur Zielerreichung der Projektziele wird der Projektfokus mit Hilfe der Fokusgenerierung festgelegt. Durch die Fokusgenerierung kann ein zum Projekt passender Fokus berechnet werden. Das Ergebnis der FG für die Entwicklung eines adaptiven Interfaces in EvP1 ist, dass die Fokussierung auf der Funktions- und Bedienanalyse und der Layer-Methode liegen sollte. Im Projekt werden diese beiden Methoden angewandt. Tabelle 7.8 stellt die Erfüllungsgrade der evaluierten Anforderungen bzgl. der Fokusgenerierung dar.




			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Normativität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problemspezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.8: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP1

Die wissenschaftliche Sinnhaftigkeit wird positiv bewertet. Hinsichtlich der Problemspezifität, welche der Anforderung ‚Anwendungsgrenzen (A.g.)‘ zugeordnet ist, trifft die zu evaluierende Aussage eher zu. Die offenen Bewertungsfelder wurden nicht weiter kommentiert.

Die Funktions- und Bedienanalyse im Rahmen von EvP1 wird mit Hilfe einer umfangreichen Analyse von etlichen Bedienszenarien durchgeführt. Hieraus resultiert zum einen die Grundlage für die Anwendung der Layer-Methode und zum anderen der Abgleich von Kompatibilitäten bzw. die Notwendigkeit unterschiedlicher Kompatibilitäten. Tabelle 7.9 zeigt die Ergebnisse der Evaluation der FuB.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Norma-tivität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.9: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP1

Die Kritik in der Gültigkeit der FuB liegt darin, dass es keine zwingende Verbindlichkeit der Resultate auf die weitere Entwicklung gibt. Es gleicht Empfehlungen, die nicht bindend zu sein scheinen. Demnach ist auch die Vorgehensweise nicht verbindlich.

Die Durchführung der Layer-Methode in EvP1 basiert auf der FuB. Durch die Definition unterschiedlicher Funktionscharakteristika wird ein Gesamtbild aller notwendigen Bedienungen kreiert. Über eine Priorisierung dieser Funktionen und der zugehörigen Bedienung wird die Anordnung auf den zur Verfügung stehenden Abmessungen platziert. Die Erfüllungsgrade der evaluierten Anforderungen bzgl. der Layer-Methode sind in Tabelle 7.10 dargestellt.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Norma-tivität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.10: Evaluationsergebnisse für die LM in EvP1

Die geringe Menge an zur Verfügung stehender Werkzeuge zur Lösungsfindung wird als Einschränkung der LM gesehen.

Methodenübergreifend wird die Anwendung positiv bewertet. Überwiegend voll und eher zutreffende Evaluationsaussagen resultieren aus der Bewertung.

7.2.3.2 Projektergebnisse

Das Ergebnis des Forschungsprojekts ist eine adaptive Bedienarmlehne, welche sich auf unterschiedliche Bedienszenarien einstellt. Die Bedienszenarien wechseln beim An- und Abkoppeln eines bestimmten Arbeitsgerätes. Die Adaptivität wird über unterschiedliche Adaptivitätsmerkmale erreicht. Hierbei handelt es sich um die Verfügbarkeit, die Anordnung, die Grafik und den Betriebsmodus, welche sich bedienszenariospezifisch

adaptieren. Eine Darstellung der neu entwickelten Bedienarmlehne ist in Bild 7.1 zu sehen.



Bild 7.1: Projektergebnis adaptives Bediensystem aus EvP1 [KAUFMANN ET AL. 2020]

Zusätzlich resultieren aus dem Projekt die Patentanmeldungen mit den Nummern EP3616488B1 und EP3763182A1, welche auf der prinzipiellen Funktionsweise und technischen Umsetzung beruhen, die in der Bedienarmlehne zum Einsatz kommen. Der Inhalt der Patente ist unter anderem durch die Anwendung der entwickelten Methoden generiert worden.

7.2.4 Evaluationsprojekt EvP2

In diesem zur Evaluation herangezogenen Entwicklungsprojekt EvP2 wird ein adaptives GUI entwickelt, welches eine Komplexitätsreduktion sowie eine adaptive Anpassung an den jeweiligen User umsetzt. Der Anwendungskontext des GUIs ist ein überwiegend landwirtschaftlich genutzter Düngerstreuer. Da die Bedienung landwirtschaftlicher Maschinen durch wechselnde User mit unterschiedlichen Bedienungserfahrungen und -kenntnissen ausgeführt wird, besteht hier der Bedarf, die MMS auf den jeweiligen User anzupassen. Hierzu wird die Methodik angewendet.

7.2.4.1 Evaluationsergebnisse

Die Evaluationsergebnisse sind wiederum in Ergebnisse, die die Methodik betreffen und Ergebnisse, die die Methoden betreffen aufgeteilt. Tabelle 7.11 zeigt die Ergebnisse der Methodikevaluation.








			Erfüllungs- grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Konkurrenz- fähigkeit	Nützlichkeit	Effektivität		Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
				Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz			Die Methodik ist effizient aufgebaut.
				Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.
Parametri- sierung	Parameter- umsetzung			Die verifizierten Parameter kommen zur Anwendung in der Methodik.
				Die verifizierten Parameter haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
F.	Fokus- anwendung			Der definierte Fokus kommt in der Methodik zur Anwendung.

Tabelle 7.11: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP2

Es kommen bei der GUI-Entwicklung nicht alle Parameter zur Anwendung, weshalb die Parametrisierung Abzüge im Erfüllungsgrad aufweist. Exklusive der FG werden drei der vier zur Verfügung stehenden Methoden angewandt. Die umfangreiche Analyse und Bewertung der Bedienszenarien sind die Gründe, weshalb die bewertenden Aussagen bzgl. der Effektivität und Effizienz mit ‚trifft eher zu‘ evaluiert werden. Bezüglich der Fokussierung gibt es keine Anmerkungen in der Evaluation der Methodik.

Im Projektverlauf wird zunächst eine Fokusgenerierung durchgeführt, um das erfasste Pflichtenheft zu spezifizieren und einen genauen Fokus hinsichtlich der Projektzielsetzung zu generieren. Aus der durchgeführten Fokusgenerierung resultiert die Empfehlung des Methodeneinsatzes. Der Empfehlung folgend wird die Funktionszuordnungsmethode, die Komplexitätsmethode und die Funktions- und Bedienanalyse im Projekt angewendet (s.a. Tab. 7.4). Tabelle 7.12 zeigt die Evaluationsergebnisse für die FG.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Norma-tivität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.12: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP2

Die Sachverhalte haben zwar Einfluss auf die Entwicklung der Interfaces, jedoch könnte dieser größer sein. Die Aussagen zur Problemspezifität treffen eher zu.

Die Evaluation der Funktions-Zuordnungsmethode inklusive Anforderungen und der Erfüllungsgrade ist in Tabelle 7.13 dargestellt.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Norma-tivität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.13: Evaluationsergebnisse für die FZM in EvP2

Die Kritik an der FZM bezieht sich auf die Unverbindlichkeit der Resultate. Es handelt sich lediglich um Empfehlungen und keine klaren Handlungsanweisungen.

Die Evaluation der KM wird in Tabelle 7.14 dargestellt. Die KM wird in diesem Projekt-zusammenhang für die unverbindlichen Tendenzen und Empfehlungen kritisiert, die aus der Methoden-anwendung resultieren.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Norma-tivität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.14: Evaluationsergebnisse für die KM in EvP2

Die FuB wird mit Hilfe einer Probandenstudie und der Unterstützung von Eye-Tracking Soft- und Hardware durchgeführt. Es handelt sich um sechs verschiedene Probanden, welche beim Umgang mit der Maschine ‚komplett unerfahren‘ bis ‚sehr erfahren‘ sind.

Es werden typische Bedienszenarien kreiert und das Verfahren des ‚lauten Denkens‘ hilft zusätzlich zur Erfassung von Funktionen, Bediengewohnheiten und Problemstellungen. Tabelle 7.15 zeigt die Erfüllungsgrade der evaluierten Anforderungen. Zur FuB existieren keine Kritikpunkte in der Methodenevaluation.




			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Normativität	Wiss. Sinn.haft.	Gültigkeit		In der Anwendung der Methode werden die richtigen Sachverhalte betrachtet.
				Die richtigen Sachverhalte haben maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des adaptiven Interfaces.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet, um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.15: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP2

7.2.4.2 Projektergebnisse

Das Entwicklungsprojekt liefert ein adaptives GUI, welches sich durch eine Abfrage des Erfahrungsgrades und der individuellen Maschinen- und Bedienkenntnisse des Users adaptiv an ihn anpasst. Ein Filter des zur Verfügung gestellten Informationsgehalts und optional verfügbare Informationen über bestimmte Bedienfunktionen unterstützen den User bei der Bedienung. Zusätzlich werden bestimmte Bedienfunktionen durch kompatible Illustrationen der Stellteil-Wirkteil-Beziehung auf einem angemessenen Abstraktionsgrad auf intuitive Art an den User übermittelt, um diesem die Bedienung bestmöglich verständlich zu machen. Die adaptive Lösungsidee fokussiert sich auf die Einteilung der User in Laien- und Expertengruppen mit zwischengelagerten Abstufungen. Das Projektergebnis kann durch die zunächst durchgeführte FZM erreicht werden, wobei die Bedienfunktionen kategorisiert und sämtliche Bedienfunktionen idealisiert realer und virtueller Bedienung zugeordnet werden. Letztendlich werden diesbezüglich bei der Umsetzung Kompromisse eingegangen, da das Projekt sich auf die GUI-Entwicklung beschränkt. Die ermittelten Informationen hinsichtlich der bevorzugten IFT sind im weiteren Projektverlauf wertvoll, da besonderer Augenmerk auf die Gestaltung der vermeintlich nicht für die virtuelle Bedienung geeigneten Bedienfunktionen gelegt wird. Durch die Anwendung der KM werden relevante Usergruppen und deren Fähigkeiten identifiziert und Gestaltungsempfehlungen abgeleitet, welche in bestimmten Szenarien notwendig sind. Die FuB liefert Erkenntnisse hinsichtlich der Kompatibilitäten und den spezifischen Charakteristiken der unterschiedlichen Bedienfunktionen. Während der FuB kommen eine Eye-Tracking-Brille inklusive Software zum Einsatz. Zusätzlich werden die Methode des ‚lauten Denkens‘ und spezifische Fragebogen eingesetzt. Die daraus generierten Blickdaten kombiniert mit den offensichtlichen Fehlbedienungen und

Problematiken des Users sind sehr aufschlussreich hinsichtlich der Schwierigkeiten des bestehenden GUIs. Kombiniert mit den Informationen aus den Fragebogen können wertvolle Informationen zur Konzeption des neuen GUIs getroffen werden. Die Anwendung der verschiedenen Methoden bzw. der gesamten Methodik ist insgesamt erfolgreich. Es ist ein Prototyp des GUIs entstanden, der sämtliche Bedienfunktionen abdeckt und sich auf die unterschiedlichen Usertypen adaptiv anpasst. Aus Gründen der Vertraulichkeit kann das entwickelte GUI im Rahmen dieser Arbeit nicht visuell dargestellt werden.

7.2.5 Ergebnisse der formativen Evaluation

Die Ergebnisse der formativen Evaluation sind zusammengefasst in Tabelle 7.16 dargestellt.

			Erfüllungs- grad	ZW ErG Methodik	FG	FZM	KM	FuB	LM
N.	Wiss. Sinn.	Gültigkeit		0,93 3,7	0,94 3,75	0,88 3,5	0,88 3,5	0,94 3,75	1 4
		A.g.	Problem- spezifität		0,8 3,2	0,75 3	0,75 3	0,75 3	1 4
Konk.- fähigkeit	Nütz- lichkeit	Effektivität		0,81 3,25					
		Effizienz		0,69 2,75					
Para- -met.		Parameter- umsetzung		0,69 2,75					
Fok.		Fokus- anwendung		0,75 3					

Tabelle 7.16: Zusammengefasste Evaluationsergebnisse der FE

Die einzelnen Zahlenwerte spiegeln die durchschnittlichen Ergebnisse in exakten Zahlen wider. Der Erfüllungsgrad zeigt jeweils eine ungefähre Einordnung der Evaluationsergebnisse.

7.3 Heuristische Evaluation

Die heuristische Evaluation wird von Methodenanwendern durchgeführt. Hierbei werden sämtliche Projekte evaluiert, in denen die Methodik eingesetzt wird. Die jeweiligen Projektanwender führen die Evaluation mit Hilfe einer geführten Onlinebefragung durch. Der Fragebogen ist modular auf die projektspezifisch zu evaluierenden Anforderungen angepasst. Die Ratingskala aus Tabelle 7.2 wird beibehalten.

7.3.1 Heuristische Evaluation der Methodik

Die Strukturierung wird mit Hilfe der Aussage ‚die Methodik ist strukturiert aufgebaut‘ evaluiert.

Die Evaluation der Anforderung Flexibilität erfolgt mit der Aussage ‚die Methodik kann flexibel angewendet werden‘.

Die Teilanforderung Komplexität wird mit der Aussage ‚die Komplexität bei der Anwendung der Methodik wird niedrig gehalten‘ abgeprüft.

Die Anforderung Nützlichkeit wird mit den identischen Aussagen wie in Kapitel 7.2.1 beschrieben, evaluiert.

7.3.2 Heuristische Evaluation der Methoden

Die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Methoden wird anhand der Teilanforderungen Verständlichkeit, ‚die Methode ist verständlich aufgebaut‘, Erlernbarkeit ‚die Anwendung der Methode ist erlernbar‘ und Anwendbarkeit ‚die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar‘ evaluiert.

Die Teilanforderung Kompatibilität wird anhand der Aussage ‚die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar‘ überprüft.

Die Problemspezifität wird mit der identischen Aussage wie in Kapitel 7.2.2 beschrieben evaluiert.

7.3.3 Evaluationsprojekt EvP3

Das Forschungsprojekt aISA 2.0 ist das dritte Evaluationsprojekt, EvP3, und ist inhaltlich direkt an aISA anknüpfendes Forschungsprojekt, welches den in aISA entwickelten, adaptiven Bedienarmlehnenprototyp bzw. die adaptiven Module dieses Prototyps in einen serienreifen Status bringt. Die Anwendung der Methodik ist diesbezüglich notwendig, da es einer Überprüfung und Ergänzung der in aISA untersuchten Bedienszenarien und Funktionen bedarf. Hierbei werden zusätzliche Bedienszenarien analysiert, weshalb der bestehende Prototyp aus EvP1 überprüft und überarbeitet wird. Im Zuge des Projekts werden 460 BF, mit durchschnittlich 19 BSZ pro untersuchtem Arbeitsgerät, analysiert.

7.3.3.1 Evaluationsergebnisse

Die Evaluation der Gesamtmethodik ist in Tabelle 7.17 dargestellt. In der Projektanwendung werden Defizite bzgl. der niedrigen Bewertung der Komplexität und Effizienz der Methodik erkannt. Die Gründe für die Bewertung der Komplexität sind im Folgenden beschrieben. Die Komplexität der Entwicklung wird mit Hilfe der unterschiedlichen Methoden zwar deutlich reduziert, jedoch wird auch bei der Anwendung der Methodik eine

nicht unerhebliche Komplexität beibehalten. Die Effizienz ist aufgrund der sehr umfangreichen Analysen nur mittelmäßig bewertet. Die Analyse ist für den Projektkontext zu umfangreich und nicht alle erhobenen Daten werden tatsächlich benötigt. Hier könnte eine gezieltere Auswahl der zu erhebenden Daten vor der Durchführung der Analyse getroffen werden. Die Kritik bezieht sich überwiegend auf die FuB.

		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Unsicherheit	Strukturierung	●	Die Methodik ist strukturiert aufgebaut.
	Flexibilität	●	Die Methodik kann flexibel angewendet werden.
	Kom-pati. Komplexität	◐	Die Komplexität bei der Anwendung der Methodik wird niedrig gehalten.
Konkurrenz-fähigkeit	Nützlichkei Effektivität	●	Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
		●	Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz	◐	Die Methodik ist effizient aufgebaut.
		◐	Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.

Tabelle 7.17: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP3

Die Methodenevaluation wird mit der FG in EvP3 beginnend durchgeführt. Es ergibt sich eine Anwendungsempfehlung der FZM, FuB und LM (s.a. Tab. 7.4). Diese Methoden werden im Projektverlauf angewendet und nachfolgend evaluiert. Tabelle 7.18 zeigt die Evaluationsergebnisse bzgl. der Fokusgenerierung.

		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollzieh-barkeit	Verständlich-keit ●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit ●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbar-keit ●	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati. Kompatibilität ●	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.	
A.g.	Problem-spezifität ●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.	

Tabelle 7.18: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP3

Alle Anforderungen werden bestmöglich bewertet. Die offenen Fragen liefern keine Kritikpunkte an der FG.

Bei der FZM werden sämtliche Bedienszenarien untersucht und hinsichtlich der tendenziellen Eignung von virtuellen bzw. realen Interfaces überprüft. Diese Methodendurchführung wird evaluiert. Die Ergebnisse der Methoden-anwendung werden für einzelne Bedienfunktionen, Bedienszenarien und komplette Arbeitsgeräte dokumentiert. Diese Tendenzen sind elementar für die Konzeption der adaptiven Bedienelemente, um eine Vorauswahl an Bedienfunktionen zu erhalten, die als reale, adaptive Bedienelemente geeignet sind. Die Ergebnisse der Evaluation sind in Tabelle 7.19 dargestellt.






		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	 Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	 Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	 Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kompatibilität	 Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.	
A.g.	Problemspezifität	 Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.	

Tabelle 7.19: Evaluationsergebnisse für die FZM in EvP3

Die zu bewertenden Aussagen für die Verständlichkeit, Erlernbarkeit und die Problemspezifität treffen eher zu. Die Aussage zur Kompatibilität trifft voll zu. Bei der erstmaligen Anwendung treten Schwierigkeiten auf. Laut der offenen Fragen wird hier eine Erklärung oder Einführung in die Methode benötigt. Hinsichtlich der Erlernbarkeit ist die Bewertung der Parameter nicht selbsterklärend, da es keinerlei Vergleichswerte gibt. Für die weiteren Bewertungen ist dieser Prozess leichter anwendbar.

Die FuB wird mit Hilfe umfangreicher Expertenbefragungen durchgeführt. Diese werden kategorisiert und ein Kompatibilitätenabgleich wird durchgeführt. Daraus resultiert eine Grundlage für die Konzeption adaptiver Bedienelemente. Die Anwendung dieser Methode wird hinsichtlich der relevanten Evaluationsparameter evaluiert und diese Ergebnisse sind in Tabelle 7.20 veranschaulicht. Die Aussage zur Verständlichkeit trifft eher zu und bleibt in den offenen Fragen unkommentiert. Die Schwierigkeit hinsichtlich der Erlernbarkeit sind die Detailkenntnisse der Bedienszenarien. Diese zu ermitteln, zu prüfen und zu bewerten erfordert detailliertes Wissen über den Untersuchungsgegenstand. Bei der Anwendbarkeit liegt die Herausforderung in den Rückschlüssen, die aus den erhobenen Daten zu ziehen sind, insbesondere bzgl. der Kompatibilität. Inklusive einer Erklärung ist die Anwendung durchführbar. Die Evaluationsaussage zur Kompatibilität trifft eher zu und wird auch in der offenen Frage positiv dargestellt. Die abschließende Herausforderung die FuB betreffend ist es, die generierten Daten in eine zielführende

Konzeption umzusetzen. Da das Datenmaterial projektspezifisch sehr umfangreich ist, kann es hier zu Problemen führen, die richtigen Erkenntnisse zu erlangen. Diesbezüglich ist die Aussage zur Problemspezifität mit teils/teils bewertet.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.20: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP3

Die Durchführung der Layer-Methode wird im Rahmen des EvP3 für die Ideenfindung und Konzeption adaptiver Bedienelemente verwendet. Über die aus der FuB hervorgehenden Bedien- und Funktionscharakteristiken werden Anforderungen an die zu gestaltenden adaptiven Bedienelemente abgeleitet und berücksichtigt. Die Methodenevaluation entspringt einem durchgeführten Workshop, welcher das Prinzip der LM umsetzt. Die sinnvolle Positionierung der adaptiven Bedienelemente und Bedienfunktionen auf dem Grundlayout der Bedienarmlehne wird theoretisch evaluiert, da der Projektfortschritt diesbezüglich noch nicht ausreichend ist, um die Positionierung in der Praxis durchzuführen. Tabelle 7.21 zeigt die zusammengefassten Evaluationsergebnisse der LM bestehend aus der Evaluation für den Methodenteil, der Ideengenerierung und Konzeption und der Evaluation für den Methodenteil der Positionierung.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.21: Evaluationsergebnisse für die LM in EvP3

Die LM betreffend wird bei der Beantwortung der offenen Fragen lediglich ein Kritikpunkt bzgl. der Anwendbarkeit genannt. Es sind ergonomische und technische Vorkenntnisse nötig, um die Methode erfolgreich anzuwenden. Die Kompatibilität zu artverwandten Methoden ist vorhanden.

7.3.3.2 Projektergebnisse

Das Ergebnis der Anwendung der evaluierten Methoden ist ein präziser Projektfokus inklusive einer Methodenempfehlung für das Projekt. Durch die FZM ist eine Kategorisierung entstanden, welche eine Empfehlung bzgl. der Realisierung als virtuelles BE oder reales BE signalisiert. Die dafür notwendige Charakterisierung entsteht unter anderem durch die Anwendung der FuB. Neben der detaillierten Wirkteil- und Stellteilcharakterisierung können hier notwendige Kompatibilitäten bzgl. der Wirkteil-Stellteilbeziehung generiert werden, welche für die weitere Konzeption des adaptiven Bediensystems notwendig sind. Diese Erkenntnisse dienen als Basis für die Konzeptionierung der adaptiven BE.

7.3.4 Evaluationsprojekt EvP4

Die Entwicklung eines adaptiven Bedienelements im Kontext einer Radladerbedienung wird am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design durchgeführt und dient im Rahmen dieser Arbeit als EvP4. Es handelt sich um eine studentische Arbeit [GADERMANN 2020]. Der Entwicklungsprozess ist eng mit der in Kapitel 6 beschriebenen Methodik verwoben. In diesem Abschnitt wird die Methodik anhand der genannten Entwicklung evaluiert.

7.3.4.1 Evaluationsergebnisse

Die projektspezifische Gesamtevaluation ergibt einen sehr hohen Erfüllungsgrad, welcher lediglich bei der Effizienz Abstriche macht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.22 zu sehen. In die Evaluation der Methodik gehen die angewandten Methoden FG, FuB und LM ein (s.a. Tab. 7.4).

		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Unsicherheit	Strukturierung		Die Methodik ist strukturiert aufgebaut.
	Flexibilität		Die Methodik kann flexibel angewendet werden.
	Kom-pati. Komplexität		Die Komplexität bei der Anwendung der Methodik wird niedrig gehalten.
Konkurrenz-fähigkeit	Nützlichkeit	Effektivität	Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz		Die Methodik ist effizient aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.

Tabelle 7.22: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP4

In der Evaluation der Methodik ist lediglich die Effizienz nicht bestmöglich bewertet. Der Grund hierfür ist der enorme Aufwand, der mit der Anwendung der Methodik einhergeht. Die Methodenevaluation wird chronologisch, wie im Projekt angewandt, durchgeführt und beginnt mit der Fokusgenerierung, welche in Tabelle 7.23 dargestellt ist.

		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage	
Didaktik	Nachvollzieh-barkeit	Verständlich-keit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbar-keit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.23: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP4

Die Erlernbarkeit und die Problemspezifität werden mit einem vollen Erfüllungsgrad evaluiert. Die Verständlichkeit, Anwendbarkeit und Kompatibilität sind mit einem dreiviertel vollen Erfüllungsgrad bewertet. Die Verständlichkeit in der ersten Anwendung ist ohne eine Einführung in die Funktionsweise der Methode schwierig. Voraussetzung für die Anwendbarkeit ist diese Einführung bzw. eine wiederholte Anwendung, welche mit einem Erfahrungsgrad im Umgang mit der Methode einhergeht. Die Kompatibilität mit den anderen Methoden ist gegeben, jedoch könnte auch hier eine einheitliche Einführung in die Anwendung der Methoden hilfreich sein.

Die Evaluation der Methodenanforderungen für die FuB und die resultierenden Erfüllungsgrade sind in Tabelle 7.24 abgebildet.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	◐	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kompatibilität	Kompatibilität	◐	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problemspezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.24: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP4

Die Methode kann mit Hilfe einer Einführung oder Anwendungsguideline intuitiver angewendet werden. Die Methode ist grundsätzlich in einer ähnlichen Schematik zu den anderen Methoden aufgebaut, jedoch bedarf es bei jeder Methode einer erneuten Einarbeitung.

Die im Projekt abschließend verwendete Methode ist die LM, welche in Tabelle 7.25 gezeigt wird.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	◐	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kompatibilität	Kompatibilität	●	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problemspezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.25: Evaluationsergebnisse für die LM in EvP4

Die nicht ausreichende Einführung ist wiederholt ein Kritikpunkt an der Anwendbarkeit der Methode.

7.3.4.2 Projektergebnisse

Durch die Methodenanwendung wird ein adaptives Bedienelement konzipiert und konstruiert, welches sich auf unterschiedliche Bedienszenarien anpasst. Im Rahmen des Projekts wird eine Auswahl an Bedienfunktionen festgelegt, auf welche sich die Ent-

wicklung beschränkt. Die in Bild 7.2 abgebildete konstruktive Ausarbeitung des adaptiven Bedienelements ist vorgesehen, um drei verschiedene Arbeitsgeräte mit dem Radlader zu bedienen. Die drei Geräte sind eine einfache Erdschaufel, eine Schaufel mit Greifer und eine hydraulische Palettengabel. Die Bedienfunktionen sind für die einfache Schaufel, das Auskippen und Ankippen, für die Schaufel mit Greifer das Auskippen, Ankippen, Schließen und Öffnen und für die Palettengabel neben dem Aus- und Ankippen ein Verschieben und ein Verstellen der Gabel bzw. der Zinken in der Horizontalen. Mit Hilfe der Fokusgenerierung wird der anzuwendende Methodenansatz auf die FuB und LM fokussiert. Die Bediencharakteristiken und Kompatibilitäten werden mit der FuB generiert. Anschließend dient die LM dazu, die Charakteristiken und Kompatibilitäten in unterschiedliche Konzepte zu überführen. Durch Brainstorming, einen morphologischen Kasten, die zur Bewertung der Konzepte verwendete Auswahlliste und den paarweisen Vergleich wird über die technische Wertigkeit ein Konzept zur Ausarbeitung ausgewählt, welches in Bild 7.2 zu sehen ist.

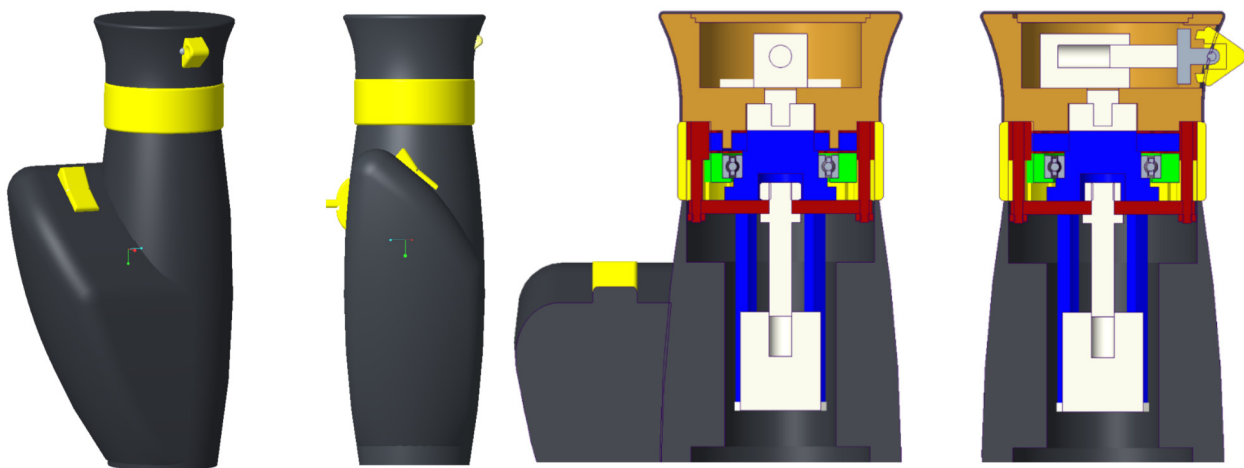


Bild 7.2: Adaptiver Joystick zur Bedienung verschiedener Bedienszenarien in EvP4
[GADERMANN 2020]

Links im Bild ist das Gehäuse in zwei Ansichten dargestellt und rechts im Bild ein Schnitt in Quer- und Längsrichtung. Die erzeugte Adaptivität besteht darin, dass das obere Stellteil zur Bewegung des Greifers ein- und ausfahren kann. Je nach Bedarf steht dieses Stellteil dem User zur Verfügung oder ist nicht verfügbar. Durch mechanische Arretierungen, welche durch verschiedene Aktoren ausgelöst werden, sind bestimmte Bedienfunktionen bedienszenariospezifisch zur Bedienung freigegeben oder gesperrt. Beispielsweise ist der obere Stellring zum horizontalen Verschieben der Gabel und der untere Stellring zum Verstellen der Zinken verfügbar. Je nach Bedarf können diese Funktionen beide oder einzeln gesperrt werden, um den User zu unterstützen und lediglich die korrekte Bedienung zu ermöglichen. [GADERMANN 2020]

7.3.5 Evaluationsprojekt EvP5

Das EvP5 beschäftigt sich mit der Entwicklung eines adaptiven Bedienelements für die Traktorbedienung. Es handelt sich um eine studentische Abschlussarbeit am IKTD [BRAUN 2021]. Unter Anwendung der unterschiedlichen Methoden kann ein adaptives BE zur Verwendung im Traktor entwickelt werden, welches für die Bedienung einer Auswahl an BF dient.

7.3.5.1 Evaluationsergebnisse

Die Evaluation der Methodik wird systematisch anhand der festgelegten Anforderungen durchgeführt. Die Erfüllungsgrade sind in Tabelle 7.26 dargestellt. Lediglich bei der Strukturierung wird nicht der optimale Erfüllungsgrad erzielt.

		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Unsicherheit	Strukturierung		Die Methodik ist strukturiert aufgebaut.
	Flexibilität		Die Methodik kann flexibel angewendet werden.
	Kom-pati. Komplexität		Die Komplexität bei der Anwendung der Methodik wird niedrig gehalten.
Konkurrenz-fähigkeit	Nützlichkei-t	Effektivität	Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz		Die Methodik ist effizient aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.

Tabelle 7.26: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP5

Die im modularen Fragebogen inkludierten Fragen mit einer offenen Fragestellung geben Hinweise auf die Hintergründe der Bewertung und teilweise Hinweise auf potentielle Verbesserungen. Für die Methodik und deren Strukturierung ist laut Anwender eine Einweisung und Erklärung der detaillierten Vorgehensweise wünschenswert. Zusätzlich ist die Verbesserungsidee eine Integration von Iterationsschleifen zwischen den unterschiedlichen Methoden.

In EvP5 werden alle Methoden evaluiert (s.a. Tab. 7.4). Die Evaluation der FG und die resultierenden Erfüllungsgrade der einzelnen Anforderungen sind in Tabelle 7.27 dargestellt. Hier wird an mehreren Stellen Verbesserungspotenzial festgestellt.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.27: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP5

Die Faktorenberechnung fiel dem Anwender in diesem Fall schwer, was aus Defiziten hinsichtlich der Verständlichkeit resultiert. Die Anwendbarkeit ist lediglich gegeben, wenn es vorab eine Erläuterung zu der Methodenanwendung gibt. Bzgl. der Problemspezifität bestehen Probleme in den Konsequenzen der resultierenden Methodenempfehlungen. Hier sollte transparenter vorgegangen werden.

Die FZM wird vom Methodenanwender mit vollen Erfüllungsgraden evaluiert, was in Tabelle 7.28 abgebildet ist.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.28: Evaluationsergebnisse für die FZM in EvP5

Die Erfüllungsgrade der Evaluation der FZM lassen auf eine problemlose und erfolgreiche Anwendung schließen.

Dasselbe Resultat gilt für die KM. Die Ergebnisse für diese Methode sind in Tabelle 7.29 dargestellt.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	●	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kompatibilität	Kompatibilität	●	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problemspezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.29: Evaluationsergebnisse für die KM in EvP5

Die Evaluationsergebnisse der FuB werden in Tabelle 7.30 gezeigt.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	◐	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	◐	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kompatibilität	Kompatibilität	◐	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problemspezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.30: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP5

Laut den Evaluationsergebnissen ist die FuB ohne einführende Erklärungen nur schwierig zu verstehen bzw. noch schwieriger richtig anzuwenden. Die Kompatibilität ist nicht vollständig gegeben, da kein Zahlenwert oder ähnliches resultiert, wie in den bisher angewendeten Methoden.

Die Evaluation der LM zeigt geringe Defizite bei den Erfüllungsgraden der Anwendbarkeit und Kompatibilität, wie in Tabelle 7.31 zu sehen ist.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	◐	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität	◐	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.31: Evaluationsergebnisse für die LM in EvP5

Der Anwender läuft Gefahr, die Methodenanwendung bei unzureichender Einführung falsch anzuwenden. Auch die Kompatibilität zu den Methoden FG, FZM und KM ist hinsichtlich des Resultats suboptimal. Bei der LM entsteht wie in der FuB kein Zahlenwert.

7.3.5.2 Projektergebnis

Das Projektergebnis wird unter Verwendung sämtlicher Methoden erzielt. Begonnen wird mit der Fokusgenerierung, aus der hervorgeht, dass alle vier Methoden zur Anwendung empfohlen werden. Die konsequente Anwendung startet mit der FZM. Hier werden die relevanten BF kategorisch einer virtuellen und realen Bedienung zugeordnet. Die Auswahl der realen BF, welche in dem adaptiven BE umgesetzt sind, resultieren aus der FZM. BF, die einer virtuellen Kategorisierung zugeordnet sind, werden nicht berücksichtigt. Bei den ausgewählten Bedienszenarien handelt es sich um das Rangieren des Traktors, die Bedienung des Frontladers, die Bedienung bestimmter Funktionen am Arbeitsgerät und die Fahrt über 15 km/h, bei welcher das adaptive BE nicht zum Einsatz kommt und deshalb nicht verfügbar ist. Als nächster Methodenschritt kommt die FuB zum Einsatz. Hier werden die Stellteile und Wirkteile in jedem der relevanten Bedienszenarien charakterisiert und relevante Kompatibilitäten abgeleitet. Bei der Anwendung der KM werden die potentiellen User betrachtet und die Komplexität des zu entwerfenden adaptiven BE berechnet. Daraus resultiert die Absicherung, dass die Komplexität für die relevante Usergruppe bedienbar ist. Die Bediencharakteristiken aus der FuB werden auf verschiedenen Layern angeordnet. Hieraus generieren sich die Anforderungen an die Konzeption des adaptiven BE. Zusätzlich wird ein morphologischer Kasten, eine Auswahlliste und ein paarweiser Vergleich durchgeführt, um einerseits Konzeptideen zu generieren und diese anschließend zu bewerten. Die konstruktive Ausarbeitung ist in Bild 7.3 dargestellt. Die Verfügbarkeit des gesamten BE lässt sich über einen Linearmotor anpassen, welcher den kompletten Aufbau des Bedienelements

im Gehäuse absenken und herausfahren lassen kann, um je nach Bedarf die Bedienbarkeit zu gewährleisten.

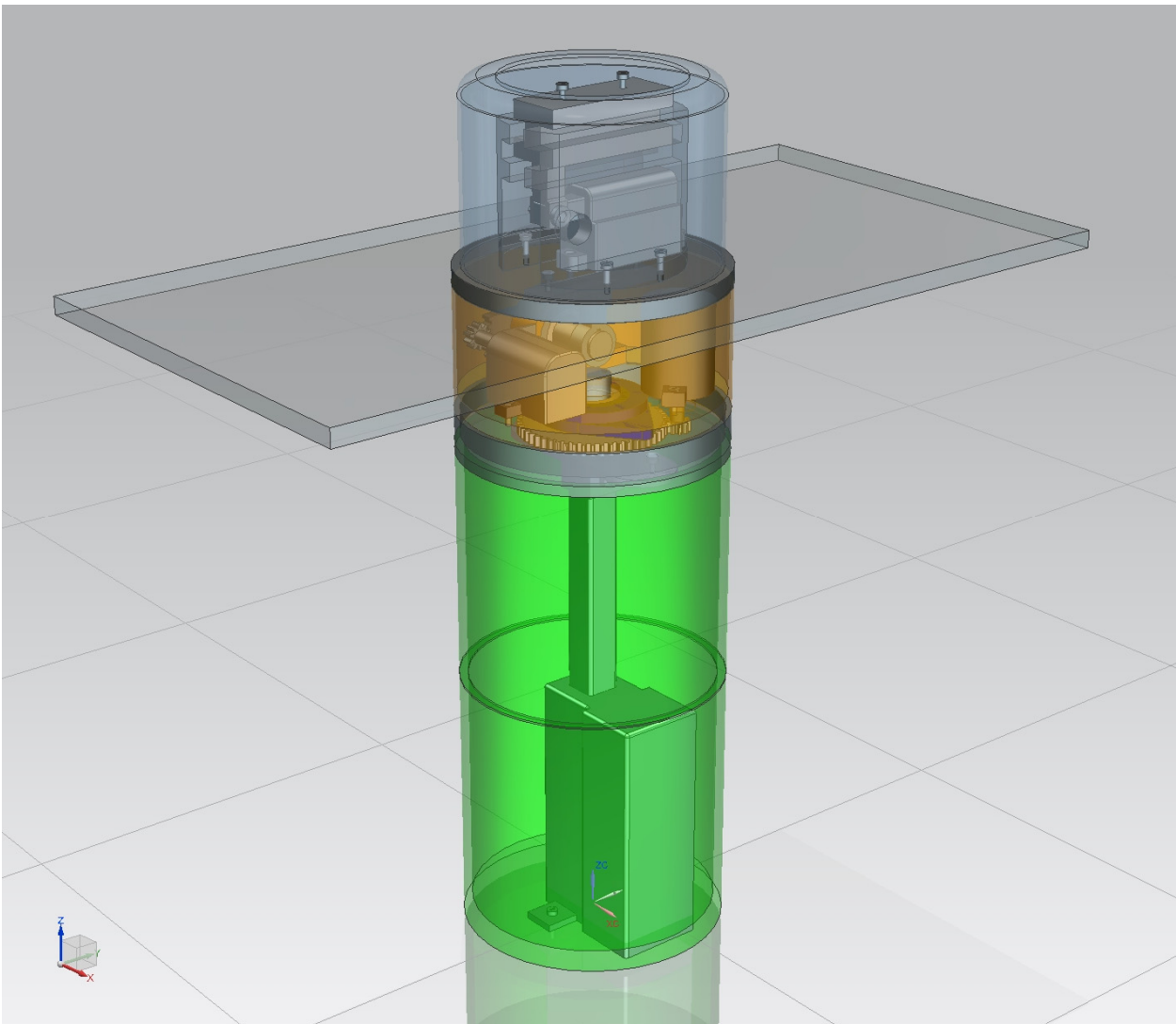


Bild 7.3: Adaptives BE zur Bedienung verschiedener BSZ im Traktor [BRAUN 2021]

Die Grundfunktionen des Bedienelements sind durch rotatorische und translatorische Bewegungen bedienbar. Die Rotation um die Z-Achse dient der Fahrtrichtungsänderung des Traktors. Die Rotation um die X-Achse dient der Bedienung des Frontladers. Die Translation auf der Y-Achse erzeugt eine Beschleunigung bzw. Verzögerung des Traktors. Durch die beiden verbauten Motoren können sich bestimmte BF adaptiv an das Bedienszenario anpassen. Zusätzlich kann eine Bedienung kategorisch ausgeschlossen werden, indem das BE im Gehäuse verschwindet. [BRAUN 2021]

7.3.6 Evaluationsprojekt EvP6

Im Folgenden wird die Entwicklung eines adaptiven GUIs zur Bedienung eines Radladers bzw. zur Bedienung ausgewählter Radladerfunktionen evaluiert. Es handelt sich um ein universitätsinternes Projekt am IKTD. Das Projekt beschränkt sich auf die virtu-

elle Bedienung und schließt somit reale BF kategorisch aus. Das Projektziel ist es, ein adaptives Interface zu entwickeln, welches sich auf den User und dessen Kenntnisse und Fähigkeiten anpasst.

7.3.6.1 Evaluationsergebnisse

Der modulare Online-Fragebogen dient zur Evaluation der Methodik, welche in Tabelle 7.32 zu sehen ist. Die Erfüllungsgrade für die zugeordneten Anforderungen sind mit wenigen Abstrichen sehr hoch.








		Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Unsicherheit	Strukturierung		Die Methodik ist strukturiert aufgebaut.
	Flexibilität		Die Methodik kann flexibel angewendet werden.
	Kom-pati. Komplexität		Die Komplexität bei der Anwendung der Methodik wird niedrig gehalten.
Konkurrenz-fähigkeit	Nützlichkei-t Effektivität		Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
	Effizienz		Die Methodik ist effizient aufgebaut.
			Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.

Tabelle 7.32: Evaluationsergebnisse bzgl. der Methodik in EvP6

Die Evaluation der Anforderung Strukturierung ist nicht bestmöglich bewertet, da der Projektanwender die Reihenfolge der nacheinander angewandten Methoden nicht als optimal erachtet. Ein Tausch der chronologischen Anwendung von LM und FuB wird als besser erachtet. Bzgl. der Komplexität werden für die FG und FZM zusätzlich Begriffs-erklärungen gewünscht. Der einhergehende Aufwand bei der Durchführung der FZM, KM und FuB wird als sehr hoch erachtet. Hier besteht Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Effizienz.

Auch in EvP6 werden alle Methoden evaluiert (s.a. Tab. 7.4). Die Methodenevaluation beginnt mit der Fokusgenerierung. Die Auswertung ist in Tabelle 7.33 dargestellt.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.33: Evaluationsergebnisse für die FG in EvP6

Die Defizite in der Anwendung der FG beziehen sich auf die fehlenden Begriffserklärungen, welche die Anwendbarkeit erschwert. Die Kritik an der Problemspezifität ist die subjektive Bewertung der unterschiedlichen Parameter, welche den Fokus generieren. Die Evaluationsergebnisse der FZM sind in Tabelle 7.34 zu sehen.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.34: Evaluationsergebnisse für die FZM in EvP6

Die Evaluation mit Hilfe der offenen Fragstellungen ergibt, dass es einer Einarbeitungszeit bedarf, um die FZM zu verstehen und anzuwenden. Die Anwendbarkeit sollte mit Begriffserklärungen unterstützt werden. Die Evaluation der Problemspezifität gleicht der der FG. Die Bewertung der Parameter erscheint subjektiv.

Die bewerteten Anforderungen und Erfüllungsgrade der KM werden in Tabelle 7.35 dargestellt.




			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollzieh- barkeit	Verständlich- keit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbar- keit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbar- keit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un- sich.	Kom- -pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem- spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.35: Evaluationsergebnisse für die KM in EvP6

Die Verständlichkeit der KM ist nicht ohne Erklärung, Unterstützung oder Erfahrung gegeben. Die Hauptkritik der Methodenevaluation ist die geringe Kompatibilität der KM zu den anderen Methoden der Methodik.

Im Anschluss wird im Projekt die FuB durchgeführt und dementsprechend auch evalu-iert, wie in Tabelle 7.36 zu sehen ist.






			Erfüllungs-grad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollzieh- barkeit	Verständlich- keit		Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbar- keit		Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbar- keit		Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un- sich.	Kom- -pati.	Kompatibilität		Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem- spezifität			Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.36: Evaluationsergebnisse für die FuB in EvP6

Da bei der Anwendung keine endgültigen Zahlenwerte resultieren und die Empfehlun- gen Spielraum in der weiteren Vorgehensweise bieten, wird die Kompatibilität nicht mit dem vollen EG evaluiert. Auch die Empfehlung geeigneter Werkzeuge und Tools zur Lösungserreichung ist nicht optimal und könnte laut Anwender detaillierter sein.

Die Darstellung der Ergebnisse der FuB neigt bei einer hohen Anzahl an Bedienszena- rien zu einer Unübersichtlichkeit. Auch der mit der Anwendung verbundene hohe Auf- wand wird kritisiert.

Die letzte angewendete Methode und zuletzt evaluierte Methode ist die LM. Die Evalua- tionsergebnisse sind in Tabelle 7.37 abgebildet.

			Erfüllungsgrad	Zu evaluierende Frage / Aussage
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit	●	Die Methode ist verständlich aufgebaut.
		Erlernbarkeit	●	Die Anwendung der Methode ist erlernbar.
		Anwendbarkeit	●	Die Methode ist ohne Vorkenntnisse anwendbar.
Un-sich.	Kom-pati.	Kompatibilität	◐	Die Kompatibilität bei der Anwendung der Methode zu artverwandten Methoden ist erkennbar.
A.g.	Problem-spezifität		●	Die Methode ist geeignet um Werkzeuge bzw. Mittel zur Lösung von bestimmten Aufgaben zu identifizieren.

Tabelle 7.37: Evaluationsergebnisse für die LM in EvP6

Grundsätzlich ist der Erfüllungsgrad der Methode hoch. Die abweichende Art der Methode ist der Grund für den nicht maximalen Erfüllungsgrad der Kompatibilität.

7.3.6.2 Projektergebnis

Das Ergebnis des Projekts ist ein sich adaptiv verhaltendes GUI, welches sich auf den jeweiligen User einstellt. Die FG schärft den Projektfokus beim Anwender und generiert eine Methodenempfehlung, welche auf den Projektfokus passt. Hierbei wird der Fokus auf die FZM, KM, FuB und LM gelegt. Die FZM dient dazu, die im Radlader zu bedienenden Funktionen in virtuelle und reale Funktionen zu unterteilen, um anschließend lediglich die virtuellen Funktionen bei der Umsetzung des GUIs zu betrachten. Diese Unterteilung wird bei der Umsetzung des GUIs größtenteils beachtet. Da projektbedingt kein reales Interface entwickelt wird, sind bestimmte BF trotz der etwaigen Empfehlung diese real auszuführen, virtuell im GUI umgesetzt. Für die Zielverfolgung des adaptiven GUIs ist die Anwendung der KM relevant, da die Analyse der potentiellen Usergruppe die Basis für die adaptive Anpassung des GUIs auf den User darstellt. Die Komplexität, die dem jeweiligen User zugemutet werden kann, ist ausschlaggebend für die Gestaltung des GUIs. Anschließend wird die FuB durchgeführt, um die einzelnen Funktionen der Stell- und Wirkteile, deren Charakteristiken und potentiell notwendige Kompatibilitäten zu erfassen. Die LM wird angewandt, wonach bevorzugte, ergonomische Positionierungen berücksichtigt werden. Eine Überlagerung der BF auf unterschiedlichen Layern wird durchgeführt. Durch die Möglichkeit unterschiedlicher Ebenen entstehen jedoch keine adaptiven BE. Vielmehr werden bei großer Positionierungsdichte der BE an einer Stelle des zur Verfügung stehenden Displays weitere Ebenen im GUI gebildet, um positionsgetreu zu konzipieren. Die LM liefert die relevanten Informationen über die notwendigen Kompatibilitäten und dementsprechende Bediencharakteristiken, die es bei der Konzeption zu berücksichtigen gilt. Bild 7.4 zeigt die in das entwickelte GUI imple-

mentierte Usergruppenabfrage. Es werden die Sprachkenntnisse, das Alter und die Sehfähigkeiten abgefragt.

The image shows two screenshots of a GUI questionnaire. The top screenshot displays a dark grey background with white text. At the top, it shows '3 °C', '07:03', and '07.02.2022'. The main text reads: 'Bitte beantworten Sie die nachfolgenden Fragen, um die Bedienung bestmöglich an Sie anzupassen.' Below this text are three buttons: 'Weiter' (grey), 'Überspringen' (white with black border), and 'In Zukunft nicht mehr fragen' (white with black border).

The bottom screenshot shows the same dark grey background with white text. At the top, it shows '3 °C', '07:03', and '07.02.2022'. The first question is 'Beherrschen Sie die deutsche Sprache?' with two buttons: 'Ja' and 'Nein'. The second question is 'Wie alt sind Sie?' with two buttons: 'Unter 40 Jahren' and '40 Jahre oder älter'. The third question is 'Haben Sie Probleme mit der Sehfähigkeit?' with two buttons: 'Ja' and 'Nein'. At the bottom left is a 'Zurück' button and at the bottom right is a 'Weiter' button.

Bild 7.4: Abfrage im GUI zur Charakterisierung des Users hinsichtlich Sprache, Alter und Sehfähigkeit

Die Abfrage der Sprache dient der Anpassung des Textes im GUI. Ebenso dienen die Abfrage des Alters und der Sehfähigkeit der Größenanpassung der Schrift und der Piktogramme.

Bild 7.5 stellt die Abfrage hinsichtlich der Expertise des Users im GUI dar.

3 °C 07:03 07.02.2022

Wie schätzen Sie Ihre Expertise mit Radladern grundsätzlich ein?

Anfänger

Auf einen Anfänger trifft zu:

- kaum oder keine Erfahrung mit Radladern
- seltene bis gelegentliche Benutzung von Radladern

Fortgeschrittener

Auf einen Fortgeschrittenen trifft zu:

- bereits Erfahrung mit Radladern
- häufige Benutzung von Radladern

Zurück

3 °C 07:03 07.02.2022

Wie schätzen Sie Ihre Expertise mit dem Bediensystem dieses Radladers ein?

Anfänger

Auf einen Anfänger trifft zu:

- kaum oder keine Erfahrung mit dem Bediensystem
- seltene bis gelegentliche Benutzung des Bediensystems

Fortgeschrittener

Auf einen Fortgeschrittenen trifft zu:

- bereits Erfahrung mit dem Bediensystem
- häufige Benutzung des Bediensystems

Zurück

Bild 7.5: Abfrage im GUI zur Charakterisierung des Users hinsichtlich der Expertise

Die Abfrage der Expertise bzw. Erfahrung des Users dient dazu, bei Bedarf etwaige Hilfestellungen zu bestimmten Piktogrammen und BF bereitzustellen, wie in Bild 7.6 beispielhaft zu sehen ist. Für User mit technischer Erfahrung des Systems oder mit dem konkret zu bedienenden Interface, bedarf es, wie oben in Bild 7.6 dargestellt, keinerlei Erklärung der abgebildeten Piktogramme.



Bild 7.6: Hilfestellungen zur Bedienung in Form von Piktogrammerklärungen

Im unteren Teil von Bild 7.6 ist zu sehen, wie die Piktogramme mit der Hilfe eines beschreibenden Textes erklärt werden. Dies ist für User mit wenig oder unregelmäßiger Erfahrung mit dem System notwendig, um das jeweilige Piktogramm bzw. die hinterlegte BF eindeutig zu verstehen und richtig zu bedienen.

Bild 7.7 zeigt beispielhaft die Funktionserklärungen die im GUI abrufbar sind.

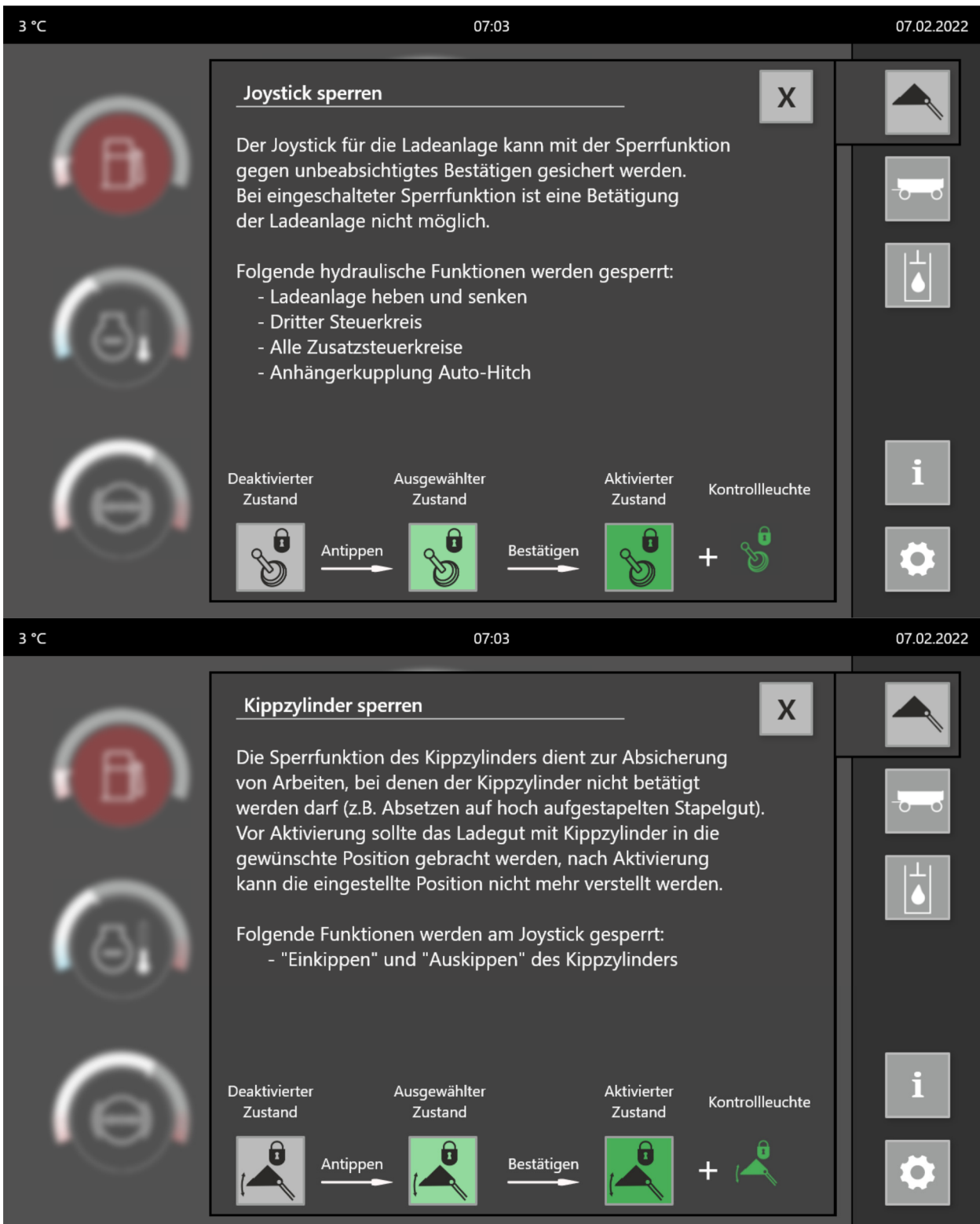


Bild 7.7: Hilfestellungen zur Bedienung in Form von detaillierten Funktionserklärungen

Hier kann der Umfang der Hilfestellung durch das Hinzufügen von Textbausteinen bedarfsgerecht erweitert werden, um eine optimale Userunterstützung zu gewährleisten, wie in Bild 7.7 in den beiden Bildausschnitten zu sehen ist. Bild 7.8 zeigt beispielhaft zwei unterschiedliche Einstellungen hinsichtlich der Größen innerhalb des GUIs.

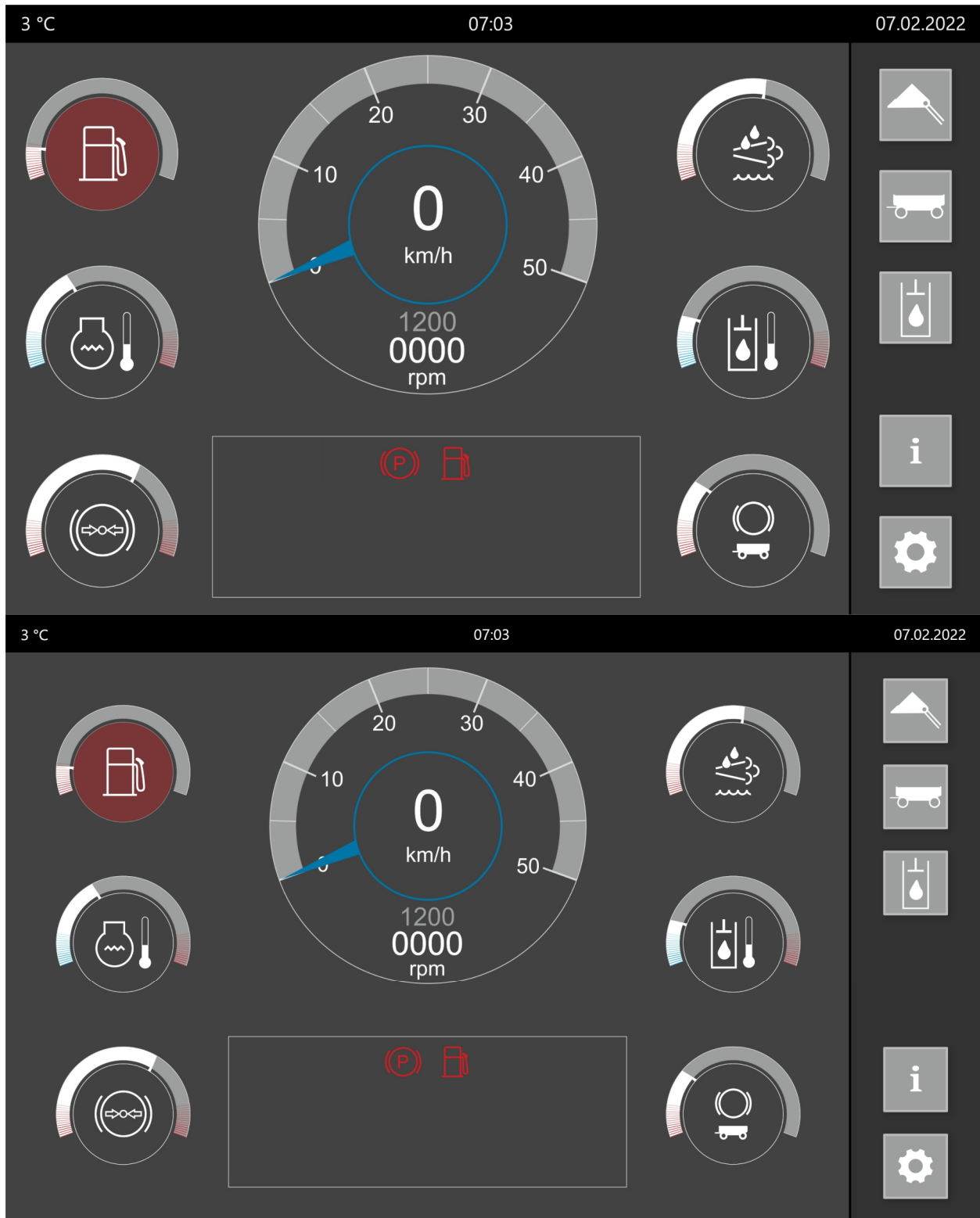


Bild 7.8: Größenveränderung des GUIs, angepasst an das Alter und die Sehkraft des Users (oben) im Vergleich zu konventionell (unten)

Die Abfrage des Alters und der Sehfähigkeiten geben Aufschluss hinsichtlich der Größe, in der die Symbole, Piktogramme und auch die Schrift ausgeführt werden sollte, um eine Anpassung an den User bereitzustellen. Im oberen Bildausschnitt sind die Anzeigen, Stellteile und Piktogramme größer dargestellt als im unteren, um dem User eine höhere Erkennbarkeit, Sichtbarkeit und somit eine bessere Bedienung zu ermöglichen.

Die anfängliche Abfrage der unterschiedlichen Persönlichkeitsmerkmale dient dazu, Informationen über den aktuellen User zu generieren und ist die Grundlage für die Gestaltung des Interfaces, welches dem User in der weiteren Bedienung zur Verfügung gestellt wird. In der weiteren Bedienung werden Schrift- und Piktogrammgrößen sowie Detailinformationen über BF adaptiv an den User angepasst. Die Sehkraft und das Alter haben Einfluss auf die Größe der Darstellungen. Die Erfahrung des Users mit der Maschine und grundsätzlich in der Landtechnik haben Einfluss auf die Notwendigkeit und den Umfang von Detailinformationen, die zur Verfügung gestellt werden.

Das Ergebnis ist ein adaptives GUI, welches sich auf den User und dessen Erfahrung, Fähigkeiten und Fertigkeiten anpasst, um diesen bestmöglich zu unterstützen.

7.3.7 Ergebnisse der heuristischen Evaluation

Die projektübergreifenden Evaluationsergebnisse sind in Tabelle 7.38 dargestellt. Neben dem im Kuchendiagramm dargestellten Erfüllungsgrad der HE für jede Anforderung sind die exakten Durchschnittswerte aus den Evaluationsprojekten 3 bis 6 aufgelistet. In der Spalte ZW ErG Methodik sind die Evaluationsergebnisse für die beiden Anforderungen Strukturierung und Flexibilität sowie die drei Teilanforderungen Komplexität, Effektivität und Effizienz zusammengefasst. Diese fünf Anforderungen werden bzgl. der gesamten Methodik evaluiert. Die restlichen vier Teilanforderungen Verständlichkeit, Erlernbarkeit, Anwendbarkeit und Kompatibilität sowie die Anforderung Problemspezifität werden für jede einzelne Methode in den vier EvPs evaluiert. Die Mittelwerte aus den einzelnen Evaluationsergebnissen sind dargestellt. Spalte ZW ErG Methodik zeigt den berechneten Gesamtmittelwert aus den Mittelwerten der einzelnen Methoden. Grundsätzlich resultiert aus der HE ein hoher Erfüllungsgrad. Der ErG für die Anforderungen Effizienz und Anwendbarkeit fallen unter den Grenzwert ‚sehr gut‘ von 0,8. Bei einem Wert des ErG von 0,7 ist von einem guten Ergebnis auszugehen. Lediglich Werte unter 0,6 gelten nach VDI 2225 [1998, S. 4] als nicht befriedigend. Trotzdem werden Überlegungen angestrebt, wie die Methoden Anwendung unterstützt werden kann und wie die Methoden mit weniger Aufwand durchgeführt werden können. Hinsichtlich der Anwendbarkeit sind präzise und detaillierte Einweisungen im Umgang mit den Methoden notwendig. Diese helfen dem Anwender erfolgreich mit den Methoden zu arbeiten. Bzgl. der Effizienz ist eine unterstützende Maßnahme, die konkreten projektspezifischen

schen Notwendigkeiten trennscharf abzugrenzen, um evtl. nicht das komplette Methodenpaket zu nutzen, sondern lediglich die projektspezifisch notwendigen Teile der Methoden. Insbesondere bei der FuB könnte dies ein Ansatz sein, um den Umfang und Aufwand zu reduzieren.

			Erfüllungsgrad	ZW ErG Methodik	FG	FZM	KM	FuB	LM
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		0,89 3,57	0,88 3,5	0,83 3,33	0,88 3,5	0,88 3,5	1 4
		Erlernbarkeit		0,97 3,88	1 4	0,92 3,67	1 4	0,94 3,75	1 4
		Anwendbarkeit		0,75 2,98	0,63 2,5	0,67 2,67	1 4	0,63 2,5	0,81 3,25
Unsicherheit	Strukturierung			0,88 3,5					
	Flexibilität			1 4					
	Kompatibilität	Komplexität		0,81 3,25					
		Kompatibilität		0,82 3,28	0,88 3,5	0,92 3,67	0,75 3	0,75 3	0,81 3,25
Konk.-fähigkeit	Nützlichkeit	Effektivität		1 4					
		Effizienz		0,78 3,13					
A.g.	Problem-spezifität			0,89 3,57	0,81 3,25	0,83 3,33	1 4	0,81 3,25	1 4

Tabelle 7.38: Projektübergreifende Evaluationsergebnisse der HE der EvP3 bis EvP6

7.4 Summative Evaluation

Summativ werden die Anforderungen evaluiert, die aus Erkenntnissen, Projektergebnissen und Beobachtungen bei der Projektbearbeitung hervorgehen. Deshalb wird mit Hilfe der summativen Evaluation die Gesamtmethodik untersucht. Die summative Evaluation besteht aus einer projektübergreifenden Evaluation, die für ausgewählte Anforderungen durchgeführt wird. Die Methodenanwendung in den unterschiedlichen Projekten und die daraus hervorgehenden Ergebnisse werden bewertet. Die projektübergreifende Evaluation basiert auf den Projektergebnissen der sechs durchgeführten Evaluationsprojekte. Die Anwendung der Methodik fließt, wie auch die heuristische und formative Evaluation, gleichgewichtet in die Gesamtevaluation ein. In vier von sechs Projekten, nämlich in EvP3 bis EvP6, ist die Grundlage der Evaluation eine objektive Beobachtung der Projektanwendung. In den anderen beiden Projekten erfolgt die Evaluation aus subjektiven Erfahrungswerten. Die projektübergreifende Evaluation erfolgt gesamtheitlich, sich auf die Methodik beziehend. Die Evaluation wird mit Hilfe des modularen Fragebogens

durchgeführt. In dem Fall der summativen Evaluation gleicht der Fragebogen einer Checkliste, die die Projektergebnisse bewertet. Diese Liste besteht aus 15 geschlossenen und 15 offenen Fragen. Dabei werden zehn Anforderungen analysiert. Die geschlossenen Fragen werden konsequent mit der bekannten 5-stufigen Likert-Skala bewertet. Die offenen Fragen sind jeder geschlossenen Frage angehängt und bringen zusätzliche Informationen zu der jeweiligen Fragestellung in Erfahrung. Die Antworten auf die offenen Fragen geben teilweise zusätzlich Aufschluss über den bewerteten Erfüllungsgrad der unterschiedlichen Anforderungen. Außerdem lassen sich hieraus Anwendungsprobleme und Verbesserungspotenziale der Methodik ableiten.

Tabelle 7.39 zeigt die Ergebnisse der summativen Evaluation. Neben den für die summative Evaluation vorgesehenen Anforderungen sind die zugehörigen Erfüllungsgrade mit dem exakten Evaluationsergebnis in der Spalte ZW ErG Methodik dargestellt. Die Berechnung dieses exakten Ergebnisses ist im Anhang unter Tabelle A.11 zu finden.

Die Überprüfbarkeit der Methodik wird durch die Bewertung der Aussage ‚die Methodik kann überprüft bzw. evaluiert werden‘ untersucht. Hierzu wird das Ergebnis der kompletten Evaluation herangezogen und dieses Resultat als Erfüllungsgrundlage der Anforderung Überprüfbarkeit verwendet.

Die Anforderung der wissenschaftlichen Sinnhaftigkeit unterteilt sich in die beiden Teilanforderungen Objektivität und Zuverlässigkeit. Um die Objektivität der Methodik sicherzustellen, wird die Aussage ‚die Methodik wird von objektiven, nicht im Entwicklungsprozess beteiligten Anwendern evaluiert‘ abgefragt. Trotz der Tatsache, dass in zwei von sechs Evaluationsprojekten eine subjektive Evaluation der Methodik durch den Entwickler der Methodik durchgeführt wird, kann von einer überwiegend objektiven Evaluation gesprochen werden. Durch die unterschiedlichen Anwender, welche die Methodik zum einen anwenden und zum anderen auch evaluieren, ist die Anforderung der Objektivität erfüllt. Die Zuverlässigkeit der Methodik kann anhand der Entwicklungsergebnisse evaluiert werden. In jeder Projektanwendung mit unterschiedlichen Anwendern wird zuverlässig ein adaptives Interfacesystem entwickelt. Die zu evaluierende Aussage ist ‚die Projektziele konnten durch die Anwendung der Methodik erreicht werden‘.

Die Wiederholbarkeit wird anhand der Aussage ‚die Methodik kann wiederholt angewendet werden‘ untersucht. Die Wiederholbarkeit ist durch die unterschiedlichen Projekte und Anwender der Methodik gegeben.

Die Teilanforderung Praxisrelevanz wird mit den Aussagen ‚bei der Methodik handelt es sich um eine innovative Vorgehensweise‘ und ‚die Methodik ist für die Praxis relevant‘ überprüft. Durch die Anwendung der Methodik sind neuartige Konzepte entstanden. Der Innovationsgrad ist sowohl bei der Methodik an sich hoch, als auch bei den resultieren-

den Entwicklungen. Die Potenzialanalyse zeigt mit Hilfe der Ergebnisse aus den Experteninterviews, dass die Notwendigkeit einer solchen Methodik existiert.

Die Aussagen zur Evaluation der Nützlichkeit, im Detail der Effektivität und Effizienz sind bereits vorgestellt. Die Effektivität wird im Rahmen der summativen Evaluation anhand der Resultate der Methodikanwendung evaluiert. Die Zielerreichung in den jeweiligen Projekten wird hierbei als Evaluationsgrundlage verwendet. Hieraus resultiert der Erfüllungsgrad der Anforderung Effektivität.

Die Effizienz wird im Rahmen der summativen Evaluation anhand der zeitlich definierten Projektlaufzeit bewertet, die jeweils eingehalten wird.

Die Adaptivität ist die Anforderung hinsichtlich des Resultats aus der Methodikanwendung. Zu evaluieren sind die Ergebnisse der unterschiedlichen Projekte. Hierbei ist festzustellen, dass sämtliche Projektergebnisse ein adaptives Interfacesystem aufweisen, weshalb das Anforderungskriterium der Adaptivität voll erfüllt ist. Die zu evaluierende Kernaussage ist ‚durch die Anwendung der Methodik resultiert ein adaptives Interface‘.

Die Evaluation der Fokusdefinition ist in der Potenzialanalyse bereits vorgestellt. Die zu bestätigende Aussage lautet: ‚die Fokussierung ist klar definiert und veranschaulicht‘. Da die FG einen eindeutigen Fokus generiert und dieser in sämtlichen Projekten ziel führend eingesetzt wird, wird diese Anforderung mit vollem ErG evaluiert.

Die Evaluation der Fokusberechnung lässt sich anhand der Aussage ‚der Fokus wird nach einer vorgegebenen Methode berechnet‘ untersuchen. Da die Berechnung erfolgreich nach einheitlichen Methoden durchgeführt wird, ergibt sich hier ein voller ErG.

Wie der generierte Fokus im Projekt Anwendung findet, wird durch die Anforderung Fokusanwendung analysiert. Die zu überprüfende Aussage bzgl. der Fokusanwendung ist folgende: ‚Der definierte Fokus kommt in der Methodik zur Anwendung‘. Sämtliche zur Evaluation zur Verfügung stehenden Projekte berücksichtigen die Ergebnisse der Fokusberechnung und nutzen den generierten Fokus erfolgreich für die Projektumsetzung.

Die Grundlage dieser Evaluation liefern die in Kapitel 5 definierten Anforderungen. Die Überprüfbarkeit der Methodik ist durch den entworfenen modularen Fragebogenbaukasten, dessen Anwendung in unterschiedlichen Evaluationsarten und die sechs Evaluationsprojekte, in denen die Methodik angewendet wird, gegeben.

Die Objektivität ist teilweise gegeben. Wie beschrieben werden EvP3 bis EvP6 objektiv, von im Entwicklungsprozess der Methodik unbeteiligten Anwendern, evaluiert.

Die Zuverlässigkeit der Methodik zeigt sich in einer Erfolgsevaluation der Projektbearbeitung und der Projektergebnisse. Grundsätzlich kann in jedem EvP mit entsprechenden

Projektzielen eine erfolgreiche Anwendung der Methodik durchgeführt werden. Die wichtigsten Projektziele werden in allen EvPs zuverlässig erreicht.

		Erfüllungsgrad	ZW EG Methodik	Zu evaluierende Frage / Aussage		
Normativität	Überprüfbarkeit		1 4	Die Methodik kann überprüft bzw. evaluiert werden.		
	Wissenshaftl.	Objektivität		0,67 2,67	Die Methodik wird von objektiven nicht im Entwicklungsprozess beteiligten Anwendern evaluiert.	
		Zuverlässigkeit		1 4	Die Projektziele konnten durch die Anwendung der Methodik erreicht werden.	
Didaktik	N.v.z.	Wiederholbarkeit		1 4	Die Methodik kann wiederholt angewendet werden.	
Konkurrenzfähigkeit	Praxisrelevanz			1 4	Bei der Methodik handelt es sich um eine innovative Vorgehensweise.	
				0,88 3,5	Die Methodik ist für die Praxis relevant.	
	Nützlichkeit	Effektivität			0,92 3,67	Die Methodik ist effektiv aufgebaut.
					0,92 3,67	Die Anwendung der Methodik ist zielführend.
		Effizienz			0,75 3	Die Methodik ist effizient aufgebaut.
					0,75 3	Die Anwendung der Methodik ist mit angemessenem Aufwand verbunden.
Resultat	Adaptivität		0,92 3,67	Durch die Anwendung der Methodik resultiert ein adaptives Interface.		
Fokussierung	Fokusdefinition		1 4	Die Fokussierung ist klar definiert und veranschaulicht.		
	Fokusberechnung		1 4	Der Fokus wird nach einer vorgegebenen Methode berechnet.		
	Fokus-anwendung		1 4	Das Ergebnis der Fokusberechnung kommt in der weiteren Methodenanwendung zum Einsatz.		

Tabelle 7.39: Ergebnisse der summativen Evaluation

Die Methodik kann wiederholt in unterschiedlichen Projekten mit verschiedenen Projektbearbeitern und Projektfokussierungen angewendet werden.

Die Methodik ist grundsätzlich für die Praxis relevant. Der Einsatz zur Entwicklung von GUIs ist durchführbar. Der optimale Einsatzzweck der Methodik ist für reale Interfaces oder hybride Interfaces, die sowohl einen realen als auch virtuellen Ansatz verfolgen.

Die Methodik und deren Anwendungsergebnisse führen in allen EvPs zum Ziel. Mit den Einzelmethode können punktuell die gewünschten Ergebnisse erreicht werden. Die Zielerreichung in dem jeweils projektierten Zeitrahmen wird erfüllt, obwohl die Anwendung punktuell sehr aufwendig ist, weshalb die Effizienz nicht mit dem vollen ErG evaluiert ist.

Ein adaptives BE oder BS ist in allen EvPs entstanden. Je nach Projekt in verschiedenen Prototypen oder Konzeptionen unterschiedlicher Reifegrade.

Der Fokus wird einerseits hinsichtlich der Projektziele und -vorstellungen vereinheitlicht. Andererseits kann durch die Fokusberechnung eine Methodenauswahl empfohlen werden, um eine Unterstützung der Zielsetzung zu erreichen. Dieser entstandene Fokus, sowohl der Projektbeteiligten als auch in der Methodenanwendung, kommt in allen Projekten zur Anwendung. Je nach Anzahl der Projektbeteiligten ist die einheitliche Fokussierung unterschiedlich aufwendig.

7.5 Gesamtevaluation der Methodik

Die Gesamtevaluation ist die Summe der Ergebnisse aus der Potenzialanalyse der heuristischen, formativen und summativen Evaluation. Diese vier Teilevaluationen fließen gleichgewichtet in die Gesamtevaluation ein. Sämtliche generierten Erfüllungsgrade werden in einem Gesamterfüllungsgrad zusammengefasst. Aus dieser Gesamtevaluation und den zugehörigen Anmerkungen aus den offenen Fragen entsteht ein bewerteter Eindruck über die Validität der entwickelten Methodik. Tabelle 7.40 stellt einen zusammenfassenden Überblick über die Evaluation aller Anforderungen inklusive Gesamterfüllungsgrad, Evaluationsart, Evaluationsprojekt und die evaluierte Methodik bzw. Methoden dar. Das Ergebnis zeigt grundsätzlich hohe Erfüllungsgrade. Die Daten zur Berechnung der Gesamterfüllungsgrade sind im Anhang in Tabelle A.12 zu sehen. Punktuell sollten vereinzelte Verbesserungen realisiert werden, um dem Anwender die Anwendung der Methodik bzw. der einzelnen Methoden zu vereinfachen. Insgesamt sind 8 der 16 Anforderungen mit dem maximalen Erfüllungsgrad bewertet. Lediglich die Anforderung ‚Parameterumsetzung‘ und drei Teilanforderungen, nämlich ‚Objektivität‘, ‚Anwendbarkeit‘ und ‚Effizienz‘, fallen in ihrer Bewertung unter den Grenzwert von 0,8.

Die Hintergründe, warum die Parameterumsetzung als einzige Anforderung unter dem Grenzwert bewertet wird, lässt sich wie folgt erklären: Die Evaluation beruht auf EvP1 und EvP2. Bei EvP2 handelt es sich um eine reine GUI-Entwicklung. Bei EvP1 um eine Entwicklung eines realen Interfaces. Hieraus wird abgeleitet, dass keine der beiden Projekte die komplette Bandbreite der Methodik ausschöpft. Somit sind auch nicht alle Parameter in den Entwicklungen involviert. Bei der Anwendung der Methodik zur Entwicklung von GUIs ist auffallend, dass die LM von geringer Bedeutung ist. Durch die Möglichkeit über unendlich neu generierbare Ebenen ein Grundlayout zu schaffen, welches unerschöpfliche Positionierungsmöglichkeiten bietet, ist der wesentliche Mehrwert der LM nicht relevant. Die Übereinanderlagerung von BSZ gibt einen guten Überblick über die Prioritäten der Bedienung.

		Anforderungen		Gesamterfüllungsgrad	ZW ErG Methodik	Evaluationsart	Evaluationsprojekt EvP	Evaluierte Methodik / Methoden
		Teilanforderungen						
Normativität	Überprüfbarkeit				1 4	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
	Wissenschaftl. Sinnhaftigkeit	Objektivität			0,67 2,67	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
		Zuverlässigkeit			1 4	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
		Gültigkeit			0,93 3,7	FE	EvP1, EvP2	FG, FZM, KM, FuB, LM
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit			0,89 3,57	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	FG, FZM, KM, FuB, LM
		Wiederholbarkeit			1 4	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
		Erlernbarkeit			0,97 3,88	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	FG, FZM, KM, FuB, LM
		Anwendbarkeit			0,74 2,98	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	FG, FZM, KM, FuB, LM
Unsicherheit	Strukturierung				0,88 3,5	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	Methodik
	Flexibilität				1 4	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	Methodik
	Kompatibilität	Komplexität			0,81 3,25	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	Methodik
		Kompatibilität			0,82 3,28	HE	EvP3, EvP4, EvP5, EvP6	FG, FZM, KM, FuB, LM
Konkurrenzfähigkeit	Praxisrelevanz				0,91 3,63	PA / SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
	Nützlichkei	Effektivität			0,91 3,64	FE / HE / SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
		Effizienz			0,74 2,96	FE / HE / SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
A.g.	Problemspezifität				0,85 3,38	FE / HE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	FG, FZM, KM, FuB, LM
Resultat	Adaptivität				0,92 3,67	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
Parametrisierung	Parameterdefinition				1 4	PA	-	-
	Parameterverifizierung				1 4	PA	-	-
	Parameterumsetzung				0,69 2,75	FE	EvP1, EvP2	Methodik
Fokussierung	Fokusdefinition				1 4	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
	Fokusberechnung				1 4	SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik
	Fokus-anwendung				0,88 3,5	FE / SE	EvP1,EvP2,EvP3, EvP4,EvP5,EvP6	Methodik

Tabelle 7.40: Übersicht über die Gesamtevaluation

Eine Kombination der BF durch adaptive BE ist jedoch in der Form, wie sie in der Entwicklung realer Interfaces benötigt wird, nicht notwendig. Die Adaptivität wird viel mehr über eine Anpassung an den jeweiligen User umgesetzt, wofür die Ergebnisse der KM entscheidend sind. Aus den genannten Gründen ist zu erkennen, dass die Methodik besser zur Entwicklung realer oder hybrider Interfaces anwendbar ist, als auf reine virtuelle Interfaceentwicklungen.

Hinsichtlich der Bewertung der Objektivität ist die Zusammensetzung der evaluierenden Personen relevant. Da die formative Evaluation vom Methodikentwickler durchgeführt wird, handelt es sich hier um eine subjektive Bewertung. Die vier weiteren Projekte erfüllen das Kriterium der Objektivität. Durch den beschriebenen großen Mehrwert der formativen Evaluation während der Methodikentwicklung überwiegt dieser gegenüber der nicht optimal bewerteten Objektivität.

Die zweite Teilanforderung, die bei der Bewertung unter den Grenzwert von 0,8 fällt, ist die Anwendbarkeit. Dies ist auf die erforderlichen Grundkenntnisse bei der Anwendung der Methodik zurückzuführen. Es bedarf je nach Methode Kenntnisse in den Fachgebieten Ergonomie, Technisches Interfacedesign, Usability und fundiertes Wissen über das technische System, für das ein Interface entwickelt wird. Die projektspezifisch variierenden Voraussetzungen hinsichtlich der Kenntnisse müssen gegeben sein, um eine erfolgreiche Anwendung der Methodik zu garantieren.

Der Kernkritikpunkt an der Methodik, der aus den offenen und geschlossenen Fragen der Evaluation hervorgeht, bezieht sich auf den punktuell hohen zu betreibenden Aufwand, weshalb die Methodik nicht sonderlich effizient erscheint. Alle Methodikanwender sehen die Effizienz kritisch. Dies bezieht sich überwiegend auf die FuB.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die Evaluation ein positives Ergebnis hervorbringt. Die einzelnen methodikspezifischen Defizite in der Evaluation sind ernst zu nehmen, gefährden jedoch nicht den Erfolg der Methodik.

Im Weiteren werden methodenspezifische Defizite, die sowohl aus den offenen und geschlossenen Fragen der Evaluation resultieren, aufgezeigt.

Speziell die FG betreffend besteht die Kritik, dass die resultierende Methodenempfehlung keine konkrete Handlungsanweisung für den Einsatz der empfohlenen Methoden formuliert. Ausblickend besteht die Möglichkeit, zusätzlich zu den Methodenempfehlungen aus der FG, dem User eine direkte Anwendungserklärung der jeweiligen Methoden anzubieten. Hierbei hat der User direkt einen Überblick über die Umfänge und die Prozessgestaltung der darauffolgenden Methoden. Auch könnten einsetzbare Werkzeuge und Tools für die weiteren Methoden aufgelistet werden, um dem User einen Eindruck des bevorstehenden Prozesses zu bieten.

Die Kritik an der FZM gründet auf der Unverbindlichkeit der Empfehlung, die aus der FZM resultiert. Dieser Entscheidungsspielraum wird bewusst gewählt, um dem Entwicklerteam ein breiteres Spektrum an Gestaltungsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. Außerdem geht aus der PA hervor, dass in sämtlichen Methoden und Vorgehensweisen Spielraum für Innovation und Kreativität bestehen sollte.

Die Evaluation der KM bleibt frei von expliziten Kritikpunkten, was durch die hohen Erfüllungsgrade der einzelnen Anforderungen bestätigt wird.

Die FuB fordert je nach Umfang des Projekts und der damit verbundenen Vielzahl an BSZ einen sehr hohen Aufwand bei der Erfassung aller BF. Die Effizienz ist dann gering, wenn die erfassten Informationen nicht vollständig benötigt werden, da der Aufwand dann lediglich einen geringen Mehrwert generiert. Um dieser Kritik entgegenzuwirken, ist eine spezifische Modularität der Methode ein Lösungsansatz. Diese Modularität kann direkt an die Kundenanforderungen gekoppelt werden, wonach die definierten Kundenanforderungen den resultierenden Methodenaufwand festlegen. Mit diesem Ansatz können ausschließlich die projektspezifischen Parameter analysiert werden. Es bleibt zu prüfen, ob der Mehraufwand des projektspezifischen Reduzierens des Analyseumfangs einen positiven Effekt auf die Gesamteffizienz hat.

Wie bei der KM ist die LM von expliziter Kritik im Rahmen der Evaluation ausgeschlossen, was sich auch in den Erfüllungsgraden der Anforderungen widerspiegelt.

Werden die Teilanforderungen zusammengefasst in den 16 Anforderungen betrachtet, sind 15 der 16 Anforderungen über dem Grenzwert von 0,8 bewertet, was als sehr gut definiert ist. Eine Anforderung mit dem ErG von 0,69 ist im Bereich gut evaluiert. Abschließend ist festzuhalten, dass das Evaluationsergebnis positiv ausfällt.

8 Zusammenfassung

Im folgenden Kapitel werden die Inhalte der vorhergehenden Arbeit zusammengefasst. In chronologischer Rangfolge werden nach der Einleitung in Kapitel 1 die aufeinander aufbauenden Kapitel 2 bis 7 in Kurzform präsentiert. Die Kapitel zeigen die strukturierte Vorgehensweise, um eine modularisierte Methodik zu entwickeln. Diese ermöglicht eine Entwicklung von adaptiven Interfaces in mobilen Maschinen.

Die theoretischen Grundlagen erläutern die zum Verständnis der weiteren Vorgehensweise notwendigen Kenntnisse und Informationen hinsichtlich unterschiedlicher Fachgebiete, die weitestgehend dem Technischen Design zugeordnet werden können. Über folgende Teilaspekte der MMS und deren Gestaltung wird die Basis zum Verständnis der nachfolgenden Entwicklungsschritte dargelegt:

- Ergonomie mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen,
- Definition von BSZ,
- Komplexität,
- User,
- Adaptivität,
- Unterscheidung zwischen Konsum- und Investitionsgütern,
- Abgrenzung zwischen einer Methodik und Methoden,
- Produktentwicklungsprozess und die vorgelagerte frühe Phase,
- Wissensgenerierung,
- Evaluationsarten.

Existierende Forschungsprojekte für adaptive Interfaces werden im Stand der Technik und Forschung in Kapitel 3 beschrieben. Hierbei wird zwischen Forschungsarbeiten aus hochschulwissenschaftlichen und industriellen Entwicklungen differenziert. Zusätzlich werden die gängigen Design- und Produktentwicklungsprozesse und -modelle beschrieben.

Durch umfangreiche Experteninterviews unter Anwendung der Delphi-Methode wird das grundsätzliche Potenzial einer Methodik zur Entwicklung von adaptiven Interfaces abgefragt. Zusätzlich werden Einflussparameter generiert, welche bei der Entwicklung adaptiver Interfaces berücksichtigt werden sollten. Diese werden im nächsten Schritt, in einer zweiten Stufe der Delphi-Befragung bewertet, um die Gewichtung der Parameter kategorisch zu erfassen. Neben diesen Parametern konnten Einflussparameter generiert werden, welche eine Zuordnung von Bedienfunktionen zu den Interfacetechnologien realer und virtueller Interfaces ermöglichen. Auch diese werden strukturiert und in der zweiten Delphi-Befragung von dem Expertenkollektiv bewertet. Beide bewerteten Pa-

parametercluster haben im Folgenden maßgeblichen Einfluss auf die Gestaltung der Methodik.

Um die Entwicklung der Methodik strukturiert und zielführend durchzuführen, werden Anforderungen an die Methodik generiert. Diese werden in allgemeingültige und spezifische Anforderungen gegliedert. Die daraus entstandene Anforderungsliste dient neben dem Einsatz in der zielorientierten Methodikentwicklung auch zur Evaluation der Methodik. Hierbei wird für die einzelnen Anforderungen ein Erfüllungsgrad berechnet, um sicherzustellen, dass die Methodik die gesteckten Ziele erreicht und die Evaluation der Methodik erfolgreich ist.

Auf den gewichteten Einflussparametern baut die Konzeption der Methodik auf. Die Fokusgenerierung fordert eine gewichtete Parametrisierung als Input vom Projektteam. Die damit verbundene einheitliche Definition der Projektziele schärft die Vorstellungen über Ablauf und Ergebnisse des Projekts maßgeblich, insbesondere bei unterschiedlichen Projektpartnern. Durch die Berechnung der projektspezifischen Fokusgenerierung ergeben sich Empfehlungen für die weitere Anwendung der Methodik. Daraus resultiert eine Anzahl zwischen einer und vier Methoden, die im weiteren Projektverlauf angewendet werden sollen. Die Funktions-Zuordnungsmethode stellt ein weiteres Parameter-Set zur Verfügung, welches ebenfalls vom Methodikanwender bewertet werden muss. Jedoch nicht für das komplette Projekt, sondern projektspezifisch für einzelne Bedienfunktionen, Funktionsgruppen oder Bedienszenarien. Hieraus resultiert für die untersuchten Bedienfunktionen, Funktionsgruppen oder Bedienszenarien eine Empfehlung hinsichtlich der Interfacetechnologie, die in dem jeweils betrachteten Projektkontext besser geeignet ist. Im Rahmen dieser Arbeit beschränken sich die unterschiedlichen Interfacetechnologien auf eine reale oder virtuelle Bedienung. Die Komplexitätsmethode legt den Fokus auf den User des zu entwickelnden Interfaces. Die Fähigkeiten und die Qualifikation der potentiellen Usergruppe ist ausschlaggebend für die Komplexität, die das Interface haben sollte. Hier gilt es durch die Berechnung von Komplexitätswerten ein geeignetes Maß zwischen Userexpertise und Komplexität des HMIs zu finden, damit der User mit der Bedienung des technischen Systems nicht überfordert ist. Über unterschiedliche Bewertungsskalen können Werte für die Produktkomplexität, Interfacekomplexität, Expertise des Users und daraus resultierend über die Komplexität des HMIs berechnet werden. Aus diesen Ergebnissen werden Empfehlungen über die Art und Weise des Einsatzes des HMIs und nach Bedarf Vorschläge zur Änderung des HMIs gegeben. Diese beziehen sich auf die unterschiedlichen Komplexitätskenngrößen. Zusätzlich kann das Komplexitätsdreieck aus der Produktkomplexität, der HMI-Komplexität und dem Automatisierungsgrad zur Visualisierung gebildet werden, um die Verteilung

der Komplexitäten und der Lösungsräume zu verdeutlichen. Die Methode kann sowohl als Analyse- als auch als Entwicklungstool eingesetzt werden. Die Funktions- und Bedienanalyse liefert einen detaillierten Überblick über das technische System und dessen Bedienung. Es werden umfangreiche Analysen über die relevanten Bedienszenarien und deren Bedienung durchgeführt. Die Grobgliederung der zum Einsatz kommenden Tabelle ist die Differenzierung zwischen ‚Maschine‘ und ‚Mensch‘. Diese Gegenüberstellung beruht auf der Unterscheidung von Wirk- und Stellteil. Hieraus resultieren u. a. wertvolle Informationen hinsichtlich notwendiger Kompatibilitäten, die einen wesentlichen Gesichtspunkt im Gestaltungsprozess liefern. Die Informationen, die aus der Funktions- und Bedienanalyse hervorgehen, stellen die Basis für die nachfolgende Layer-Methode dar. Die Layer-Methode kanalisiert die Erkenntnisse und Daten, die in der Funktions- und Bedienanalyse erfasst werden. Die erfassten Notwendigkeiten der Kompatibilitäten hinsichtlich der Zeit, der Positionierung, der Bewegung und der Bedeutung werden in der Layer-Methode in die Konzepte des HMIs implementiert. Die einzelnen Bedienfunktionen werden für die einzelnen Bedienszenarien auf den jeweiligen Layern optimal positioniert. Die unterschiedlichen Layer der verschiedenen BSZ werden übereinander, auf dem nach ergonomischen Vorgaben zur Verfügung stehenden Grundlayout, angeordnet. Die Bediencharakteristiken der BF zeigen dem Entwicklerteam Überlagerungen und Konzentrationen von BF auf prominenten Bedienpositionen. Diese gilt es durch Konzepte adaptiver BE zu entzerren und Lösungsräume für die Bedienung zu schaffen. Die LM liefert exakte Anforderungen und Lösungsideen an die adaptiven Bedienelemente und visualisierte Übersichten über die Menge, idealisierte Positionierung und Charakteristiken der Funktionen und der Bedienung. Mit Hilfe unterschiedlicher Kreativitätstechniken gelingt es, Prototypen unterschiedlicher Güte und Materialität zu konzipieren, welche durch diverse Iterationsschleifen in funktionsfähigen Prototypen münden, die für eine Evaluation zur Verfügung stehen. An dieser Stelle endet die Anwendung der Methodik. Für eine Weiterführung des HMIs in einen serienreifen Status kommen standardisierte Produktentwicklungsprozesse zum Einsatz.

Die Evaluation der Methodik wird anhand der generierten Anforderungen und deren Erfüllungsgraden durchgeführt. Für jede Anforderung wird mit Hilfe von drei unterschiedlichen Evaluationsarten ein Erfüllungsgrad ermittelt, der im Gesamtbild einen Überblick über Stärken und Defizite in der Anwendung der Methodik liefert. Die zum Einsatz kommenden Evaluationsarten sind die formative, heuristische und summative Evaluation. Zusätzlich werden die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalyse, punktuell zur Evaluation einzelner Anforderungen, verwendet. Zusammenfassend ergibt die Evaluation überwiegend sehr hohe Erfüllungsgrade. Lediglich eine Anforderung und drei Teilanforderungen fallen unter den als sehr gut definierten Schwellenwert des ErG

von 0,8, welcher jedoch im Bereich von 0,7 als gut definiert ist. Hierbei handelt es sich um die Objektivität, die Anwendbarkeit, die Effizienz und die Parameterumsetzung. Der relativ niedrige ErG der Objektivität ist auf die formative Evaluation zurückzuführen. Die Vorteile dieser Evaluation überwiegen jedoch in der Methodikentwicklung, weshalb sie trotzdem durchgeführt wird. Die Anwendbarkeit bei einer ersten Anwendung der Methodik leidet unter der nicht vollständig intuitiven Nutzbarkeit der Methodik. Fehlende Erläuterungen erschweren die Anwendung der Methodik. In den Evaluationsprojekten steht der Methodikentwickler beratend zur Seite, weshalb hierbei nur theoretische Probleme auftreten. Die Effizienz der Methodik insbesondere der FuB stellt den größten Kritikpunkt dar. Bei Projekten mit hoher Funktionsvielfalt im technischen System stellt die Effizienz ein ernstzunehmendes Problem dar. Eine Lösung dieses Problems ist eine modulare Gestaltung der Methode. Den Anwendungserfolg gilt es zu evaluieren. Die Parameterumsetzung leidet hinsichtlich des ErG, da der hohe Umfang an erfassten Parametern in der Potenzialanalyse nicht in vollem Ausmaß berücksichtigt wird. Lediglich die höchstgewichteten Parameter aus den Experteninterviews werden in der Methodenanwendung aufgegriffen, was aus Usabilitygründen für die Methodenanwendung durchaus seine Berechtigung findet.

Es ist festzuhalten, dass sämtliche Methoden unabhängig voneinander angewendet werden können. Idealerweise werden diese in der Gesamtheit der Methodik chronologisch angewandt, jedoch besteht durchaus die gewinnbringende Möglichkeit die Methoden punktuell zur Unterstützung in der HMI-Entwicklung einzusetzen.

Die Anwendungsgebiete der Methodik sind der frühen Phase der HMI-Entwicklung zugeordnet und begrenzen sich auf den Einsatz in der Entwicklung adaptiver Interfaces in mobilen Maschinen, da die Evaluationsprojekte sich auf diesen Bereich limitieren. Der Kernpunkt dieser Begrenzung liegt in der Vielfalt unterschiedlicher koppelbarer Anbau- und Arbeitsgeräte, durch die ein stetiger Wechsel der BF und BSZ einhergeht. Durch diesen Wechsel ist ein dynamischer Wechsel der BediENAufgaben für den User ständiger Begleiter, weshalb adaptive Bedienelemente den Lösungsraum für die Interfaceentwicklung gewinnbringend erweitern. Zusätzlich werden unterschiedliche Arbeitsgeräte von einer großen Bandbreite an Usern bedient. Hieraus resultiert eine große Varianz in der Userexpertise, welche idealerweise durch die Adaptivität des HMIs unterstützt wird.

9 Ausblick

Die Methodik zur Entwicklung adaptiver Interfacesysteme ist für ein spezielles Anwendungsgebiet und spezifische Anforderungen konzipiert, wie in Kapitel 8 zusammengefasst ist. Im Folgenden wird ausblickend auf potentielle Erweiterungen und Verbesserungen der Methodik sowie interdisziplinäre Forschungspotenziale im Zusammenhang mit dieser Arbeit eingegangen.

Die Methodik in Form der Funktions-Zuordnungsmethode beschränkt sich auf die haptische Bedienmodalität und mit der virtuellen und realen Interfacetechnologie auf zwei Ausprägungen dieser Modalität. Diese beiden, sich vornehmlich im Einsatz befindlichen Technologien im Kontext der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, müssen zukünftig auf ihre Anwendbarkeit, Nützlichkeit und Angemessenheit in sämtlichen Bedienszenarien überprüft werden. Da weitere Interfacemodalitäten wie die akustische und visuelle Interaktion und Interfacetechnologien wie die Sprach-, Blicksteuerung und Ultraschallbedienung einen fortgeschrittenen Reifegrad besitzen, ist in diesem Zusammenhang eine ständige Überprüfung durchzuführen. Dafür eignet sich beispielsweise ein Technologie- und Trendradar, um die Bedienung innovativ, zukunftsfähig und gebrauchstauglich zu gestalten. Durch diese permanente Analyse und Überprüfung des richtigen Einsatzes von Interfacemodalitäten und -technologien kann eine zukunfts-trächtige Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen unterstützt werden. Auch für eine Technologievorausschau kann die Verwendung der Funktions-Zuordnungsmethode genutzt werden. Die auf die virtuelle und reale Bedienung zugeschnittenen Parameter können durch passende Parameter für die neue Technologie oder Modalität ersetzt werden. Wenn zukünftige Bedienszenarien und -funktionen bestimmter technischer Systeme simuliert werden, wird unter der Methodenanwendung auch die passende Modalität und Technologie ausfindig gemacht.

Die Methoden, insbesondere die Funktions- und Bedienanalyse, sind hinsichtlich ihrer Effizienz potentiell zu verbessern. Hier sollte dem Gedanken der Implementierung von Datenbanksystemen bzw. Expertensystemen Aufmerksamkeit gewidmet werden. Zusätzlich gilt es vor der Methodenanwendung zu prüfen, ob der volle Umfang notwendig ist oder ob durch ein modulares System die Methode vor der Anwendung auf wesentliche projektspezifische Aspekte reduziert werden kann. Die Effizienz der FuB ist bei einer wiederholten Anwendung im Bereich einer wiederkehrenden HMI-Entwicklung deutlich gesteigert. Im Falle, dass eine FuB für ein technisches System bereits existiert und lediglich punktuelle Anpassungen vorgenommen werden müssen, ist der Aufwand bei

der Anwendung ein Bruchteil im Vergleich zu einer Neuentwicklung, bei der die komplette Analyse für die einzelnen BSZ neu durchgeführt werden muss.

Das grundsätzliche Prinzip eines dynamischen, adaptiven Interfaces und dessen Entwicklungsmethodik kann auf weitere Bereiche fernab mobiler Maschinen übertragen werden. Die dynamische Änderung der Bedienszenarien im Bereich der mobilen Maschinen und die Variation der Userexpertise wirken sich mit Hilfe der in dieser Arbeit entwickelten Methodik auf ein sich anpassendes Interface aus. Die Auslöser der Bedienszenarienänderung sind die verschiedenen Ansprüche unterschiedlicher Arbeitsgeräte an das Interface. Existieren keine unterschiedlichen Arbeitsgeräte, müssen andere Auslöser identifiziert werden, die eine Bedienszenarioänderung nach sich ziehen und diese hinsichtlich ihrer Bedienfunktionscharakteristik untersucht werden. Hier besteht die Möglichkeit durch spezifische Anpassungen an der Methodik eine Transformation im Automotiv-Bereich vorzunehmen. Insbesondere werden sich beim automatisierten Fahren adaptive Interfacesysteme durchsetzen.

Die adaptive Anpassung des Interfaces ist in sämtlichen technischen Systemen sinnvoll, in denen eine hohe Funktionsvielfalt und Änderung der Bedienszenarien bedient werden muss. Durch den Einsatz von algorithmischer Steuerung der Änderung der Bedienelemente oder den Einsatz künstlicher Intelligenz, besteht die Möglichkeit das zur Verfügung stehende Interface noch besser an den jeweiligen User und die Bediensituation anzupassen. Die interdisziplinäre Kombination der methodischen Anwendung mit dem Fachbereich der Softwareentwicklung bietet weiteres Forschungspotenzial. Als wesentlicher Baustein der erfolgreichen Interfaceentwicklung ist die Softwareentwicklung maßgeblich am Erfolg beteiligt. Um eine Verschmelzung der beiden Disziplinen im Entwicklungsprozess zu erreichen, bedarf es eines Abgleichs der methodischen Vorgehensweisen, um einen optimalen Weg zu finden diese inhaltlich, zeitlich und strukturell kompatibel einander anzupassen.

Die Methodik wie auch die Einzelmethoden bieten sich an sowohl in der Lehre, beispielsweise einem Workshop zur HMI-Entwicklung, als auch in der industriellen Praxis eingesetzt zu werden. Die Evaluation zeigt die erfolgreiche Anwendung in unterschiedlichen Projekten von Forschungsprojekten mit Industriebeteiligung, reinen Industrieprojekten und studentischen Projekten. Demnach sind die Voraussetzungen gegeben die erarbeiteten Methoden in einer breiteren Masse zur Anwendung zu bringen.

Literaturverzeichnis

- [3DCONNEXION 2022] 3Dconnexion GmbH: <https://3dconnexion.com/de/>, Abruf: 03.02.2022.
- [ABEL 2019] Abel, H.: Lösungen für das Cockpit der Zukunft. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, Ausgabe 05, 2019, S. 70-75.
- [ADLER & ZIGLIO 1996] Adler, M., Ziglio, E.: Gazing into the oracle: The Delphi Method and its application to social policy and public health. London: Jessica Kingsley Publishers, 1996.
- [AICHHOLZER 2002] Aichholzer, G.: Das ExpertInnen-Delphi: Methodische Grundlagen und Anwendungsfeld „Technology Foresight“, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Technikfolgen-Abschätzung, iTA 02/01, Wien, 2002.
- [ALBERS ET AL. 2017] Albers, A.; Rapp, S.; Birk, C.; Bursac, N.: Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In: Binz, H.; Bertsche, B.; Bauer, W.; Spath, D.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, 2017.
- [ALONSO-RÍOS ET AL. 2018] Alonso-Rios, D.; Mosquiera-Rey, E.; Moret-Bonillo, V.: A Systematic and Generalizable Approach to the Heuristic Evaluation of User Interfaces. In: International Journal of Human-Computer Interaction. Milton, UK: Taylor & Francis Group, 2018, S. 1169-1182.
- [AMAZON 2021] Notebookcheck: <https://www.notebookcheck.com/Adaptive-Volume-Amazon-Alexa-lernt-zu-schreien.557941.0.html>, Abruf: 03.02.2022.
- [APPLE 2022] Apple, Inc.: <https://www.apple.com/siri/>, Abruf: 03.02.2022.
- [ARGYLE 2013] Argyle, M.: Körpersprache & Kommunikation - Nonverbaler Ausdruck und Soziale Interaktion. 10. überarbeitete Neuauflage, Paderborn: Junfermann Verlag, 2013.
- [AUDI 2017] Audi AG: <https://www.audi-mediacent.com/de/pressemitteilungen/concept-car-audi-aicon-autonom-auf-zukunftskurs-9332>, Abruf: 02.02.2022.

- [AUDI 2019a] Audi AG: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/audi-aime-2019-11455>, Abruf: 02.03.2022.
- [AUDI 2019b] Audi AG: <https://www.audi-mediacycenter.com/de/audi-airail-quattro-2019-11996>, Abruf: 02.03.2022.
- [BADKE-SCHAUB ET AL. 2012] Badke-Schaub, P.; Hofinger, G.; Lauch, K.: Human Factors. In: Badke-Schaub, P.; Hofinger, G.; Lauche, K. (Hrsg.): Human Factors – Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen, 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, S. 3-20.
- [BASDOGAN & LOFTIN 2009] Basdogan, C.; Loftin Bowen, R.: Multimodal Display Systems: Haptic, Olfactory, Gustatory and Vestibular. In: The PSI handbook of virtual environments for training and education. Praeger Security International Verlag, 2009, S. 116-134.
- [BEIER 2013] Beier, F. M.: Untersuchungen zum hybriden Designprozess in der technischen Produktentwicklung. Institut für Konstruktivtechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2013.
- [BENTLEY 2020] Bentley Motors:
<https://frankfurt.bentleymotors.com/eu/de/bentley/info/flying-spur-v8-2020>, Abruf: 03.02.2022.
- [BERNSTEIN ET AL. 2001] Bernstein, A.; Broecker, N.; Marz, P.; Robin, L.: Visuell-haptische Schnittstellen in der Automobilentwicklung bei BMW. In: Grundwald, M.; Beyer, L. (Hrsg.): Der bewegte Sinn – Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung. Basel: Springer Basel AG, 2001, S. 187-194.
- [BEYER & HOLTZBLATT 1998] Beyer, H.; Holtzblatt, K.: Contextual Design – Defining Customer-Centered Systems. San Diego: Academic Press, 1998.
- [BINZ ET AL. 2011] Binz, H.; Keller, A.; Kratzer, M.; Messerle, M.; Roth, D.: Increasing Effectiveness and Efficiency of Product Development – A Challenge for Design Methodologies and Knowledge Management. In: Birkhofer H. (Hrsg.): The Future of Design Methodology. London: Springer-Verlag, 2011, S. 79-90.
- [BISCHOF ET AL. 2015] Bischof, K.; Weyers, B.; Frank, B.; Kluge, A.: Gaze Guiding zur Unterstützung der Bedienung technischer Systeme. In: Weisbecker, A.; Burmester, M.; Schmidt, A. (Hrsg.): Mensch und Computer 2015 Workshopband. Stuttgart: Oldenbourg Wissen-

- schaftsverlag, 2015, S. 61-68.
- [BLOMEYER & SCHULTE-GEHRMANN 2019] Blomeyer, D.; Schulte-Gehrmann, A.-L.: Oberflächeninnovationen für das Interieur künftiger Fahrzeuge. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, Nr. 121, 2019, S. 48-53.
- [BMW 2016] BMW AG: <https://www.bmw.at/de/topics/fascination-bmw/bmw-next-100/bmw-next-100.html>, Abruf: 02.02.2022.
- [BOBBE ET AL. 2016] Bobbe, T.; Krzywinski, J.; Woelfel, C.: A Comparison of Design Process Models from Academic Theory and Professional Practice. In: Proceedings of the International Design Conference – Design 2016, S. 1205-1214.
- [BÖTTINGER 2010] Böttinger, S.: Informationstechnik für den Einsatz auf Landmaschinen. In: Claupein, W.; Theuvsen, L.; Kämpf, A.; Morgenstern, M. (Hrsg.): Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., 2010, S. 31-37.
- [BÖTTINGER ET AL. 2011] Böttinger, S.; Leipold, S.; Maier, T.: Bewertung von Mähdrösch-Bediensystemen. In: Landtechnik, 66.Jg., Nr. 5, 2011, S. 329-332.
- [BOGNER ET AL. 2014] Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W.: Interviews mit Experten – Eine praxisorientierte Einführung, Qualitative Sozialforschung, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014.
- [BOGNER & MENZ 2002] Bogner, A.; Menz, W.: Expertenwissen und Forschungspraxis: die modernisierungstheoretische und die methodische Debatte um die Experten – Zur Einführung in ein unübersichtliches Problemfeld. In: Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hrsg.): Das Experteninterview – Theorie, Methode, Anwendung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2002, S. 7-29 .
- [BOWA 2021] Bowa Medical: <https://www.arc-electrosurgery.com/>, Abruf: 03.02.2022.
- [BREUNINGER & POPOVA-DLUGOSCH 2015] Breuninger, J.; Popova-Dlugosch, S.: Gestaltung moderner Touchscreen-Interaktion für technische Anlagen. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Bd.2 – Automatisierung, 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2017, S. 537-557.

- [BRITISH DESIGN COUNCIL 2007] Design Council: Eleven lessons: managing design in eleven global companies – Desk research report. London: Design Council, 2007.
- [BROWN 2008] Brown, T.: Design Thinking. Watertown: Harvard Business Publishing, 2008.
- [BROWN & GERHARDT 2002] Brown, K. G.; Gerhardt, M. W.: Formative Evaluation: An Integrative Practice Model and Case Study. In: Personnel Psychology, Vol. 55, Issue 4. Hoboken, NJ, USA: Wiley Periodicals, LLC., 2002, S. 951-983.
- [BUBB ET AL. 2015a] Bubb, H.: Einführung. In: Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R.E., Vollrath, M. (Hrsg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [BUBB ET AL. 2015b] Bubb, H.; Bengler, K.; Breuninger, J.; Gold, C.; Helmbrecht, M.: Systemergonomie des Fahrzeugs. In: Bubb, H.; Bengler, K.; Grünen, R. E.; Vollrath, M. (Hrsg.): Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [BULLINGER 1994] Bullinger, H.-J.: Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart: Teubner, 1994.
- [BULLINGER & RENZ 2005] Bullinger, H.-J.; Renz, K.-C.: Forschungs- und Entwicklungsstrategien. In: Albers, S.; Gassmann, O. (Hrsg.): Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2005.
- [BURKARD & SCHECKER 2014] Burkard, U.; Schecker, H.: Curriculare Delphi-Studien. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- [BUSSEMER 2003] Bussemer T.: Gesucht und gefunden: das Stimulus-Response-Modell in der Wirkungsforschung. In: Publizistik, Heft 2, 48. Jahrgang, Wiesbaden: Springer Nature, 2003, S.176-189.
- [BUTZ & KRÜGER 2017] Butz, A.; Krüger, A.: Mensch-Maschine-Interaktion. 2. Erweiterte Auflage, Berlin: De Gruyter, 2017.
- [BYTON 2017] Byton: <https://www.byton.com/m-byte/experience>, Abruf. 03.02.2022.

- [CARBON 2013] Carbon, C.: Haptische User Experience. In: Boll, S.; Maaß, S.; Malaka, R. (Hrsg.): Workshopband Mensch & Computer. München: Oldenburg Verlag, 2013, S. 165-172.
- [CCI 2018] Competence Center ISOBUS e.V.: <https://www.cc-isobus.com/cci-1200/>, Abruf: 03.02.2022.
- [CCI 2019] Competence Center ISOBUS e.V.: <https://www.cc-isobus.com/cci-a3-2/>, Abruf: 03.02.2022.
- [CHEN ET AL. 2015] Chen, X.; Yu, H.; Yu, F.: What is the optimal number of response alternatives for rating scales? From an information processing perspective. In: Journal of Marketing Analytics, Vol. 3. Macmillian Publishers Ltd., 2015, S. 69-78.
- [COOPER 1990] Cooper, R. G.: Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. In: Business Horizons, 33. Jg., Nr. 3, 1990, S. 44-54.
- [DELBECQ ET AL. 1975] Delbecq, A.; Van de Ven, A. H.; Gustafson, D. H.: Group Techniques for Program Planning – a guide to nominal group and delphi processes. Middleton, Wisconsin: Green Briar Press, 1975.
- [DESIGNWORKS 2020] Design Works, A BMW Group Company: <https://www.bmwgroupdesignworks.com/bmw-i-interaction-ease-in-car-design-news/>, Abruf: 03.03.2022.
- [DIN 1410 1986] Norm DIN 1410: Werkzeugmaschinen; Bewegungsrichtung und Anordnung der Stellteile. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 1986.
- [DIN 33402-2 2020] Norm DIN 33402-2: Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 2020.
- [DIN 69901-5 2009] Norm DIN 69901-5: Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 2009.
- [DIN EN 894-2 2009] Norm DIN EN 894-2: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 2: Anzeigen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag, 2009.

- [DIN EN 894-3 2010] Norm DIN EN 894-3: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 3: Stellteile. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 2010.
- [DIN EN 894-4 2010] Norm DIN EN 894-4: Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag, 2010.
- [DIN EN 60447 2004] Norm DIN EN 60447: Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung – Bedienungsgrundsätze. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 2004.
- [DIN EN ISO 6385 2004] Norm DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, 2004.
- [DIN EN ISO 6682 2009] Norm DIN EN ISO 6682: Erdbaumaschinen – Stellteile – Bequemlichkeitsbereiche und Reichweitenbereiche. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag, 2009.
- [DIN EN ISO 9241-11 2018] Norm DIN EN ISO 9241-11: Ergonomie der Mensch-Maschine-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, November 2018.
- [DIN EN ISO 9241-110 2020] Norm DIN EN ISO 9241-110: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Interaktionsprinzipien. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag, Oktober 2020.
- [DIN EN ISO 9241-210 2020] Norm DIN EN ISO 9241-210: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth Verlag, März 2020.
- [DIN EN ISO 26800] Norm DIN EN ISO 26800: Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth-Verlag, 2011.
- [DIXON 2013] Dixon, L.: Guest Post: Lance Dixon on Calculating Amplitudes. Artikel vom 03.10.2013, Online verfügbar unter

- <https://www.preposterousuniverse.com/blog/2013/10/03/guest-post-lance-dixon-on-calculating-amplitudes/>, Abruf: 13.03.2022.
- [DOERRER 2003] Doerrer, C.: Entwurf eines elektromechanischen Systems für flexibel konfigurierbare Eingabefelder mit haptischer Rückmeldung. Fachbereich 18 – Elektrotechnik und Informationstechnik, Universität Darmstadt, Dissertation, 2003.
- [DÖRING & BORTZ 2016] Döring, N., Bortz, J.: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [DREYFUSS 2002] Dreyfuss, H.; Tilley, A. R.: The measure of man & woman - revised edition - human factors in design, New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [DREYFUS & DREYFUS 1986] Dreyfus, H., Dreyfus, S.: Mind over Machines: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the computer. Oxford: Basil Blackwell, 1986
- [DUCHOVSKI 2007] Duchovski, A.: Eye Tracking Methodology – Theory and Practice. Second Edition, London: Springer-Verlag, 2007.
- [EXLER 2017] Kostal: Yanfeng Automotive Interiors und KOSTAL zeigen intelligente Oberflächen im 3D-Glas-Design. In: Presseinformation, <https://www.kostal.com/de-de/news/aktuelles/2017>, Aufruf: 14.12.2021.
- [FAHRERKABINE 4.0 2021] Fahrerkabine 4.0: Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber. <https://www.agrarsysteme-der-zukunft.de/konsortien/fahrerkabine-40>, Abruf: 13.12.2021.
- [FELDHUSEN 2016] Feldhusen, J.: Gestaltung von Elementen und Systemen. In: Sauer, B. (Hrsg.): Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen. 9. Aufl., Berlin/Heidelberg: 2016, S. 151-187.
- [FINSTAD 2010] Finstad, K.: Response Interpolation and Scale Sensitivity: Evidence Against 5-Point Scales. In: Journal of Usability Studies, Vol. 5, Issue 3, Bloomingdale, IL, USA, 2010, S. 104-110.
- [FLAGG 1990] Flagg, B.N.: Formative Evaluation for Educational Technologies.

Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 1990.

- [FLEMISCH & KRAMMER 2021] Flemisch, J. E.; Krammer, S.: Optimaler Einsatz von Scrum bei dezentral arbeitenden Teammitgliedern in der Produktentwicklung. In: Pfannstiel, M.A.; Siedl, W.; Steinhoff, P. F.-J. (Hrsg.): Agilität in Unternehmen – Eine praktische Einführung in SAFe® und Co.. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2021, S. 33-50.
- [GAUSEMEIER & PLASS 2014] Gausemeier, J.; Plass, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Aufl., München: Carl Hanser Verlage, 2014.
- [GEIMER & POHLANDT 2014] Geimer, M., Pohlandt, C.: Grundlagen mobiler Arbeitsmaschinen: Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik Band 22, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2014.
- [GEIS 1987] Geis, G. L.: Formative Evaluation: Developmental Testing and Expert Review. In: Performance and Instruction, Version 26, Number 4, S. 1-8. 1987.
- [GEISBERGER 2012] Geisberger, E.; Broy, M.: acatech STUDIE, Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [GELOVICZ 2018] Gelovicz, S.: „Morphing Controls“: Gestaltwandler im Cockpit. Artikel vom 07.06.2018, Online verfügbar unter <https://www.automobil-industrie.vogel.de/morphing-controls-gestaltwandler-im-cockpit-a-722388/>, Abruf: 24.02.2022.
- [GEORGE & COWAN 2004] George, J.; Cowan, J.: A Handbook of Techniques for Formative Evaluation. London: Routledge Falmer, 2004.
- [GERICKE ET AL. 2021] Gericke, K.; Bender, B.; Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Grundlagen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung. In: Bender, B.; Gericke, K. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin: Springer-Verlag, 2021.

- [GESCHKA & LANTELME 2005] Geschka, H.; Lantelme, G.: Kreativitätstechniken. In: Albers, S.; Gassmann, O. (Hrsg.): Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2005.
- [GHSP 2021] GHSP: Innovation at work. <https://www.ghsp.com/>. Aufruf: 14.12.2021.
- [GÖTZFRIED 2013] Götzfried, M.: Managing Complexity Induced by Product Variety in Manufacturing Companies Complexity Evaluation and Integration on Decision-Making. School of Management, Economics, Law, Social Sciences and International Affairs, University of St. Gallen, Dissertation, 2013.
- [GOLDSTEIN 2008] Goldstein, B.E.: Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs. 7. Auflage, Deutsche Ausgabe herausgegeben von Hans Irtel, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [GOLDSTEIN 2015] Goldstein, B.E.: Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs. 9. Auflage, Deutsche Ausgabe herausgegeben von Karl R. Gegenfurtner, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2015.
- [GÓMEZ ET AL. 2014] Gómez, R. Y.; Caballero, D. C.; Sevillano, J.-L.: Heuristic Evaluation on Mobile Interfaces: A New Checklist. In: The Scientific World Journal Vol 2014. London, UK: Hindawi Publishing Corporation, 2014.
- [GRIFFIN 1997] Griffin, A.: The Effect of Project and Process Characteristics on Product Development Cycle Time. Journal of Marketing Research, Vol. 34, No. 1, Special Issue on Innovation and New Products, Sage Publications, Inc., 1997.
- [GULLÀ ET AL. 2015] Gullà, F.; Ceccacci, S.; Germani, M.; Cavalieri, L.: Design Adaptable and Adaptive User Interfaces: A Method to Manage the Information. In: Andò, B.; Siciliano, P.; Marletta, V.; Monteriù, A. (Eds.): Ambient Assisted Living – Italian Forum 2014. Vol. 11, Cham: Springer International Publishing AG, 2015, S. 47-58.
- [GÜRTLER & MEYER 2017] Gürtler, J.; Meyer, J.: Design Thinking. Offenbach: GABAL Verlag, 2017.
- [HÄDER 2014] Häder, M.: Delphi-Befragungen – Ein Arbeitsbuch. 3. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014.

- [HÄRTER 2015] Härter H.: Eingabesysteme in der Industrie - Fest gedrückt oder sanft berührt, <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/fest-gedrueckt-oder-sanft-ber%C3%BChrt-a-498193/>, 05.11.2021.
- [HARTSON & PYLA 2019] Hartson, R.; Pyla, P.: The UX Book – Agile UX Design for a Quality User Experience. Second Edition, Cambridge: Morgan Kaufmann, Elsevier, 2019.
- [HAHN 2017] Hahn, J.: Eigenschaftsbasierte Fahrzeugkonzeption – Eine Methodik in der frühen Konzeptphase. In: Volkswagen AG (hrsg.): AutoUni – Schriftenreihe, Band 108. Wolfsburg: AutoUni, 2017.
- [HAMPEL 2011] Hampel, T.: Untersuchungen und Gestaltungshinweise für adaptive multifunktionale Stellteile mit aktiver haptischer Rückmeldung. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2011.
- [HARTMANN 2013] Hartmann, S.: Ein Beitrag zur frühzeitigen Abschätzung der Produktkomplexität und zur Definition einfacher Produkte. Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Dissertation, 2013.
- [HEIDENREICH 2017] Heidenreich, M.: Arbeitsorganisation und Qualifikation. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2017, S. 696-701.
- [HEIMGÄRTNER 2017] Heimgärtner, R.: Interkulturelles User Interface Design – Von der Idee zum erfolgreichen Produkt. Berlin: Springer Vieweg, 2017.
- [HEIN ET AL. 2017] Hein, A.; Patzer, E.; Maier, T.: Improving HMIs of vehicle exterior using adaptive structures and systems. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Springer, 2017, S. 261-273.
- [HEIN ET AL. 2018] Hein, A.; Holder, D.; Maier, J.; Maier, T.: Potential Analysis of Smart Materials and Methodical Approach developing Adaptive Designs using Shape Memory Alloys. In: Ekströmer, P.; Schütte, S.; Ölvander, J. (Eds.): Proceedings of NordDesign. Linköping: The Design Society, 2018.
- [HERCZEG 2018] Herczeg, M.: Software-Ergonomie – Theorien, Modelle, Kriterien für gebrauchstaugliche interaktive Computersysteme. 4. Aufl.,

- Berlin: De Gruyter, 2018.
- [HIERSIG 1995] Hiersig, H. M.: VDI-Lexikon Maschinenbau. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1995.
- [HIX & HARTSON 1993] Hix, D.; Hartson H. R.: Developing User Interfaces – Ensuring Usability Through Product & Process. Hoboken: John Wiley & Sons, inc., 1993.
- [HOMANN & MÖLLER 2021] Homann, K.; Möller, J.: Natürlich anmutende 3-D-Displays im Cockpit. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift, Ausgabe 07/08 2021, S. 38-41.
- [HOU ET AL. 2015] Hou, M.; Banbury, S.; Burns, C.: Intelligent Adaptive Systems – An Interaction-Centered Design Perspective. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2015.
- [HSU & SANDFORD 2007] Hsu, C.; Sandford, B. A.: The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. In: Practical Assessment, Research, and Evaluation, Volume 12, Article 10, 2007.
- [HUDELMAIER 2002] Hudelmaier, J.: Sichtanalyse im PKW unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika. Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Dissertation, 2002.
- [HYUNDAI 2019] Hyundai Motor Company:
<https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-motor-unveils-45-ev-concept-at-iaa-2019.html>, Abruf: 0203.2022.
- [IEA 2020] International Ergonomics Association: Human Factors /Ergonomics (HF/E), www.iea.cc/whats-is-ergonomics/, 10.08.2020
- [JAHN 2009] Jahn, T.: Portfolio- und Reifegradmanagement für Innovationsprojekte zur Multiprojektsteuerung in der frühen Phase der Produktentwicklung. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2009.
- [JANNY 2018] Janny, B.: Entwicklung von gestaltvariablen Bedienelementen zur Überwindung von Nutzungsbarrieren am Beispiel altersgerechter Drehstellteile. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2018.
- [JETTER 2005] Jetter, A.: Produktplanung im Fuzzy Front End, Handlungsunter-

- stützungssystem auf der Basis von Fuzzy Cognitive Maps. In: Bürgel, H.; Grosse, D.; Herstatt, C.; Möhrle M. (Hrsg.): Forschungs-/Entwicklungs-/Innovationsmanagement. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2005.
- [JOHANNSEN 1993] Johannsen, G.: Mensch-Maschine-Systeme. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1993.
- [JOSHI ET AL. 2015] Joshi A.; Kale, S.; Chandel, S; Pal, D. K.: Likert Scale: Explored and Explained. In: Anhui, M. M.; Anhui, H. (Edt.): British Journal of Applied Science & Technology 7, 2015, S. 396-403.
- [KALLUS 2016] Kallus, K. W.: Erstellung von Fragebogen, 2. Auflage, Wien, Österreich: Facultas Verlags- und Buchhandels AG, 2016.
- [KARDOFF & SCHÖNBERGER 2010] Kardoff von, E.; Schönberger, C.: Evaluationsforschung. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien, 2010.
- [KARLOVIC 2019] Karlovic, K.: Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit der Mensch-Maschine-Schnittstelle interaktionsbasierter, adaptiv physischer Assistenzsysteme. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design. Dissertation, Universität Stuttgart, 2019.
- [KAUFMANN ET AL. 2019] Kaufmann, A.; Schempp, T.; Stöhr, I.; Schmid, M.; Maier, T.: The Development of an HMI – From the idea to the Prototype. In: Proceedings of AHFE 2019 International Conference on Usability & User Experience, and Human Factors and Assistive Technology, Advances in Usability and User Experience, Washington D.C., USA, 2019.
- [KAUFMANN ET AL. 2020] Kaufmann, A.; Schempp, T.; Stöhr, I.; Schmid, M.; Maier, T.: Komplexität managen – Adaptive Bedienarmlehne. ATZ heavyduty – On- und Offhighway-Nutzfahrzeuge, 13. Jahrgang, Springer Vieweg, Wiesbaden, 02/2020.
- [KAUFMANN ET AL. 2021] Kaufmann, A.; Reichelt, F.; Racs, M.; Maier, T.: Approach to Measure, Analyze and Develop the User-Centered-Complexity of Technical Products. In: Proceedings of the 21st Congress of the

- International Ergonomics Association (IEA 2021), S. 363-370, Springer International Publishing, 2021.
- [KAUFMANN & MAIER 2021] Kaufmann, A.; Maier, T.: Influencing Parameters for the Development of Adaptive HMIs & Requirements for the Categorization of Control Functions Generated via Expert Knowledge. In: Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conference on Human Factors and Ergonomics in Advances in Human Factors, Business Management and Leadership, S. 315-323, Springer International Publishing, 2021.
- [KAUTZMANN 2013] Kautzmann, T.: Die mobile Arbeitsmaschine als komplexes System. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Dissertation, 2013.
- [KELLER & BINZ 2009] Keller, A.; Binz, H.: Requirements on Engineering Design Methodologies. In: International Conference on Engineering Design, ICED '09, Stanford University, CA, USA, 2009.
- [KELLER & BINZ 2010] Keller, A.; Binz, H.: Methodisch-wissenschaftliche Anforderungen für die Gestaltung von Entwicklungsprozessen in interdisziplinären Forscher- und Entwicklergruppen. In: 8. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Magdeburg, 2010.
- [KHURANA & ROSENTHAL 1993] Khurana, A.; Rosenthal, S. R.: Integrating the Fuzzy Front End of New Product Development. In: Sloan Management Review 6, 1997, S. 103-120.
- [KIRCHNER & NEUDÖRFER 2021] Kirchner, E.; Neudörfer, A.: Grundregeln der Gestaltung. In: Bender, B.; Gericke, K. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 9. Aufl., Berlin: Springer-Verlag, 2021, S. 467-523.
- [KISSEL 2014] Kissel, M.P.: Mustererkennung in komplexen Produktportfolios. Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, 2014.
- [KOEN ET AL. 2001] Koen, P.; Ajamian, G.; Burkart, R.; Clamen, A.; Davidson, J.; D'amore, R.; Elkins, C.; Herald, K.; Incorvia, M.; Johnson, A.; Karol, R.; Seibert, R.; Slavejkov, A.; Wagner, K.: Providing Clarity and a Common Language for the Fuzzy Front End. In: Research Technology Management 44, 2001, S. 46-55.

- [KONRAD 2010] Konrad, K.: Lautes Denken. In: Mey, G.; Mruck, K. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien, 2010.
- [LAßMANN ET AL. 2019] Laßmann, P.; Kiessling, J.; Mayer, S.; Janny, B.; Maier, T.: aHa – Der adaptive Handgriff der Zukunft. In: Konferenzband, Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design, Band 1, TUDpress, Dresden, 2019.
- [LIEBHERR 2018] Liebherr International Deutschland GmbH: <https://www.liebherr.com/de/deu/gesch%C3%A4ftsberichte/gesch%C3%A4ftsbericht-2018/magazin/intusi.html>, Abruf: 03.02.2022.
- [LIN ET AL. 2017] Lin, Y; Breugelmans, J.; Iversen, M.; Schmidt, D.: An Adaptive Interface Design (AID) for enhanced computer accessibility and rehabilitation. In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 98, Amsterdam: Elsevier, 2017, S. 14-23.
- [LINDEMANN 2005] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [LINDEMANN 2009] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [LINDEMANN ET AL. 2009] Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Complexity in the context of product design. In: Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T. (Hrsg.): Structural Complexity Management – An approach for the Field of Product Design, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, S. 21-42.
- [LOGITECH 2010] Logitech: <https://www.logitech.com/de-de/products/mice/m705-wireless-mouse.910-001949.html>, Abruf: 03.02.2022.
- [LOGITECH 2015] Playfront: <https://playfront.de/logitech-g29-force-feedback-racing/>, Abruf: 03.02.2022.
- [LORENZ ET AL. 2019] Lorenz, S.; Wanta, H.; Krzywinski, Herlitzius, T.: Feldschwarm©-UI: A User Interface for Controlling Swarm Technology. In: VDI Wissensforum (Hrsg.): LAND.TECHNIK AgEng 2019, The Forum

- For Agricultural Engineering Innovations, Band 2361, 1.Aufl., 2019, S. 253-264.
- [LORENZ 2021] Lorenz, S.: Neue Dimensionen von Mensch-Maschine-Interfaces. In: Wölfel, C.; Krzywinski, J. (Hrsg.): Design Research 2020. Dresden:TUDpress 2021, S. 136-161.
- [LUCZAK 1993] Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 2. Aufl., Berlin/Heidelberg: 1993.
- [MAIER 2006] Maier, T.: Technisches Design – Rückblick, Gegenwart und Zukunft, In: Maier, T. (Hrsg.): Festschrift 70. Geburtstag von Prof. Hartmut Seeger und 40 Jahre Technisches Design, Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Stuttgart, 2006, S. 47-67.
- [MAIER 2021] Maier, T.: Skript zur Vorlesung Grundzüge der Maschinenkonstruktion I. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, 2021.
- [MAIER & SCHMID 2021] Maier, T.; Schmid, M.: Skript zur Vorlesung Technisches Design. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, 2021.
- [MAINZER 1992] Mainzer, J.: Grundlagen zur räumlichen Gestaltung von Arbeitssystemen. In: Landau, K.; Stübler E. (Hrsg.): Die Arbeit im Dienstleistungsbetrieb – Grundzüge einer Arbeitswissenschaft der personenbezogenen Dienstleistung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1992, S.338.
- [MANKOFF ET AL. 2003] Mankoff, J.; Dey, A. K.; Hsieh, G.; Kientz, J.; Lederer, S.; Ames, M.: Heuristic Evaluation of Ambient Displays. In: CHI: New Horizons, Volume 5, Issue 1, Peripheral and Ambient Displays. Fort Lauderdale, Florida, USA: Letters CHI, 2003.
- [MARK ET AL. 2020] Mark, B. G.; Gualtieri, L.; De Marchi, M.; Rauch, E.; Matt, D. T.: Function-Based Mapping of Industrial Assistance Systems to User Groups in Production. In: 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customization, 2020. S.278-283.
- [MARTIN-JUNG 2019] Martin-Jung, H.: Wenn Touchscreens töten. Süddeutsche Zeitung. Artikel vom 15.08.2019, Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/digital/touchscreens-us-navy->

- technologie-fortschritt-1.4561288, Abruf: 08.03.2022.
- [MARTINUS 2004] Martinus, M. A.: Funktionale Sicherheit von mechatronischen Systemen bei mobilen Arbeitsmaschinen. Institut für Maschinentechnik – Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Technische Universität München, Dissertation, 2014.
- [MAYER 2021] Mayer, H.W.: Die Ablenkung wird mehr und mehr zum Problem. FAZ. Artikel vom 09.01.2021, Online verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/untersuchung-zu-verkehrstoten-die-ablenkung-wird-mehr-und-mehr-zum-problem-17129296.html>, Abruf: 08.03.2022.
- [MAYHEW 1999] Mayhew, D. J.: The Usability Engineering Lifecycle. In: Computer-Human-Interaction-Conference, Pittsburgh: 1999.
- [MENOLD & BOGNER 2015] Menold, N.; Bogner, K.: Gestaltung von Ratingskalen in Fragebögen. In: GESIS Survey Guidelines. Mannheim: Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften, 2015.
- [MERCEDES-BENZ 2020] Mercedes-Benz: <https://www.mercedes-benz.com/de/fahrzeuge/personenwagen/mercedes-benz-konzeptfahrzeuge/vision-avtr/>, Abruf: 03.03.2022.
- [MEUSER & NAGEL 2002] Meuser, M.; Nagel, U.: ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht – Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hrsg.): Das Experteninterview – Theorie, Methode, Anwendung. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2002, S. 71-93.
- [MICHELITSCH ET AL. 2004] Michelitsch, G.; Osen, M.; Williams, J.; Jimenez, B.; Rapp, S.: Haptic Chameleon, In: Proceedings of EuroHaptics 2004, Munich, Germany, S. 340-343.
- [MICROSOFT 2022] Microsoft Corporation: www.microsoft.com, Abruf:03.02.2022.
- [MILLER 1965] Miller, G. A.: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. In: Psychological Review 63, 1965, S. 81-97.
- [MOLES 1961] Moles, A. A.: Produkte: ihre funktionelle und strukturelle Komplexität. In: Les Etudes Philosophiques Nr. 2, La Notion de Quantité en Cybernétique, Paris, 1961.
- [MÖLLER 2017] Möller, S.: Quality Engineering. Qualität kommunikationstechni-

- scher Systeme. 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 2017.
- [NIELSEN 1993] Nielsen J.: Usability Engineering, San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993.
- [NIELSEN 1994] Nielsen, J.: Usability Inspection Methods, Boston: Conference Companion, CHI, 1994.
- [NIELSEN 1995] Nielsen, J.: How to conduct a Heuristic Evaluation, Fremont, CA USA: Nielsen Norman Group, 1995.
- [NIELSEN & MOLICH 1990] Nielsen, J.; Molich, R.: Heuristic Evaluation of user interfaces. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Seattle, USA, 1990.
- [NOVAK & EPPINGER 2001] Novak, S.; Eppinger, S. D.: Sourcing By Design: Product Complexity and the Supply Chain. In: INFORMS (Hrsg.): Management Science / Vol. 47, No.1, 2001, S. 189-204.
- [OPPERMANN & KINSHUK 1997] Oppermann, R.; Kinshuk, R. R.: Adaptability and Adaptivity in Learning Systems. In: Behrooz, A. (Ed.): Knowledge Transfer (Volume II), London: pAce, 1997, S. 173-179.
- [PAHL ET AL. 2007] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Grundlagen. 7. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [PATZAK 1982] Patzak, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1982.
- [PEISSNER2014] Peissner, M.: Entwurfsmusterbasierter Ansatz für adaptive Benutzungsschnittstellen zur Überwindung von Nutzungsbarrieren. Institut für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart, Dissertation, 2014.
- [PETROV2012] Petrov, A.: Usability-Optimierung durch adaptive Bediensysteme. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2012.
- [PEUGEOT 2017] Peugeot AG: <https://www.peugeot.de/marke-und-technologie/innovation/concept-cars/peugeot-instinct-concept.html>, Abruf: 03.02.2022.

- [PONN & LINDEMANN 2011] Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte, Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen, 2. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- [POSNER ET AL. 2012] Posner, B.; Keller, A.; Binz, H.; Roth, D.: Anforderungen an eine Methode zum leichtbaugerechten Konstruieren. In: Entwerfen, Entwickeln, Erleben – Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung, 10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik. Dresden: TUDpress, 2012.
- [PREH 2021] Preh: Intuitives Fahrerarbeitsplatz-Konzept. <https://www.preh.com/produkte/automotive/kombiinstrumentenschalter>, Aufruf: 14.12.2021.
- [PREIM & DACHSELT 2015] Preim, B.; Dachsel, R.: Interaktive Systeme, Band 2, User Interface Engineering, 3D-Interaktion, Natural User Interfaces, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- [RAFI 2021] Rafi: Flexscape – Haptische Bedienelemente – Die Fusion aus Touch und Taktilität. <https://www.rafi-group.com/flexscape/>, Aufruf: 14.12.2021.
- [RACS ET AL. 2022] Racs, M.; Kaufmann, A.; Meiners, A.; Maier, T.: alSA 2.0 – Adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern 2.0. In: 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Potsdam: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (Hrsg.), 2022, S.91-101.
- [RAUNER 2002] Rauner, F.: Berufliche Kompetenzentwicklung – vom Novizen zum Experten. In: Dehnbostel, P. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung in vernetzten Lernstrukturen. Berlin: edition sigma, 2002.
- [REICHELT ET AL. 2021] Reichelt, F.; Holder, D.; Kaufmann, A.; Maier, T.: Strategies for User-Centered Adaptation of Future Vehicles. In: Black, N. L.; Neumann, W. P.; Noy, I. (Eds.): Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021). Cham: Springer International Publishing AG, 2021, S. 798-805.
- [REINEMANN 2020] Reinemann, J.: Entwicklung einer Systematik zur Validierung interaktiver Produkte in Augmented-Reality-Umgebungen in der Frühen Phase im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung. Karlsruher Institut für Technik (KIT), Dissertation, 2020.

- [REISINGER & WILD 2008] Reisinger, J.; Wild, J.: Haptische Bedienschnittstellen. In: Meroth, A., Tolg, B.: Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug – Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen. Wiesbaden: Vieweg Praxiswissen, 2008.
- [RICHTER & FLÜCKIGER 2013] Richter, M.; Flückiger, M.: Usability Engineering kompakt – Benutzbare Produkte gezielt entwickeln. 3.Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.
- [RIEMAN ET AL. 1995] Rieman, J.; Franzke, M.; Redmiles, D.: Usability Evaluation with the Cognitive Walkthrough. In: Computer-Human-Interaction-Conference, Mosaic of Creativity, Denver: 1995.
- [ROGERS ET AL. 2011] Rogers, Y.; Sharp, H.; Preece, J.: Interaction Design: beyond human-computer interaction. John Wiley & Sons, 2011.
- [ROHRMANN 1978] Rohrmann, B.: Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. In: Zeitschrift für Sozialpsychologie. Frankfurt/Main, 1978, S. 222-245.
- [ROOZENBURG & EEKELS 1991] Roozenburg, N. F. M.; Eekels, J.: Product Design: Fundamentals and Methods. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1991.
- [ROSSON & CAROLL 2002] Rosson, M. B.; Carroll, J. M.: Usability Engineering – Scenario-Based Development of Human-Computer Interaction. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [ROTH 2020] Roth, D.: Analyse und Bewertung von Wissen in der Produktentwicklung. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2020.
- [ROUSE 1991] Rouse, W. B.: Design for Success – A Human-Centered Approach To Designing Successful Products and Systems. New York: John Wiley & Sons Inc., 1991.
- [ROWE & WRIGHT 1999] Rowe, G.; Wright, G.: The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. International Journal of Forecasting 15, Amsterdam: Elsevier, 1999, S. 353-375.
- [RUPP 2021] Rupp, C.: Requirements-Engineering und –Management, Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation, 7. aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2021.

- [SAMSUNG 2021] Samsung Electronics:
<https://news.samsung.com/global/everything-you-need-to-know-about-samsungs-digital-cockpit-2021>, Abruf: 03.02.2022.
- [SANDMANN 2014] Sandmann, A: Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- [SARODNICK & BRAU 2011] Sarodnick, F.; Brau, H.: Methoden der Usability Evaluation – Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. 2. Aufl., Bern: Verlag Hans Huber, 2011.
- [SATECOGROUP 2021] Satecogroup: Silikonaktoren.
<https://www.satecogroup.com/de/produkte/aktoren>, Abruf: 13.12.2021.
- [SCHÄFER 2020] Schäfer, P.: 3D Display from Continental Enters Series Production at Hyundai. <https://www.springerprofessional.de/ergonomics--hmi/infotainment/3d-display-from-continental-enters-series-production-at-hyundai/17900750>, Abruf: 13.12.2021.
- [SCHAFMEISTER 2017] Schafmeister, A.: Yanfeng Automotive Interiors bringt Oberflächensensibilität in das Interieur zukünftiger Fahrzeuge – Mehr Funktionalität, Emotionalität und Designfreiheit im Innenraum. In: Pressemitteilung, <https://www.yfai.com/de/yanfeng-automotive-interiors-bringt-oberflaechensensibilitaet-das-interieur-zukuenftiger-fahrzeuge>, Aufruf: 14.12.2021.
- [SCHILLING 2020] Schilling, J.: Didaktik/Methodik Sozialer Arbeit, 8. Auflage, München: Ernst Reinhardt Verlag, 2020.
- [SCHLOTT 2019] Schlott, S.: Lösungen für das Cockpit der Zukunft.
<https://www.springerprofessional.de/ergonomie---hmi/automatisiertes-fahren/loesungen-fuer-das-cockpit-der-zukunft/16963914>, Abruf: 14.12.2021.
- [SCHLICK ET AL. 2018] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 4. Auflage, Berlin: Spriger Vieweg, 2018.
- [SCHMID & MAIER 2017] Schmid M.; Maier T.: Technisches Interface Design – Anforderungen, Bewertung und Gestaltung. Berlin: Springer Vieweg,

- 2017.
- [SCHMIDTKE 1981] Schmidtke, H.: Lehrbuch der Ergonomie, 2. Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 1981.
- [SCHMIDTKE 1989] Schmidtke, H.: Handbuch der Ergonomie – mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden. 2. Auflage, Koblenz: Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr, 1989.
- [SCHÖLKOPF ET AL. 2021] Schölkopf, L.; Kneuper, A.; Hutmann, V.; Diermeyer, F.: Methods for Reducing the Complexity of Driving Workplaces in Commercial Vehicles. In: Neville Stanton (Hrsg.): Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conference on Human Aspects of Transportation, July 25-29, 2021, USA, S. 34 – S. 44.
- [SCHÜPPBACH 2013] Schüppbach, H.: Arbeits- und Organisationspsychologie – Analyse, Bewertung und Gestaltung von Arbeit. Stuttgart: UTB GmbH, 2013.
- [SCHUH & RIESENER 2018] Schuh, G.; Riesener, M.: Produktkomplexität managen – Strategien – Methoden – Tools. 3. Aufl., München: Carl Hanser Verlag, 2018.
- [SCRIVEN 1991] Scriven, M.: Evaluation Thesaurus, Fourth Edition. Newbury Park, CA, USA: SAGE Publications, 1991.
- [SENDER 2008] Sendler, J.: Entwicklung und Gestaltung variabler Bedienelemente für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug. Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden. Dissertation, 2008.
- [SINGH 2006] Singh, Y. K.: Fundamental of Research Methodology and Statistics. New Delhi: New Age International (P) Ltd, Publishers, 2006.
- [SKULMOSKI 2007] Skulmoski, G.; Hartman, F.; Krahn, J.: The Delphi Method for Graduate Research. Informing Science Institute: Volume 6, Journal of Information Technology Education, 2007.
- [SPIES ET AL. 2009] Spies, R.; Peters, A.; Toussaint, C.; Bubb, H.: Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Fahrzeuginfotainmentbedienung. In: Brau, H.; Diefenbach, S.; Hassenzahl, M.; Kohler, K.; Koller, F.; Peissner, M.; Petrovic, K.; Thielsch, M.;

- Ulrich, D.; Zimmermann, D. (Hrsg.): Usability Professionals. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2009, S.74-78.
- [SPRINGER 2021] Axel Springer SE: <https://www.autobild.de/artikel/historische-digital-cockpits-70er-80er-90er-16188971.html>, Abruf: 02.03.22.
- [STAPELKAMP 2007] Stapelkamp, T.: Screen- und Interfacedesign – Gestaltung und Usability für Hard- und Software. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [STEGMAIER 2020] Stegmaier, G.: Gericht verbietet Touchscreenbedienung. Auto Motor Sport. Artikel vom 31.07.2020, Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/tesla-unfall-gerichtsurteil-gegen-touchscreenbedienung-fuer-scheibenwischer/>, Abruf: 08.03.2022.
- [ULTRALEAP 2021a] Ultraleap, Inc.: <https://www.ultraleap.com/haptics/>, 29.11.2021.
- [ULTRALEAP 2021b] Ultraleap, Inc.: <https://www.ultraleap.com/company/news/blog/future-of-automotive-hmi/>, 03.02.2022.
- [VDI 2221-1 2019] VDI 2221 Blatt 1: Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Düsseldorf: VDI 2019.
- [VDI 2222 1997] VDI 2222 Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin: Beuth Verlag, 1997.
- [VDI 2223 2004] VDI 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Berlin: Beuth Verlag, 2004
- [VDI 2225-3 1998] Technisch-wirtschaftliche Konstruieren, Blatt 3: Technisch-wirtschaftliche Bewertung, Düsseldorf: VDI 1998.
- [VDI 2242 2016] VDI 2242 Entwurf: Ergonomiegerechte Gestaltung technischer Erzeugnisse. Berlin: Beuth-Verlag, 2016.
- [VDI/VDE 2206 2021] VDI/VDE 2206: Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme. Berlin: Beuth-Verlag, 2021.
- [VDI/VDE 2258 1987] VDI/VDE 2258: Feinwerkelemente; Bedienelemente mechanisch. Berlin: Beuth Verlag, 1987.
- [VDI/VDID 2424 2021] VDI/VDID 2424 - Entwurf: Industriedesign – Nutzerzentrierte Gestaltung im Produktentwicklungsprozess. Berlin: Beuth-Verlag, 2021.

- [VDI/VDE 3850-1 2014] VDI/VDE 3850-1: Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen – Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen – Blatt 1. Berlin: Beuth-Verlag, 2014.
- [VDI/VDE 3850-2 2017] VDI/VDE 3850-2: Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen – Interaktionsgeräte für Bildschirme – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag, 2017.
- [VDI/VDE 3850-3 2015] VDI/VDE 3850-3: Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen – Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen – Blatt 3. Berlin: Beuth-Verlag, 2015.
- [VERWORN 2017] Verworn, B.: Die frühen Phasen der Produktentwicklung am Beispiel des Maschinenbaus und der Elektrotechnik. In: Herstatt, C.; Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen – Grundlagen – Methoden – Neue Ansätze, 2.Aufl., Wiesbaden: Gabler Verlag, 2017, S. 357-382.
- [WINTERHOLLER 2019] Winterholler, J.: Haptische Informationsübertragung von Drehmomentverläufen im Kontext einer Haupt- und Nebenaufgabe. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Dissertation, 2019.
- [WITKIN & ALTSCHULD 1995] Witkin, B. R.; Altschuld, J. W.: Planning and Conducting needs Assessments – A Practical Guide. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995.
- [WOODOO 2021] Woodoo: <https://www.woodoo.com/>, Aufruf: 14.12.2021.
- [XEELTECH 2021] XeelTech GmbH: <https://www.xeeltech.com/technology/>, 29.11.2021
- [YANFENG 2017a] Yanfeng Europe Automotive Interior Systems Management Limited & Co.KG: <https://www.yfai.com/de/yanfeng-automotive-interiors-und-kostal-zeigen-intelligente-oberflaechen-im-3d-glas-design>, Abruf: 02.03.2022.
- [YANFENG 2017b] Yanfeng Europe Automotive Interior Systems Management Limited & Co.KG: <https://www.yfai.com/de/yanfeng-automotive-interiors-bringt-oberflaechensensibilitaet-das-interieur->

zukuenftiger-fahrzeuge, Abruf: 02.03.2022.

[ZÜHLKE 2012]

Zühlke, D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme. 2. Auflage, Berlin: Springer, 2012.

Zitierte studentische Arbeiten unter Anleitung des Verfassers / Verfasserin

- [GADERMANN 2020] Gadermann, L.: Methodische Entwicklung eines adaptiven Interfaceelements. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, Universität Stuttgart, Studienarbeit (unveröffentlicht), 2020.
- [BRAUN 2021] Braun, R.: Entwicklung einer haptischen, adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle unter Verwendung eines methodischen Ansatzes. Institut für Technisches Design, Universität Stuttgart, Masterarbeit (unveröffentlicht), 2021.

Anhang

A1 Entwicklungsprojekte adaptiver Interfaces

		Jahr	Kurzbeschreibung	Quelle
1	Touchscreen	1986	Einführung einer adaptiven Touchbedienung im PKW.	[SPRINGER 2021]
2	HapKeys	2003	Haptische Rückmeldung in flexibel konfigurierbaren Schaltelementen.	[DOERRER 2003]
3	Haptic Chameleon	2004	Formveränderliche Bedienelemente.	[MICHELITSCH ET AL. 2004]
4	Variables Bedienelement	2008	Formvariables Bedienelemente für die BF Drehen und Schieben.	[SENDER 2008]
5	Adaptives Touchpad	2009	Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche	[SPIES ET AL. 2009]
6	Logitech M705 Marathon	2010	Adaptierbares rastloses und gerastetes Scrollen bei einer Computermaus.	[LOGITECH 2010]
7	Siri	2011	Adaptiver, interaktiver Sprachassistent.	[APPLE 2022]
8	Adaptiv multifunktionale Stellteile	2011	Adaptive, haptische Anzeige durch Drehmomentadaptation.	[HAMPEL 2011]
9	Adaptiv variable Stellteile	2012	Adaptiv variables Stellteil durch Formveränderlichkeit.	[PETROV 2012]
10	SpaceMouse	2013	3D-Maus mit adaptiver Anpassung z. B. an unterschiedliche CAD-Software.	[3DCONNEXION 2013]
11	Adaptive Benutzungsschnittstellen	2014	Benutzungsschnittstelle, die sich adaptiv an die Useranforderungen anpasst.	[PEISSNER2014]
12	Microsoft Surface 3	2015	Situationsadaptiver Wechsel zw. realer und virtueller Bedienung als Convertible Notebook.	[MICROSOFT 2022]
13	Logitech G29 Force Feedback	2015	Gaming-Lenkrad mit adaptiver Drehmomentanpassung an die Fahrsituation.	[LOGITECH 2015]
14	BMW next 100	2016	Ausfahrbares Lenkrad und adaptive Bedienelement und Anzeigen im PKW.	[BMW 2016]
15	Adaptives Schnittstellendesign	2017	Adaptives Schnittstellendesign für verbesserte Computerzugänglichkeit und Rehabilitation.	[LIN ET AL. 2017]
16	Feldschwarm HMI	2017	Adaptive Anpassung des Funktionsangebots des GUIs in mobilen Maschinen.	[LORENZ ET AL. 2019]
17	Responsive i-Cockpit	2017	Adaptive Anpassung des Fahrzeuginnenraums an das autonome Fahren.	[PEUGEOT 2017]
18	Byton M-Byte	2017	Adaptive Useranpassung durch personalisierte Einstellungen inklusive Gestensteuerung.	[BYTON 2017]
19	Audi Aicon	2017	Adaptive Positionierungsmöglichkeiten der Interfaces im PKW-Türbereich.	[AUDI 2017]
20	Woodoo	2017	Transparente, berührungsempfindliche Holzoberfläche, die ad. Anpassungen ermöglicht.	[WOODOO 2021]
21	Yanfeng activeSkin	2017	Smart Surfaces auf textilen Oberflächen.	[YANFENG 2017b]

Tabelle A.1: Auflistung der analysierten Forschungsprojekte (Teil 1/3)

		Jahr	Kurzbeschreibung	Quelle
22	Yanfeng-KOSTAL-Modul	2017	Mittelkonsole mit frei gestaltbarer 3D-Glasoberfläche.	[YANFENG 2017a]
23	Gestaltvariable Bedienelemente	2018	Gestaltvariable Bedienelemente zur adaptiven Anpassung an ältere Usergruppen.	[JANNY 2018]
24	INTUSI	2018	Multifunktionsarmlehne mit Assistenzsystem u. ad. Funktionsanpassung für Baumaschinen.	[LIEBHERR 2018]
25	CCI 1200	2018	Multitouch-System im Traktor mit ad. GUI-anpassung an unterschiedliche Arbeitsgeräte.	[CCI 2018]
26	Flexscape	2018	Reale Bedienelemente passen sich adaptiv an eine Touchscreenumgebung an.	[RAFI2021]
27	Morphing Controls	2018	Bei Annäherung mit der Hand erscheinen BE und stehen zur Bedienung bereit.	[GELOVICZ 2018]
28	Adaptives Assistenzsystem	2019	Ad. Assistenzsystem zur Armunterstützung in der minimalinvasiven Chirurgie.	[KARLOVIC 2019]
29	Adaptiver Handgriff	2019	Adaptiver Rollator-Handgriff zur anthropometrischen Anpassung an die Hand.	[LAßMANN ET AL. 2019]
30	CCI A3	2019	Joystick mit virtuellen und realen BE und aufsteckbaren Gittern zur ad. Anpassung.	[CCI 2019]
31	Haptische Informationsübertragung	2019	Haptische Informationsübermittlung anhand von Drehmomentverläufen.	[WINTERHOLLER 2019]
32	Hyundai 45 EV	2019	Bedienung mit Hilfe von Projektionsstrahlen im PKW.	[HYUNDAI 2019]
33	Audi AI: Trail quattro	2019	Adaptiver Smartphone-Einsatz als Display im PKW.	[AUDI 2019b]
34	Silikonaktor	2019	Bedienelemente mit haptischem Feedback und Möglichkeit zur Formveränderlichkeit.	[SATECOGROUP 2021]
35	Audi AI: ME	2019	Adaptive Nutzungsveränderlichkeit des Lenkrads als Tisch im PKW.	[AUDI 2019a]
36	aISA	2020	Adaptive Interfaceanpassung an verschiedene Bedienszenarien im Ackerschlepper.	[KAUFMANN ET AL. 2020]
37	3D-Displays	2020	Adaptive Displayanpassung an die Blickrichtung des Betrachters.	[SCHÄFER 2020]
38	Bentley Flying Spur	2020	Adaptive Anpassung des PKW-Displays.	[BENTLEY 2020]
39	Mercedes Vision AVTR	2020	Auf Hand projiziertes Bedienfeld zur PKW-Infotainmentbedienung.	[MERCEDES-BENZ 2020]
40	BMIW i Interaction EASE	2020	Multimodale Bedienung mit Eye-Tracking u. SmartSurfaces d. Gesten- u. Sprachsteuerung.	[DESIGN WORKS 2020]
41	BOWA ARC	2021	Adaptives Display mit intuitiver Bedienung.	[BOWA 2021]
42	Ultrahaptics	2021	BE und Anzeige mit programmierbaren Ultraschallwellen.	[ULTRALEAP 2021a]
43	Adaptive Volume	2021	Sprachassistent mit adaptiver Lautstärkeregelung der Sprachausgabe.	[AMAZON 2021]

Tabelle A.1: Auflistung der analysierten Forschungsprojekte (Teil 2/3)

		Jahr	Kurzbeschreibung	Quelle
44	Fahrerkabine 4.0	2021	Beanspruchungsadaptive Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber.	[FAHRERKABINE 4.0 2021]
45	Hapticore	2021	Adaptiver Drehgeber mit programmierbarem mechanisch-haptischen Feedback.	[XEELTECH 2021]
46	Intuitives Fahrer-arbeitsplatzkonzept	2021	Hybrides Bediensystem mit kombinierten realen und virtuellen BE.	[PREH 2021]
47	Digital Cockpit	2021	Adaptive Anpassung der Displayposition.	[SAMSUNG 2021]
48	Dual Stack Rotary Control	2021	Ein- und ausfahrbarer hybrider Drehregler mit Display.	[GHSP 2021]
49	Ultraleap Hapticons	2021	Gestengesteuerte virtuelle BE mit haptischer Informationsübermittlung.	[ULTRALEAP 2021b]
50	aISA 2.0	2021	Serienreife Entwicklung adaptiver Bedienmodule für Traktor-Bedienarmlehnen.	[RACS ET AL. 2022]

Tabelle A.1: Auflistung der analysierten Forschungsprojekte (Teil 3/3)

A2 Fragebogen der Delphi-Expertenbefragung Teil 1

Nr.	Inhalt		Formulierung bzw. Beschreibung	Antwortmöglichkeiten
1	Einleitung		Ich bin einverstanden mit der Erhebung, Speicherung und Vewertung meiner Daten in anonymisierter Form.	Ich stimme zu.
	Datenschutz-erklärung			
2	Demografie	Alter	Wie alt sind Sie?	Freies Feld
3		Geschlecht	Geschlecht	weiblich, männlich, divers
4	Berufliche Tätigkeiten	Branche	In welcher Branche sind Sie tätig?	Branchen wählbar + freies Feld
5		Abteilung	In welcher Abteilung sind Sie tätig?	Abteilungen wählbar + freies Feld
6		Dauer	Wie lange arbeiten Sie bereits im Unternehmen / Institut?	>1, 1-3, 3-5, 5-10, > 10 Jahre
7	Kompetenz	Kenntnisse	Wie gut kennen Sie sich in den folgenden Themenbereichen aus?	siehe Tabelle 4.1
8		Expertenkenntnisse	Wie lange beschäftigen Sie sich bereits mit den Bereichen mit Expertenkenntnissen?	>1, 1-3, 3-5, 5-10, > 10 Jahre
Beispielhafte Erklärungen zum Thema Adaptivität, adaptiven Bedienelementen und Adaptivitätsmerkmalen, wie in Kapitel 2.7 und 3.1.1				
9	Methodenexistenz	Abfrage zur allgemeinen Kenntnis von Methoden	Gibt es in Ihrem Unternehmen / Institut eine einheitliche Vorgehensweise zur Entwicklung von Interfacesystemen bzw. ist Ihnen eine solche bekannt? Unter Vorgehensweise ist auch eine Art Methodik, Ablaufplan, Checkliste, Guideline oder Vergleichbares zu verstehen, woran sich vor und während des Entwicklungsprozesses orientiert werden kann.	ja oder nein
10		Benennung und Beschreibung der bekannten Methoden	Bitte benennen und beschreiben Sie diese Vorgehensweise zur Entwicklung von Interfacesystemen.	Freie Felder
11				
12				
13	Methodenbeschreibung	Detaillierte Benennung und Beschreibung der genannten Methoden	Was ist Ihre Einschätzung hinsichtlich der Methode aus Frage 10, 11 und 12:	5-stufige Likert-Skala von „ich stimme nicht zu“ bis „ich stimme absolut zu“ + freies Feld für Verbesserungspotenzial
14			Der Nutzen der Vorgehensweise ist hoch. Es besteht Verbesserungspotenzial an der Vorgehensweise.	
15			Eine strukturierte, eindeutige und einheitliche Vorgehensweise hätte einen Mehrwert. Die Vorgehensweise ist vollkommen zufriedenstellend.	

Tabelle A.2: Fragebogen der Experteninterviews Frage 1-15 (Teil 1/4)

Nr.	Inhalt	Formulierung bzw. Beschreibung	Antwortmöglichkeiten	
16	Methodenexistenz	Abfrage zur allgemeinen Kenntnis von Methoden zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen	Gibt es in Ihrem Unternehmen / Institut eine einheitliche Vorgehensweise zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen bzw. ist Ihnen eine solche bekannt? Die hier genannte Vorgehensweise unterscheidet sich von der in Frage 9 abgefragten Vorgehensweise.	
17		Benennung und Beschreibung der bekannten Methoden		Bitte benennen und beschreiben Sie diese Vorgehensweise zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen.
18				
19				
20	Methodenbeschreibung	Was ist Ihre Einschätzung hinsichtlich der Methode aus Frage 17, 18 und 19:	5-stufige Likert-Skala von „ich stimme nicht zu“ bis „ich stimme absolut zu“ + freies Feld für Verbesserungspotenzial	
21		Der Nutzen der Vorgehensweise ist hoch.		
22		Es besteht Verbesserungspotenzial an der Vorgehensweise. Eine strukturierte, eindeutige und einheitliche Vorgehensweise hätte einen Mehrwert. Die Vorgehensweise ist vollkommen zufriedenstellend.		
23	Abfrage Mehrwert	Mehrwert von potenziellen Entwicklungsmethoden	Wie ist Ihre Einschätzung hinsichtlich einer solchen Vorgehensweise / Methodik?	5-stufige Likert-Skala von „kein“ bis „sehr hoher“ Mehrwert Ergebnisse siehe Tabelle 4.4
			Eine einheitliche und grundlegende Vorgehensweise zur Entwicklung von Interfacesystemen wäre ein Mehrwert. Eine einheitliche und grundlegende Vorgehensweise zur Entwicklung von adaptiven Interfacesystemen wäre ein Mehrwert.	
24	Parametrisierung	Generierung von Parametern	Was sind ihrer Meinung nach Parameter, die die Entwicklung von IS beeinflussen bzw. bei der Entwicklung beachtet werden sollten?	Freie Felder Ergebnisse siehe Kapitel 4.1.8
25			Was sind ihrer Meinung nach Parameter, die die Entwicklung von adaptiven IS beeinflussen bzw. bei der Entwicklung beachtet werden sollten?	
Beispielhafte Erklärungen zum Thema virtuelle und reale Bedienung, wie in Kapitel 2.1 und 2.2				
26	Methodenexistenz	Kenntnis von Methoden zur Kategorisierung von BF in IFT	Gibt es in Ihrem Unternehmen / Institut eine Vorgehensweise zur Einteilung von Interfacetechnologien?	ja oder nein

Tabelle A.2: Fragebogen der Experteninterviews Frage 16-26 (Teil 2/4)

Nr.	Inhalt	Formulierung bzw. Beschreibung	Antwortmöglichkeiten
27	Benennung und Beschreibung der bekannten Methoden	Bitte benennen und beschreiben Sie diese Vorgehensweise zur Einteilung von Interfacetechnologien.	Freie Felder
28			
29			
30	Detaillierte Benennung und Beschreibung der genannten Methoden	Was ist Ihre Einschätzung hinsichtlich der Methode aus Frage 27, 28 und 29:	5-stufige Likert-Skala von „ich stimme nicht zu“ bis „ich stimme absolut zu“
31		Der Nutzen der Vorgehensweise ist hoch.	
		Es besteht Verbesserungspotenzial an der Vorgehensweise.	
		Eine strukturierte, eindeutige und einheitliche Vorgehensweise hätte einen Mehrwert.	
32	Die Vorgehensweise ist vollkommen zufriedenstellend.		
33	Mehrwert von potentiellen Entwicklungsmethoden	Wie ist Ihre Einschätzung hinsichtlich einer solchen Vorgehensweise / Methodik?	5-stufige Likert-Skala, von „kein“ bis „sehr hoher“ Mehrwert Ergebnisse siehe Tabelle 4.4
		Eine einheitliche und grundlegende Vorgehensweise zur Kategorisierung von Interfacetechnologien wäre ein Mehrwert.	
34	Potenzial realer, adaptiver Interfaces	Worin sehen Sie das Potenzial realer, adaptiver Interfacesysteme? Übersichtlichkeit, Intuitive Nutzung, Geschwindigkeit der Bedienung, Sicherheit, Individualisierbarkeit, Flexibilität, Joy of Use, Einfachheit, Effizienz, Effektivität, Lernförderlichkeit, Fehlerrobustheit, Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Aufgabenangemessenheit, Steuerbarkeit	5-stufige Likert-Skala von „kein Potenzial“ bis „sehr hohes Potenzial“
35	Potenzial virtueller, adaptiver Interfaces	Worin sehen Sie das Potenzial virtueller, adaptiver Interfacesysteme? Übersichtlichkeit, Intuitive Nutzung, Geschwindigkeit der Bedienung, Sicherheit, Individualisierbarkeit, Flexibilität, Joy of Use, Einfachheit, Effizienz, Effektivität, Lernförderlichkeit, Fehlerrobustheit, Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Aufgabenangemessenheit, Steuerbarkeit	5-stufige Likert-Skala von „kein Potenzial“ bis „sehr hohes Potenzial“

Tabelle A.2: Fragebogen der Experteninterviews Frage 27-36 (Teil 3/4)

Nr.	Inhalt	Formulierung bzw. Beschreibung	Antwortmöglichkeiten
36	Private Präferenzen Abfrage privater Präferenzen hinsichtlich der bevorzugten IFT	Bevorzugen Sie im privaten Bereich in den folgenden Bereichen eher reale oder virtuelle Interfaces? Automobil, Fahrrad, Küchengeräte, Herd, Smart Device, Stereoanlage, Fitnesstracker, Laufband, Bohrmaschine, Staubsauger.	Reale oder virtuelle Bedienelemente
37	Parameterisierung Generierung von Parametern	Welche Parameter sind für Sie entscheidend, ob virtuelle oder reale Bedienelemente eingesetzt werden?	Freie Felder Ergebnisse siehe Kapitel 4.1.9
38	Zukunftsprognosen Subjektive Einschätzung vom zukünftigen Einsatz virtueller und realer Bedienelemente in unterschiedlichen Branchen.	Inwieweit werden im Zuge der Automatisierung virtuelle oder reale Bedienelemente in folgenden Branchen verschwinden? Automobilindustrie, Luftfahrt, Landtechnik, Medizintechnik, mobile Arbeitsmaschinen, branchenübergreifend.	Reale oder virtuelle Bedienelemente
39			
40			
41			
42			
43			
44	Anwendungsbereiche realer adaptiver Interfacesysteme. Worin sehen Sie ein sinnvolles Anwendungsgebiet von realen, adaptiven Interfacesystemen? Automobil, Fahrrad, Baumaschinen, Traktoren, Luftfahrt, Küchengeräte, Spielekonsolen, TV- und Audiogeräte, Laptop/Tablets, Bohrmaschinen, Haushaltsgeräte, Sportgeräte.	5-stufige Likert-Skala von „nicht sinnvoll“ bis „sinnvoll“	

Tabelle A.2: Fragebogen der Experteninterviews Frage 37-44 (Teil 4/4)

A3 Ergebnisse der Delphi-Expertenbefragung Teil 2

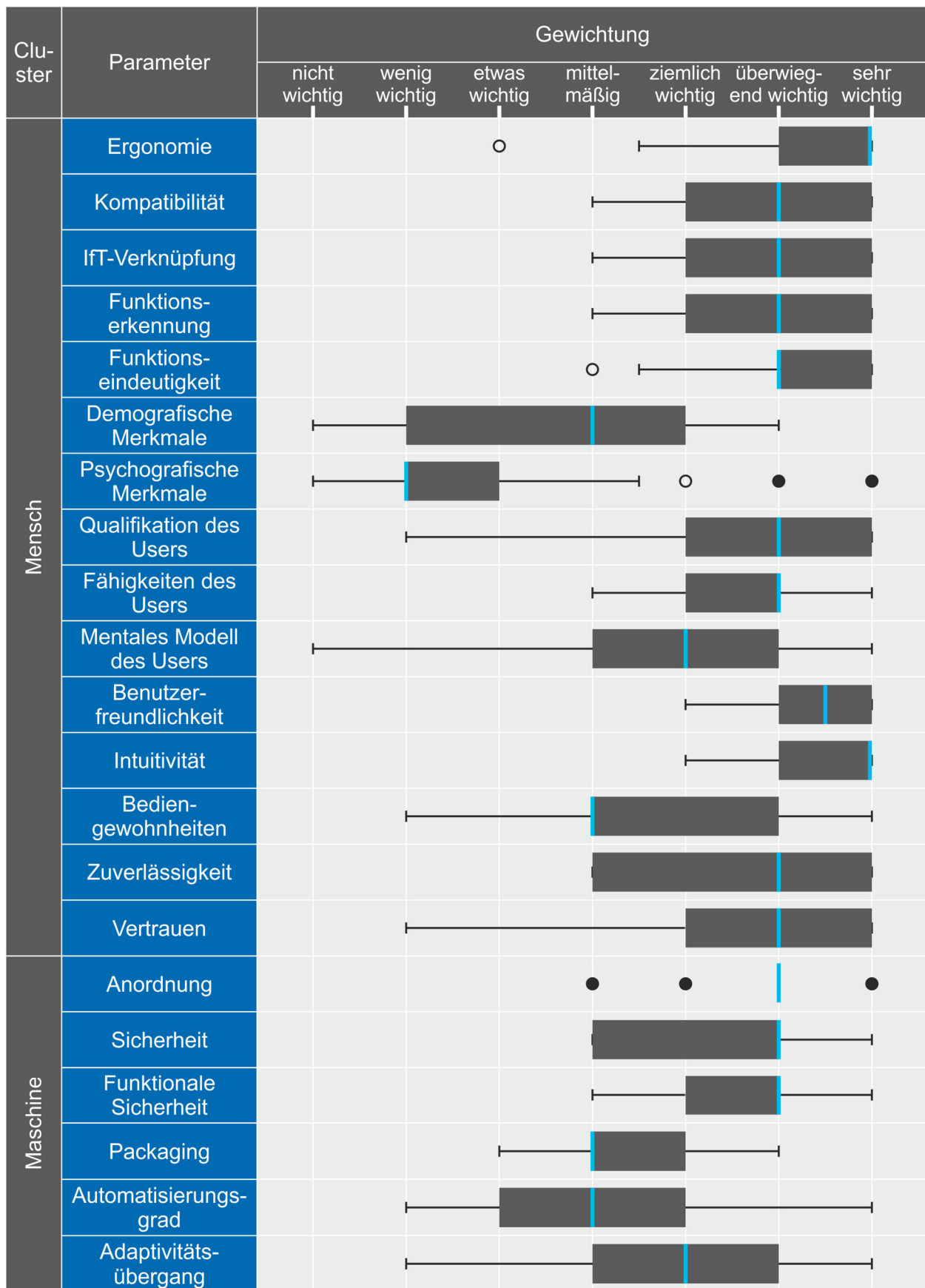


Tabelle A.3: Durchschnittliche Parametergewichtung (Teil 1/3)

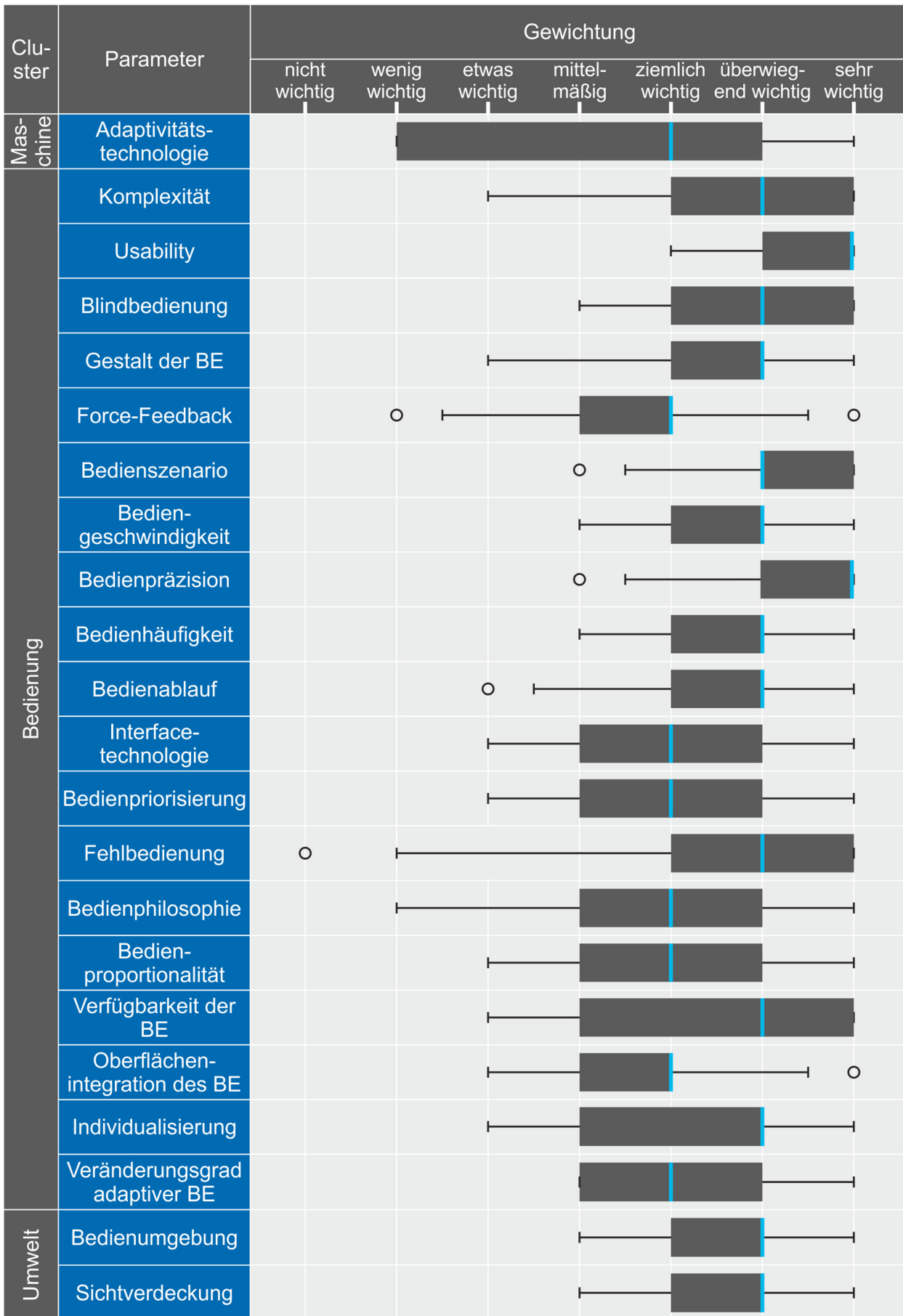


Tabelle A.3: Durchschnittliche Parametergewichtung (Teil 2/3)

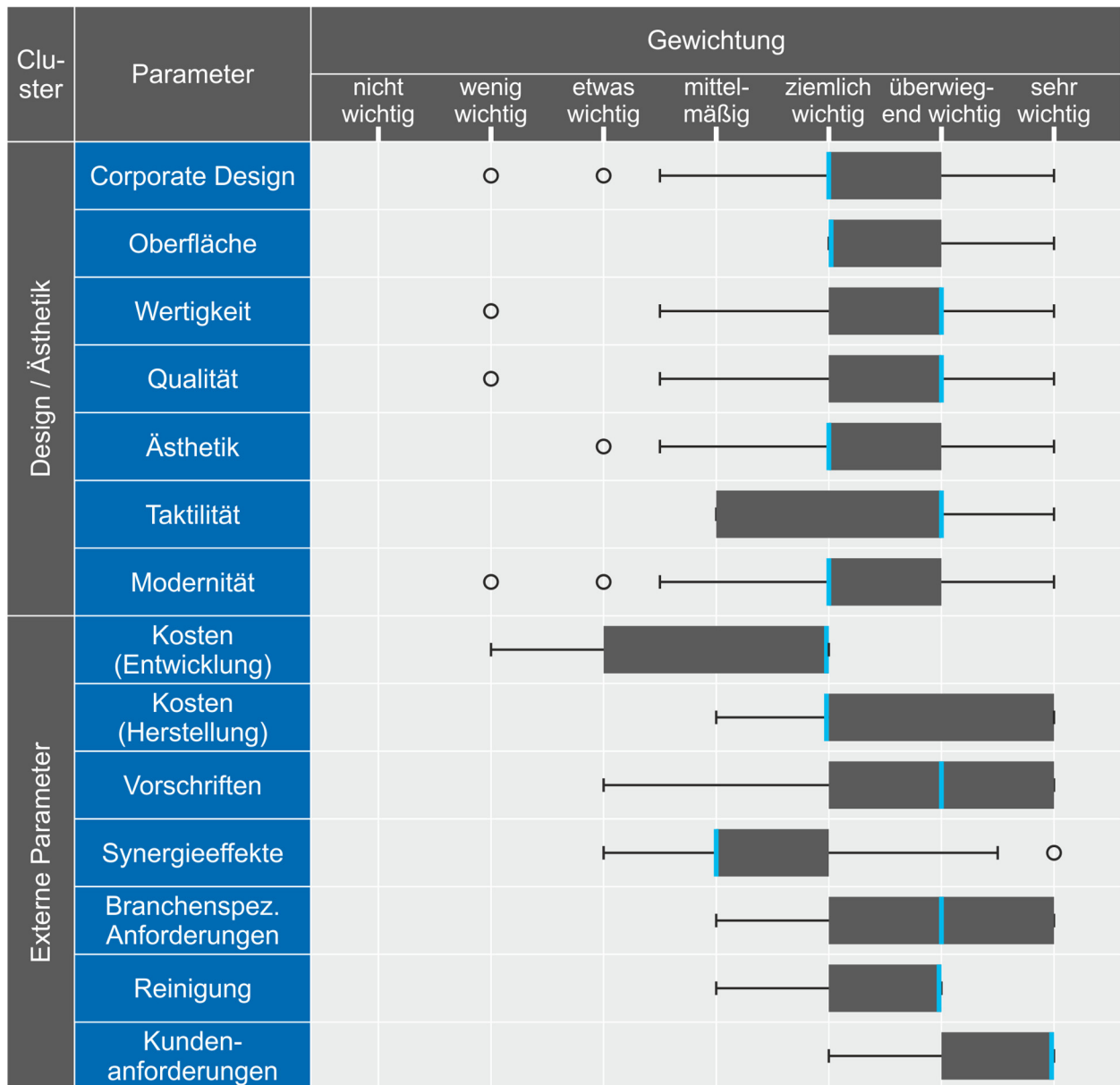


Tabelle A.3: Durchschnittliche Parametergewichtung (Teil 3/3)

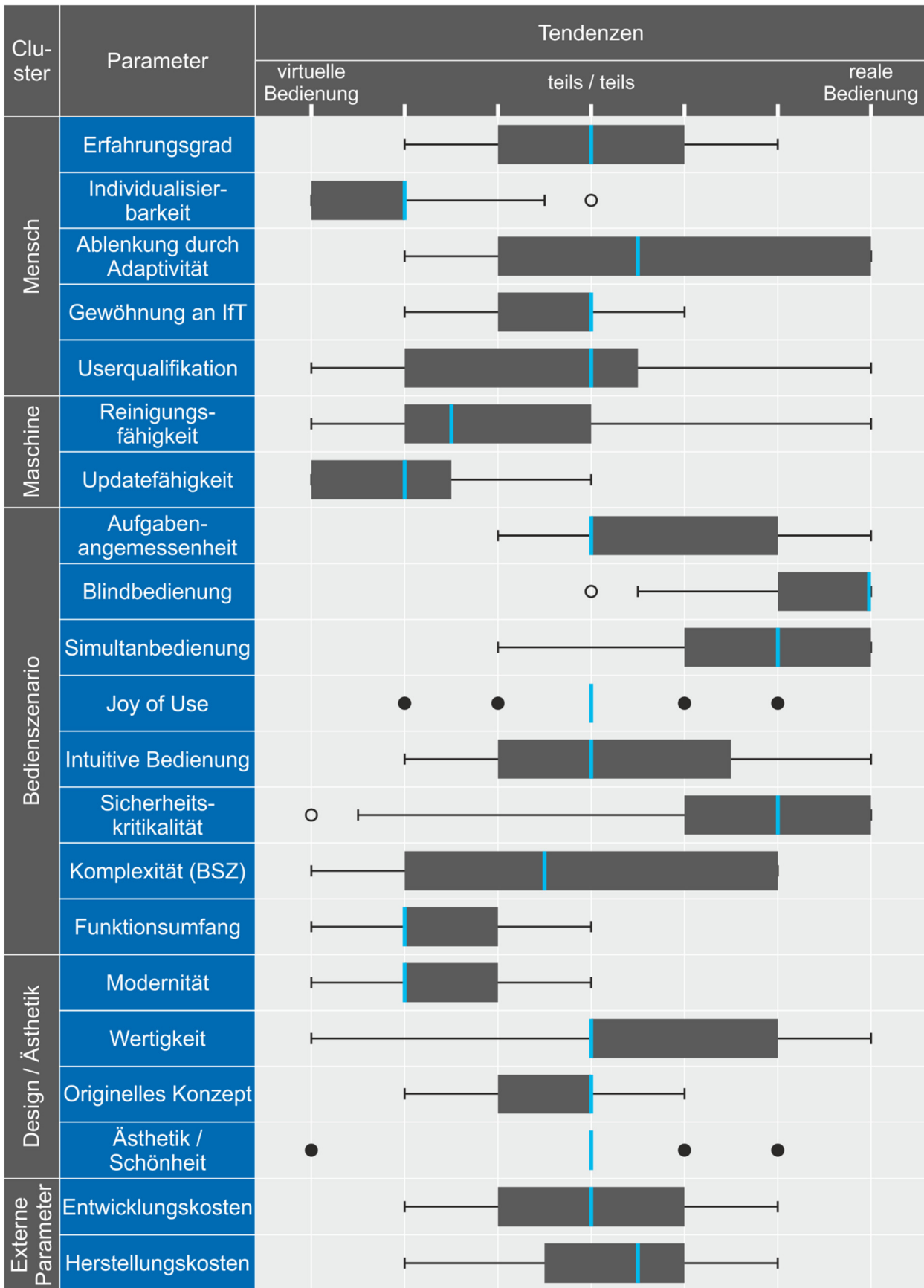


Tabelle A.4: Durchschnittliche IFT-Tendenzen der Parameter (Teil 1/2)

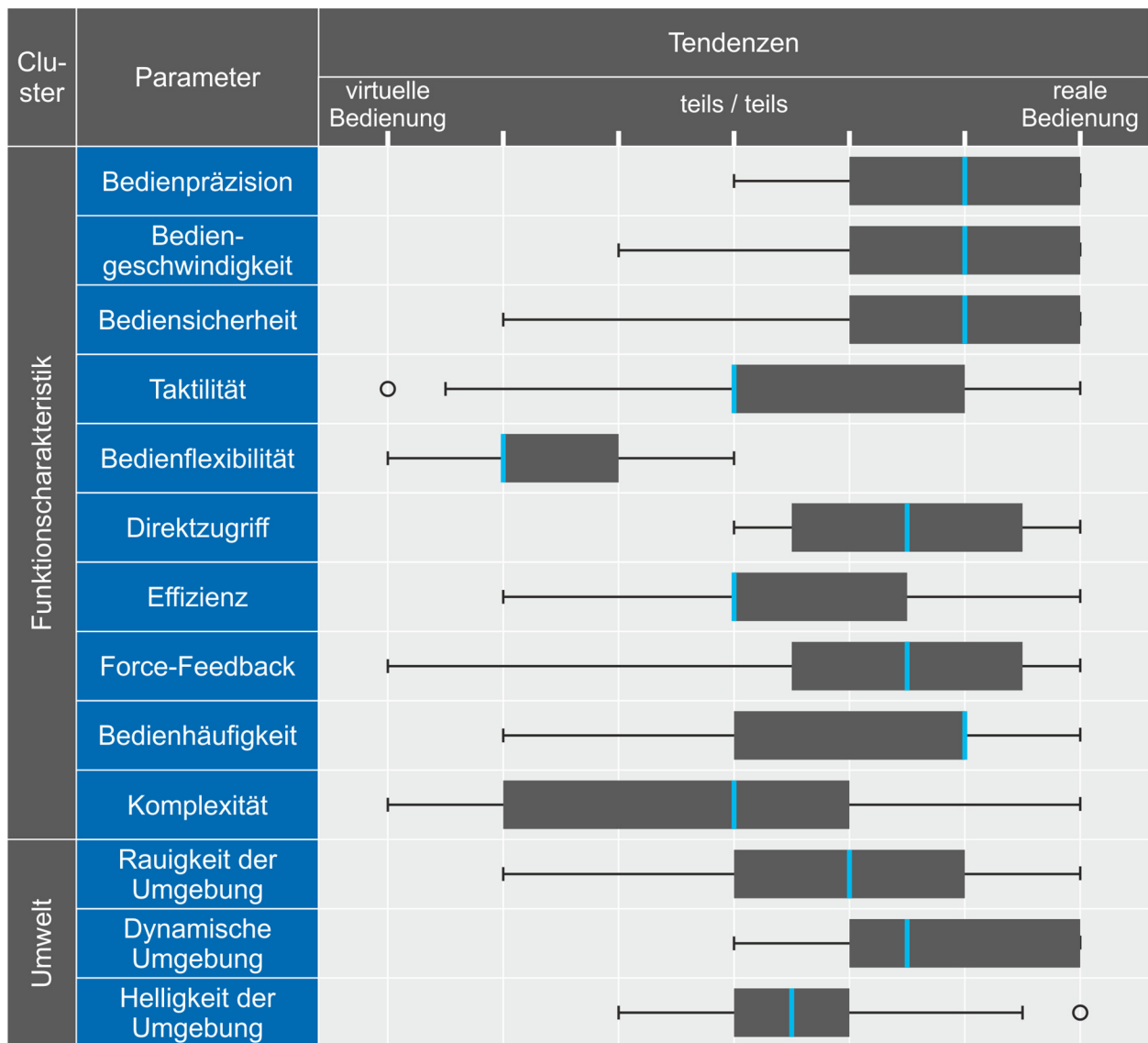


Tabelle A.4: Durchschnittliche IfT-Tendenzen der Parameter (Teil 2/2)

A4 Methodik

Parameter	Beschreibung
Usability	Wert der Usability im Projekt.
Ergonomie	Wichtigkeit der ergonomischen Gestaltung des Interfaces.
Intuitivität	Fokus der intuitiven Bedienung im Projekt.
Benutzerfreundlichkeit	Wichtigkeit der Benutzerfreundlichkeit im Projekt.
Funktionserkennung	Bedeutung der Funktionserkennung im Projekt.
Funktions-eindeutigkeit	Wichtigkeit der Funktionseindeutigkeit im Projekt.
Anordnung	Wert der Anordnung der BE.
BSZ	Fokus auf die BSZ im Projekt.
Bedienpräzision	Notwendigkeit einer exakten Bedienung der BF.
Blindbedienung	Wichtigkeit die BF mit geringem oder keinem Blickkontakt ausführen zu können.
Komplexität	Bedeutung der Komplexität während der Projektentwicklung.
Bedien-umgebung	Einfluss der Bedienumgebung auf das Projekt.
Bedien-geschwindigkeit	Der Fall einer dringenden Bedienung ist möglich, die Stellteile müssen demnach unverzüglich bedient werden.
Bedienhäufigkeit	Einfluss der Häufigkeit der Bedienung im Projekt.
Verfügbarkeit der BE	Verfügbarkeit der BE spielt eine Rolle bei der Gestaltung des Interfaces.
Kompatibilitäten	Wichtigkeit der X-Kompatibilitäten im Projekt.
Fähigkeiten des Users	Berücksichtigung der Fähigkeiten der Usergruppe.
Qualifikation des Users	Bedeutung der Userqualifikation in der Projektanwendung.
Kunden-anforderungen	Berücksichtigung der Kundenanforderungen durch die Anwendung der FG..
Branchenspe-zifische Anford.	Berücksichtigung der branchenspezifischen Anforderungen durch die Anwendung der FG.

Tabelle A.5: Parameterbeschreibung FG

Parameter	Beschreibung
Blindbedienung	Wichtigkeit die BF mit geringem Blickkontakt oder sogar ohne Blickkontakt auszuführen.
Individualisierbarkeit	Einstellmöglichkeiten auf den jeweiligen Nutzer zur Bedienunterstützung und/oder als Komforteinstellung.
Updatefähigkeit	Möglichkeit das Interface zu aktualisieren. Funktions-, Ästhetik-, oder Usabilityaktualisierungen.
Bedienpräzision	Notwendigkeit einer exakten Bedienung der BF. Eine Skala von 0-100 einzustellen bedarf einer höheren Präzision als ein Ein/Aus.
Bediensicherheit	Eine sichere Bedienung der Stellteile hat eine hohe Relevanz. Fehlbedienungen und Verwechslungen sollten ausgeschlossen sein.
Bedienflexibilität	Eine Veränderung der Bedienung ist erwünscht. Form, Farbe, Grafik, etc. der Stellteile ist veränderlich.
Simultanbedienung	Die Notwendigkeit Funktionen parallel bedienen zu können. Bsp. der Notwendigkeit einer redundanten Bedienung.
Modernität	Es wird auf ein modernes Interface Wert gelegt, welches z. B. aktuelle Trends hinsichtlich der Interfacegestaltung berücksichtigt.
Funktionsumfang	Viele Funktionen und Bedienabläufe sind im jeweiligen BSZ auszuführen.
Bediengeschwindigkeit	Der Fall einer dringenden Bedienung ist möglich, die Stellteile müssen demnach unverzüglich bedient werden.
Dynamische Umgebung	Sich häufig ändernde BSZ oder Umgebungen (Schwingungen oder Vibrationen) können auftreten.
Prä-Bedienung	Bedienung findet im Stillstand, vor der Arbeitsfahrt, statt.
Intra-Bedienung	Bedienung findet in Bewegung, während der Arbeitsfahrt, statt.
Post-Bedienung	Bedienung findet im Stillstand, nach der Arbeitsfahrt, statt.

Tabelle A.6: Parameterbeschreibung FZM

	0	1	2	3	4
Anzahl an Stellteilen	0	1 - 7	8 - 49	50 - 100	> 100
	Stellteile	Stellteile	Stellteile	Stellteile	Stellteile

Tabelle A.7: Wertebereich Anzahl an Stellteilen (AS)

	0	1	2	3	4
Anzahl an Funktionen pro Stellteil	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø 4	Ø > 4
	Funktion pro Stellteil	Funktionen pro Stellteil	Funktionen pro Stellteil	Funktionen pro Stellteil	Funktionen pro Stellteil

Tabelle A.8: Wertebereich Anzahl der Funktionen pro Stellteil (AFS)

	0	1	2	3	4
Korrelation zwischen den Stellteilen	0	Ø 1	Ø 2	Ø 3	Ø > 3
	Korrelation zwischen Stellteilen	Korrelation zwischen Stellteilen	Korrelationen zwischen Stellteilen	Korrelationen zwischen Stellteilen	Korrelationen zwischen Stellteilen

Tabelle A.9: Wertebereich Korrelation der Stellteile (KS)

	0	1	2	3	4
Varietät der Stellteile	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
	unter-schiedliche Stellteiltypen	unter-schiedliche Stellteiltypen	unter-schiedliche Stellteiltypen	unter-schiedliche Stellteiltypen	unter-schiedliche Stellteiltypen

Tabelle A.10: Wertebereich Varietät der Stellteile (VS)

A5 Evaluation

			Erfüllungs- grad	ZW ErG Methodik	EvP1	EvP2	EvP3	EvP4	EvP5	EvP6	
Normativität	Überprüfbarkeit		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
		Wiss.Sinn -haftigkeit	Objektivität	◐	0,67 2,67	0 0	0 0	1 4	1 4	1 4	1 4
	Zuverlässigkeit		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
Did- aktik	Na.v o.z.	Wiederholbar- keit	●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
Konkurrenzfähigkeit	Praxisrelevanz		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
			◐	0,88 3,5	1 4	0,75 3	1 4	1 4	1 4	0,5 2	
	Nützlichkeit	Effektivität		●	0,92 3,67	1 4	0,75 3	1 4	1 4	1 4	0,75 3
				●	0,92 3,67	1 4	0,75 3	1 4	1 4	1 4	0,75 3
	Effizienz		◐	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	
			◐	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	0,75 3	
Res- ultat	Adaptivität		●	0,92 3,67	1 4	0,75 3	1 4	1 4	1 4	0,75 3	
Fokussierung	Fokusdefinition		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
	Fokus- berechnung		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	
	Fokus- anwendung		●	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	

Tabelle A.11: Evaluationsergebnisse der summativen Evaluation

		Anforderungen	Gesamterfüllungsgrad	ZW ErG Methodik	PA	FE	HE	SE
		Teilanforderungen						
Normativität	Überprüfbarkeit			1 4				1 4
	Wissenschaftl. Sinnhaftigkeit	Objektivität		0,67 2,67				0,67 2,67
		Zuverlässigkeit		1 4				1 4
		Gültigkeit		0,93 3,7		0,93 3,7		
Didaktik	Nachvollziehbarkeit	Verständlichkeit		0,89 3,57			0,89 3,57	
		Wiederholbarkeit		1 4				1 4
		Erlernbarkeit		0,97 3,88			0,97 3,88	
		Anwendbarkeit		0,74 2,98			0,74 2,98	
Unsicherheit	Strukturierung			0,88 3,5			0,88 3,5	
	Flexibilität			1 4			1 4	
	Kompatibilität	Komplexität		0,81 3,25			0,81 3,25	
		Kompatibilität		0,82 3,28			0,82 3,28	
Konkurrenzfähigkeit	Praxisrelevanz			0,91 3,63	0,88 3,5			0,94 3,75
	Nützlichkei	Effektivität		0,91 3,64		0,81 3,25	1 4	0,92 3,67
		Effizienz		0,74 2,96		0,69 2,75	0,78 3,13	0,75 3
A.g.	Problemspezifität			0,85 3,38		0,8 3,2	0,89 3,57	
Resultat	Adaptivität			0,92 3,67				0,92 3,67
Parametrisierung	Parameterdefinition			1 4	1 4			
	Parameterverifizierung			1 4	1 4			
	Parameterumsetzung			0,69 2,75		0,69 2,75		
Fokussierung	Fokusdefinition			1 4				1 4
	Fokusberechnung			1 4				1 4
	Fokus-anwendung			0,88 3,5		0,75 3		1 4

Tabelle A.12: Berechnung der ErG in der Gesamtevaluation

Lebenslauf

Persönliche Angaben:

Name: Andreas Kaufmann
Geburtsdatum: 26.10.1988
Geburtsort: Ulm-Söflingen
Staatsangehörigkeit: deutsch

Ausbildung:

09/1999 - 07/2008 Bertha-von-Suttner-Gymnasium Neu-Ulm, Naturwissenschaftlich-technologisches und Sprachliches Gymnasium mit dem Abschluss der Allgemeinen Hochschulreife
10/2008 - 03/2012 Bachelorstudium Technologiemanagement an der Universität Stuttgart
11/2011 - 04/2012 Bachelorarbeit am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart
10/2012 - 03/2016 Masterstudium Technologiemanagement an der Universität Stuttgart
05/2015 - 11/2015 Masterarbeit am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart

Beruflicher Werdegang:

07/2014 - 12/2014 Praktikum bei der Daimler AG im Bereich Qualitätsmanagement Powertrain
06/2016 - 08/2022 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD), Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart

ISBN-13: 978-3-946924-18-0