

Entwicklung und Gestaltung variabler Bedienelemente für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug

Von der Fakultät Maschinenwesen
der Technischen Universität Dresden

zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)
angenommene Dissertation

von

Dipl.-Ing. Jochen Sandler

geboren am 29.04.1978 in Bottrop

Tag der Einreichung: 22.08.2007

Tag der Verteidigung: 31.03.2008

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
Prof. Dr. phil. habil. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer
Dr.-Ing. Bernhard Straub

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Georg Marquardt

Meinen Eltern

Abstract

Angesichts der steigenden Anzahl von Funktionen in Fahrzeugen, insbesondere im Pkw, sind neue Bedien- und Anzeigesysteme notwendig, die eine optimale Bedienbarkeit der Funktionen sicherstellen und die Ablenkung des Fahrers von der Fahraufgabe minimieren. Im Rahmen dieser Arbeit wird dazu der Einsatz variabler Bedienelemente verfolgt, die sich der aktuellen Bedienaufgabe optimal anpassen. Ziel dieser Arbeit ist es insbesondere, Vorgehensweisen und Gestaltungsempfehlungen für variable Beschriftung von Tasten und zentrale Bedienelemente mit variabler Formcodierung für abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme zu erarbeiten. Unter Zuhilfenahme arbeitswissenschaftlicher Methoden wird dafür zunächst die Gestaltung variabler Beschriftung von Tasten untersucht und Empfehlungen für deren Gestaltung abgeleitet. Des Weiteren wird die Entwicklung eines zentralen Bedienelements mit variabler Formcodierung beschrieben. Dazu wird, aufbauend auf bekannten Entwicklungs- und Auswahlverfahren für Bedienelemente, eine Vorgehensweise zur Entwicklung variabler Bedienelemente vorgeschlagen. Das entwickelte variable zentrale Bedienelement wird darüber hinaus hinsichtlich seiner Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung bewertet. Aus den Versuchsergebnissen konnten Gestaltungsempfehlungen abgeleitet werden, wie durch ein variables zentrales Bedienelement die Bedienbarkeit von abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen verbessert und die Ablenkungswirkung reduziert werden kann. Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag zur Entwicklung zukünftiger abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme und geben insbesondere Entwicklern und Gestaltern eine Hilfestellung beim Einsatz variabler Bedienelemente.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand der DaimlerChrysler AG im der Abteilung Human Factors (GR/VCH). Ohne vielfache Unterstützung hätte diese Dissertation nicht entstehen können, so dass ich an dieser Stelle all denjenigen danken möchte, die zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

An erster Stelle danke ich meinem Betreuer Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder. Er hat diese Arbeit in jeder Phase mit Interesse verfolgt und hat mit seinen konstruktiven Diskussionen und Ratschlägen maßgeblich zu deren Gelingen beigetragen.

Für das Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme des Zweitgutachtens gilt mein Dank auch Frau Prof. Dr. phil. habil. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer.

Dem Leiter des Teams Bedien- und Anzeigesysteme Herrn Dr.-Ing. Bernhard Straub möchte ich dafür danken, dass diese Arbeit in der DaimlerChrysler Forschung entstehen konnte sowie für seine praktischen Ratschläge und Anregungen zur Anfertigung der Dissertation.

Mein Dank gilt darüber hinaus den zahlreichen Kollegen der Abteilung GR/VCH für ihre Anregungen und Diskussionen sowie den Diplomanden und Praktikanten, die insbesondere bei der Durchführung der Probandenversuche eine wertvolle Unterstützung waren.

Meinen Eltern gilt ein besonderer Dank für die jederzeit wohlwollende und verlässliche Unterstützung, die das Entstehen dieser Arbeit überhaupt erst ermöglicht hat.

Meiner Verlobten Hannah danke ich für ihr Verständnis und dafür, dass sie die Belastungen bei der Entstehung dieser Arbeit mitgetragen hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Ziel der Arbeit	5
1.3	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	5
2	Mensch-Maschine-Systeme: Grundlagen und Gestaltung	7
2.1	Mensch-Maschine-System	7
2.2	Kognition	8
2.2.1	Sinne und Wahrnehmung	9
2.2.2	Reaktionsauswahl und Handeln	14
2.2.3	Ausführung von Handlungen	15
2.2.4	Aufmerksamkeit	15
2.3	Anzeigen	15
2.4	Bedienelemente	17
2.4.1	Aktive und passive Bedienelemente	18
2.4.2	Adaptierbare, adaptive und variable Bedienelemente	19
2.5	Gestaltung von Bedienelementen	19
2.5.1	Gestaltungsparameter von Bedienelementen	20
2.5.2	Entwicklung und Auswahl von Bedienelementen	27
2.5.3	Vorgehensweise für die Entwicklung eines variablen Bedienelements	31
2.6	Zusammenfassung	32
3	"Bedienung" im Fahrzeug	35
3.1	Bedienelemente und Anzeigen im Fahrzeug	35
3.2	Fahrzeugführung	36
3.2.1	Primäraufgaben	36
3.2.2	Sekundäraufgaben	37
3.2.3	Ablenkung	37
3.3	Normen und Richtlinien für Bedien- und Anzeigesysteme	38
3.4	Stand der Technik bei Anzeigesystemen	40
3.5	Stand der Technik bei Bediensystemen	40
3.5.1	Touchscreens	41
3.5.2	Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme	42

3.5.3	Zentrale Bedienelemente	42
3.5.4	Aktive Bedienelemente	45
3.5.5	Kompatible und sinnfällige Bedienelemente	46
3.5.6	Formcodierte Bedienelemente	47
3.5.7	Variabel beschriftbare Tasten	50
3.6	Bewertung von Fahrzeugbediensystemen	53
3.6.1	Untersuchungsmethoden	53
3.6.2	Bedienaufgaben für die Bewertung	53
3.6.3	Messung der Bedienbarkeit	54
3.6.4	Ablenkungsmessung	55
3.6.5	Statistische Verfahren	56
3.7	Zusammenfassung	58
4	Gestaltung und Bewertung variabler Beschriftung von Tasten	59
4.1	Hypothesen	60
4.2	Material und Methode	61
4.2.1	Versuchsdesign	61
4.2.2	Stichprobe	62
4.2.3	Versuchsaufbau	62
4.2.4	Bedienaufgaben	64
4.2.5	Versuchsablauf	64
4.2.6	Vorgehen bei der Datenauswertung	65
4.3	Ergebnisse	66
4.3.1	Bedienzeiten	66
4.3.2	Bedienfehler	68
4.3.3	Ablenkung	70
4.3.4	Subjektive Bewertungen	72
4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen	74
5	Entwicklung eines variablen zentralen Bedienelements	77
5.1	Vorgehensweise	78
5.2	Beschreibung der Bedienaufgaben	78
5.2.1	Bedienaufgabe "Drehen"	78
5.2.2	Bedienaufgabe "Schieben"	78
5.3	Vergleich der Anforderungen	80
5.4	Technologiekonzept eines variablen zentralen Bedienelements	80
5.5	Auswahl eines Bedienelements für "Drehen"	82
5.6	Auswahl eines Bedienelements für "Schieben"	82
5.7	Analyse von Bedienelementen technischer Geräte	83
5.8	Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen	85

5.8.1	Hypothesen	85
5.8.2	Methode und Stichprobe	86
5.8.3	Ergebnisse	90
5.8.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen	95
5.9	Auswahl der Bedienelementformen für "Drehen" und "Schieben"	97
5.10	Realisierung des variablen zentralen Bedienelements	98
6	Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	101
6.1	Hypothesen	102
6.2	Material und Methode	102
6.2.1	Versuchsdesign	102
6.2.2	Stichprobe	104
6.2.3	Versuchsaufbau	104
6.2.4	Bedienaufgaben	110
6.2.5	Versuchsablauf	112
6.2.6	Vorgehen bei der Datenauswertung	112
6.3	Ergebnisse	113
6.3.1	Kompatibilitätsfehler	113
6.3.2	Bedienzeiten	116
6.3.3	Bedienfehler	118
6.3.4	Ablenkung	120
6.3.5	Subjektive Bewertungen	122
6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen	123
7	Zusammenfassung und Ausblick	129
8	Literaturverzeichnis	133
9	Tabellenverzeichnis	147
10	Abbildungsverzeichnis	149
A	Anhang	153
A.1	Versuchsaufgaben zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	154
A.2	Versuchsbedingungen zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	155
A.3	Fragebogen zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	158
A.4	Ergebnisse der Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	161
B	Anhang	163
B.1	Beschreibung der Anforderungen für Drehen und Schieben	164
B.2	Formen zur Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen	166
B.3	Fragebogen zur Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen	170

B.4	Ergebnisse der Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen	173
C	Anhang	175
C.1	Bedienaufgaben zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	176
C.2	Fragebogen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	183
C.3	Ergebnisse der Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	187

Abkürzungen

AAM	Alliance of Automobile Manufacturers
AT	Aufgabentyp
BE	Bedienelement
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
ESoP	European Statement of Principles
ESP	Elektronisches-Stabilitäts-Programm
hi.	hinten
F	Prüfgröße des F-Tests/Varianzanalyse
HMI	Human Machine Interface
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
KLA	Klimaanlage
LC	Liquid Crystal
LCT	Lane-Change-Test
LED	Light Emitting Diode
li.	links
M	Mittelwert
MB	Mercedes-Benz
MMI	Multi Media Interface
OBF	Oberes Bedienfeld
OLED	Organic Light Emitting Diode
p	Irrtumswahrscheinlichkeit/Signifikanzniveau
PC	Pacini Corpuscles
RA	rapid adapting
re.	rechts
SA	slow adapting
SD	Screendesign
SE	Standardfehler
sog.	so genannt
ST	Screentyp
StD	Standardabweichung
t	Prüfgröße des T-Tests
u.v.m.	und vieles mehr

vgl.	vergleiche
v.l.n.r.	von links nach rechts
vo.	vorne
Vp	Versuchsperson
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Anzahl von Funktionen in Fahrzeugen hat in den letzten Jahren aufgrund der immer schneller fortschreitenden technologischen Entwicklung rasant zugenommen. Vor allem durch immer neue Funktionen im Informations-, Kommunikations- und Navigationsbereich ist die Bedienung von Fahrzeugen in den letzten Jahren anspruchsvoller geworden. Ein voll ausgestatteter Pkw der Oberklasse bietet dem Fahrer heute rund 700 Funktionen (Maier, 2003). Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht, denn die Anzahl der Funktionen in Fahrzeugen wird aufgrund neuer Funktionen im Bereich der Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme sowie der Integration externer, mobiler Geräte weiter ansteigen. Trotz steigender Funktionalität muss der Fahrer die Funktionen - auch während der Fahrt - sicher bedienen können.

Fahrzeugbedienung ist dabei längst nicht mehr ein Thema, das ausschließlich im Fokus einiger Experten in Forschung und Entwicklung steht, sondern stößt zunehmend auf öffentliches Interesse. Schlagzeilen wie "Reine Knopf-Sache" (Heitmüller, 2004), "Krieg der Knöpfe" (Geiger, 2004), "Irrfahrt durchs Untermenü" (Wüst, 2005) oder in Anspielung auf die Ablenkungswirkung von Fahrzeugbediensystemen "Der alles entscheidende Augen-Blick" (Branke, 2006) machen den Bedarf an einfach bedienbaren und wenig ablenkenden Bedien- und Anzeigesystemen in Fahrzeugen deutlich.

1.1 Ausgangssituation

Die Bedienung eines Pkw zu Beginn des 20. Jahrhunderts glich noch eher der Bedienung einer Maschine (Abbildung 1.1). Die ersten "Bediensysteme" waren mechanische, kraftbetätigte Stellteile, die meist als Hebel ausgeführt waren. Da die Anzahl der bedienbaren Funktionen gering war, gab es für jede Funktion ein zugehöriges Stellteil. Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte die Bedienung dann zunehmend über elektrische Bedienelemente und es kamen Funktionen im Bereich Komfort (z.B. Klimaanlage) und im Bereich Entertainment (z.B. Radios) hinzu. Typische Bedienelemente dieser Zeit waren Tasten, Drehschalter und Schieberegler. Mit dem Einzug der Elektronik und der ersten Bordcomputer stieg die Anzahl der Funktionen und damit auch die Anzahl an Bedienelementen schnell an, was immer häufiger zu unübersichtlichen Schalterfeldern führte. Aufgrund der immer weiter ansteigenden Anzahl von Funktionen, vor allem durch die Einführung von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen, war es nicht mehr länger möglich, für jede Funktion ein eigenes Bedienelement vorzusehen (vgl. dazu auch Fuchs u. a. (2001); Mauter (2003); Maier (2003); Vogel (2003); Geiger (2004); Vogel (2006); Faerber (2006)). Seit Ende der 90er Jahre des 20.

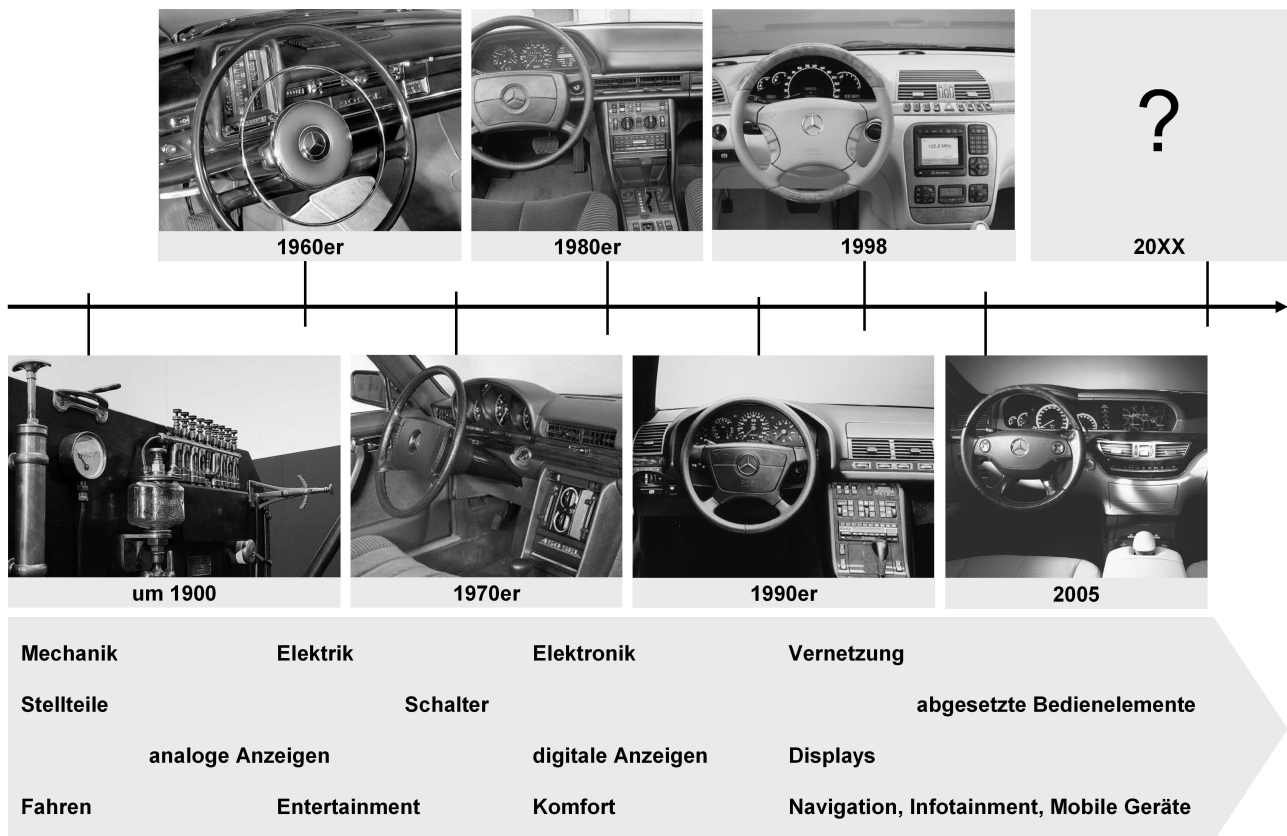


Abbildung 1.1: Historische Entwicklung der Bediensysteme im Pkw von mechanischen Stellteilen zu menübasierten Bedien- und Anzeigesystemen

Jahrhunderts kommen zur Bedienung von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen daher zunehmend computer-ähnliche Bediensysteme zum Einsatz.

Die aktuellen Bedien- und Anzeigesysteme in den Top-Modellen verschiedener Automobilhersteller begegnen der Funktionszunahme durch Reduktion der Anzahl von Bedienelementen, Zusammenfassung von Funktionen in menübasierte Systeme sowie durch optimale Gestaltung der Anzeigen und Bedienelemente. Gängige, am Markt vertretene Bedien- und Anzeigesysteme sind insbesondere:

- Softkey-Bediensysteme
- Touchscreens
- Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme

Softkey-Bediensysteme (Abbildung 1.2) werden über Tasten bedient, die neben einem Display im Greifraum des Fahrers angebracht sind. Diese Funktionstasten sind gar nicht oder neutral beschriftet und haben kontextabhängig immer die Funktion, die auf dem Display angezeigt wird. Funktionen sind hierarchisch in Menüs gegliedert und werden auf dem Display dargestellt.

Touchscreens (Abbildung 1.3) basieren auf einem berührungsempfindlichen Display im Greifraum des Fahrers. Auf dem Display sind Schaltflächen (sog. Buttons) grafisch dargestellt, die mit Funktionen



Abbildung 1.2: Softkey-Bedien-system im VW Phaeton (Volkswagen AG, 2006)



Abbildung 1.3: Touchscreen im Lexus LS430 (Lexus, 2006)



Abbildung 1.4: Abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem der Mercedes-Benz S-Klasse (DaimlerChrysler AG, 2006c)



Abbildung 1.5: Abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem der BMW 7er-Serie (bmworld, 2006)

beschriftet sind. Der Benutzer betätigt die Schaltflächen durch Berührung des Displays mit seinem Finger und bewegt sich so durch die Menüs des Systems.

Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme (Abbildungen 1.4 und 1.5) bestehen dagegen aus einem Display im Sichtfeld des Fahrers und einem davon räumlich abgesetzten zentralen Bedienelement im Greifraum des Fahrers. Funktionen sind hierarchisch in Menüs gegliedert und werden auf dem Display dargestellt. Mit einem Cursor werden Menüpunkte an- und ausgewählt. Die Cursorsteuerung erfolgt dabei durch Drehen, Drücken und Schieben des zentralen Bedienelements.

Im Gegensatz zu klassischen Bedienelementen wie Lenkrad oder Blinkerhebel sind bei Bedien- und Anzeigesystemen zur Bedienung von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen noch keine Standards und Normen erkennbar. Im Gegenteil, denn Normung ist nach Faerber (2006) aus Gründen der Markenidentität tendenziell nicht erwünscht und könnte sogar die technische Weiterentwicklung hemmen. Es stellt sich daher die Frage, wie sich Bedien- und Anzeigesysteme in der Zukunft weiterentwickeln werden (Abbildung 1.1).

Der Einsatz von Sprachbediensystemen und Gestensteuerung wären zwei mögliche Ansätze, die unter Experten jedoch noch kritisch gesehen werden (Faerber, 2006; Porter u. a., 2005). Ein wesentlicher Grund dafür ist die noch nicht ausreichende Zuverlässigkeit der Systeme bei der Erkennung von Sprache und Gesten. Zur Zeit wird noch davon ausgegangen, dass sprach- und gestenbediente Systeme nicht die Präzision manueller Bedienelemente erreichen werden. Deshalb werden sie Bedienelemente nicht ersetzen, sondern allenfalls ergänzen können, was insbesondere für die Bedienung sicherheits- und zeitkritischer Funktionen gilt.

Bei aktuellen Bedien- und Anzeigesystemen erkennt man eine Zunahme von abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen aufgrund ihrer ergonomisch günstigen Positionierung von Anzeige und Bedienelement und eine Zunahme an Touchscreens aufgrund ihrer einfachen Bedienbarkeit. Betrachtet man die in den letzten Jahren vorgestellten Designstudien und Konzeptfahrzeuge der Automobilhersteller, wird sich dieser Trend wohl auch in Zukunft fortsetzen. Daher sollten beide Ansätze hinsichtlich ihrer Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung weiterentwickelt werden. Da bei europäischen Herstellern vor allem abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme zum Einsatz kommen, stehen sie im Fokus dieser Arbeit.

In abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen werden überwiegend Dreh-Drück-Joysticks als zentrale Bedienelemente eingesetzt. Ein zentrales Bedienelement wird also für bis zu drei unterschiedliche Bedienhandlungen - Drehen, Drücken und Schieben - genutzt. Da es ohne Hinsehen "blind" bedient wird, sehen verschiedene Autoren Verbesserungspotenziale für abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme im Einsatz haptischer Codierungen am zentralen Bedienelement (Schmitz u. Hofmann, 2001; Schattenberg, 2002; Maier, 2003; Zeilinger, 2005; Porter u. a., 2005; Faerber, 2006). Idealerweise sollte das Bedienelement durch seine haptischen Eigenschaften, z.B. durch seine Form, den Benutzer bei der Bedienung unterstützen. Dadurch könnte im Idealfall eine "Blindbedienung" erreicht werden, weil der Benutzer haptisch spüren würde, ob er das Bedienelement drehen, drücken oder schieben muss - im Extremfall ohne seinen Blick von der Straße abzuwenden.

Die alleinige Betrachtung des zentralen Bedienelements zur Optimierung von abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen genügt jedoch nicht. Es gibt auch in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen Funktionen, die nicht mit dem zentralen Bedienelement bedient werden müssen bzw. bedient werden können. (Fuchs u. a., 2001; Mauter, 2003; Hauck u. a., 2004; Faerber, 2006; Branke, 2006). Dies sind z.B. Funktionen der Klimaanlage oder bestimmte Fahrzeugfunktionen, die über separate Drehsteller, Wippen und vor allem über Tasten bedient werden. Dabei gibt es Funktionen, die nur kontextabhängig bedient werden können. Zum Beispiel ist die Bedienung der Standheizung nur im Stand sinnvoll und im Automatikbetrieb der Klimaanlage sind keine manuellen Einstellungen notwendig. Die Tasten der nicht bedienbaren Funktionen und deren Beschriftung sind in der Regel aber nach wie vor vorhanden. Bei der Gestaltung von Bediensystemen wird jedoch vielfach darauf hingewiesen, dass dem Fahrer nur diejenigen Bedienmöglichkeiten angeboten werden sollten, die zur Bedienung der aktuellen Aufgabe auch wirklich notwendig sind (Bubb, 1993a; Ginnow-Merkert, 2003).

1.2 Ziel der Arbeit

Ein neuer Ansatz zur Verbesserung der Bedienbarkeit und Minimierung der Ablenkung abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme sind variable Bedienelemente (u.a. Doerrer (2002); Michelitsch u. a. (2004); Jeitner u. a. (2005)). Variable Bedienelemente passen sich unterschiedlichen Bediensituationen so an, dass zwischen Bedienaufgabe und Bedienelement ein klar erkennbarer und verständlicher Zusammenhang besteht. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems durch den Einsatz variabler Bedienelemente zu verbessern.

Wie in den Kapiteln 2 und 3 ausführlich beschrieben wird, sind bei Bedien- und Anzeigesystemen, insbesondere bei zentralen Bedienelementen und bei Tastenbeschriftungen, Entwicklungen hin zu variablen Bedienelementen erkennbar. Bei zentralen Bedienelementen wird dabei zunehmend die Nutzung einer variablen Formcodierung gefordert, um den visuellen Kanal des Fahrer zu entlasten und damit die Ablenkung zu reduzieren. Von variablen Tastenbeschriftungen verspricht man sich eine verbesserte Bedienbarkeit und weniger Ablenkung durch Reduzierung der Bedienmöglichkeiten (weniger Tasten) und durch optimale Gestaltung der Tastenbeschriftung. Jedoch ist weder der Nutzen dieser variablen Bedientechnologien wissenschaftlich nachgewiesen, noch sind ausreichend Vorgehensweisen und Gestaltungshinweise für deren Entwicklung bekannt.

Deshalb werden im Rahmen dieser Arbeit folgende variable Bedientechnologien in einem abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem eingesetzt und im Rahmen empirischer Untersuchungen hinsichtlich Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung bewertet:

1. Variable haptische Formcodierung eines zentralen Bedienelements und
2. Variable Beschriftung von Tasten

Über den Einsatz und die Bewertung dieser neuen Technologien für ein abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem hinaus, werden aus den Ergebnissen Vorgehensweisen und Gestaltungshinweise für die Entwicklung variabler Bedienelemente abgeleitet und damit der aktuelle Forschungsstand im Bereich der Gestaltung von Bedienelementen ergänzt. Außerdem werden konkrete Einsatzmöglichkeiten für diese variablen Bedientechnologien in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen vorgeschlagen. Die Arbeit richtet sich vor allem an Entwickler von Fahrzeugbediensystemen und will Hilfestellungen bei der Entwicklung variabler Bedienelemente geben.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Wie in Abbildung 1.6 dargestellt, werden ausgehend von Ziel und Aufgabenstellung in Kapitel 1 in Kapitel 2 die zum Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen im Bezug auf das Mensch-Maschine-System und seine Gestaltung beschrieben und eine Vorgehensweise zur Entwicklung variabler Bedienelemente vorgeschlagen. Anschließend wird im Kapitel 3 auf die "Bedienung" im Fahrzeug eingegangen und der Stand der Technik bei Anzeigen und ausführlich der Stand der Technik bei Bediensystemen im Fahrzeug analysiert. Darüber hinaus werden geeignete Methoden zur Bewertung

von Fahrzeugbediensystemen und statistische Grundlagen beschrieben. Durch diese Analyse des aktuellen Stand der Technik konnten die beiden Untersuchungsfelder, variable Beschriftung von Tasten und ein zentrales Bedienelement mit variabler haptischer Formcodierung, identifiziert werden. Zur Absicherung der Untersuchungsergebnisse werden empirische Methoden, insbesondere Probandenversuche, eingesetzt, da diese mit den realen Nutzungsbedingungen am besten vergleichbar sind. Die Untersuchung zur Bewertung variabler Beschriftung von Tasten sowie Gestaltungsempfehlungen für deren Einsatz im Fahrzeug wird in Kapitel 4 beschrieben. Unter Berücksichtigung der Grundlagen aus den Kapiteln 2 und 3 wird in Kapitel 5 die Entwicklung eines zentralen Bedienelements mit variabler haptischer Formcodierung beschrieben. Dabei wird die in Kapitel 2 vorgeschlagene Vorgehensweise zur Entwicklung variabler Bedienelemente angewendet. In diesem Zusammenhang wird auch der Einfluss von verschiedenen Bedienelementformen auf die von Probanden ausgeführten Bedienhandlungen (Drehen und Schieben) untersucht. In Kapitel 6 wird das in Kapitel 5 entwickelte variable zentrale Bedienelement bewertet und Gestaltungshinweise für zentrale Bedienelemente mit variabler haptischer Formcodierung abgeleitet. Kapitel 7 fasst alle Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick.

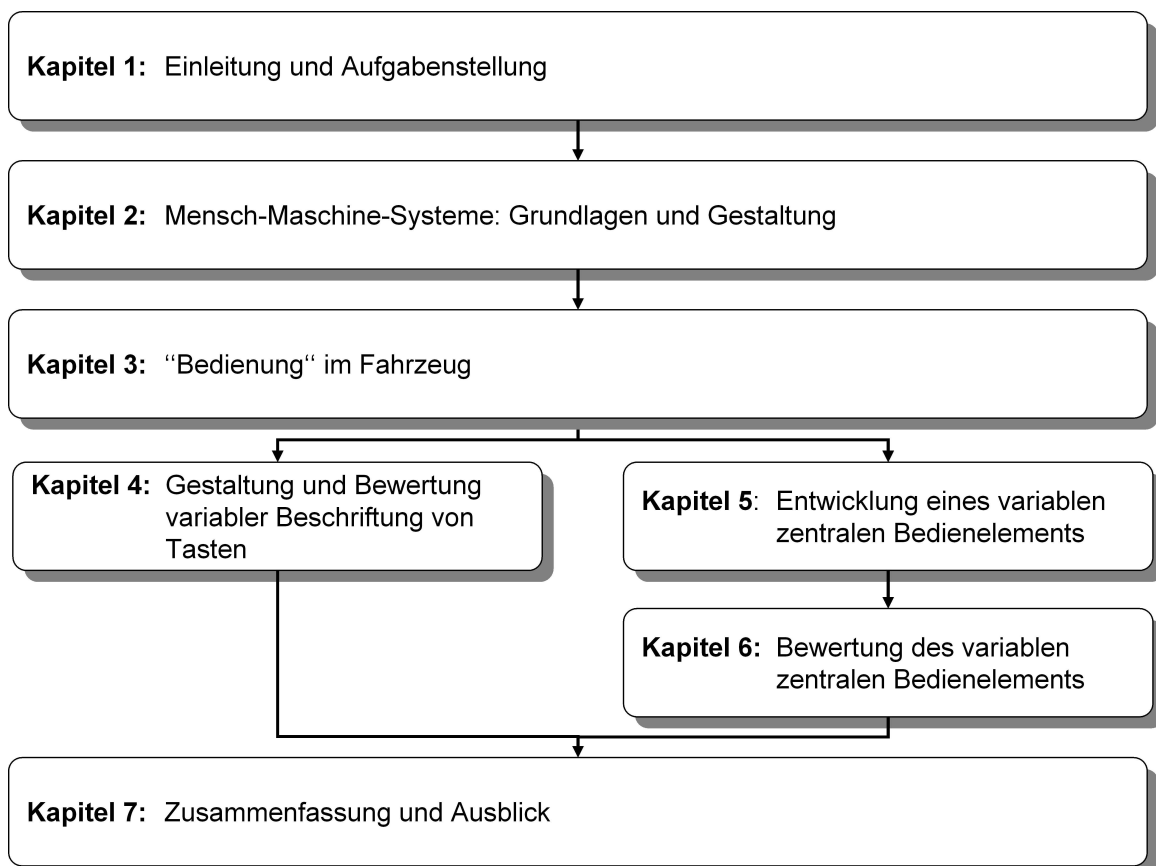


Abbildung 1.6: Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit

2 Mensch-Maschine-Systeme: Grundlagen und Gestaltung

In diesem Kapitel werden die zum Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen der Mensch-Maschine-Systeme beschrieben. Dabei wird neben der Klärung der Begriffe Mensch-Maschine-System und der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Abschnitt 2.1) auf den Menschen und seine kognitiven Fähigkeiten (Abschnitt 2.2), auf Anzeigen (Abschnitt 2.3) und insbesondere auf Bedienelemente (Abschnitt 2.4) und deren Gestaltung (Abschnitt 2.5) eingegangen.

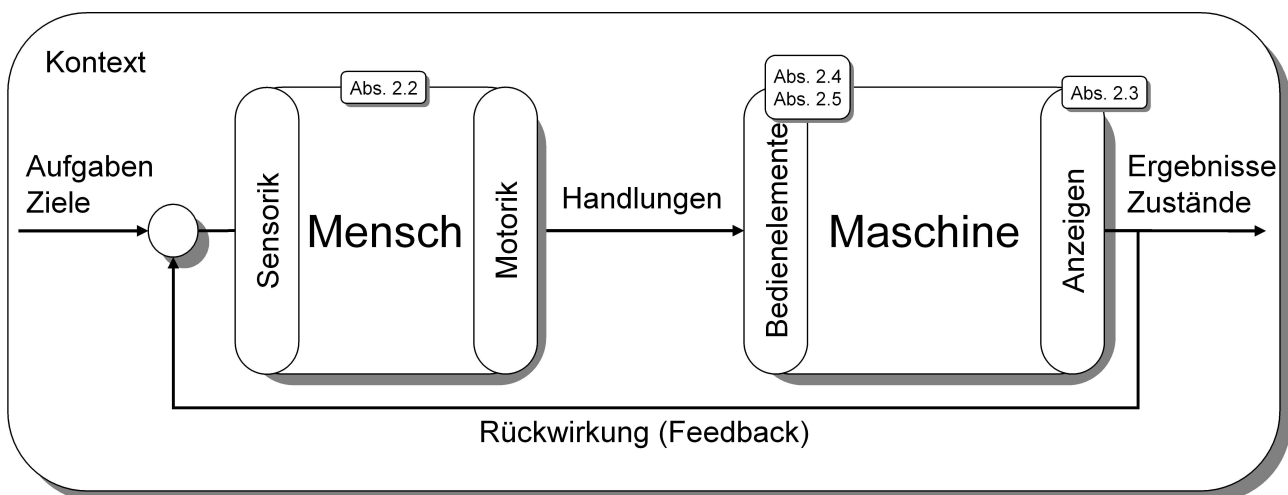


Abbildung 2.1: Mensch-Maschine-Regelkreis angelehnt an Bubb (1993b)

2.1 Mensch-Maschine-System

Mensch-Maschine-Systeme können sowohl informationstheoretisch (Preim, 1999; Zühlke, 2004; Timpe, 2001) als Kommunikation zwischen Mensch und Maschine oder regelungstechnisch als Regelkreis mit dem Menschen als Regler beschrieben werden (Johannsen, 1993; Bubb, 1993b; Rühmann, 1993a; Bubb, 1993a, 2001; Jürgensohn, 2002).

Mensch und Maschine sind bei informationstheoretischen Modellen Kommunikationspartner in einem bestimmten Kontext und tauschen Informationen zum Zweck der Erfüllung einer Bedienaufgabe aus. Der Begriff Mensch-Maschine-System bezeichnet dabei nach Timpe (2001) die "... zweckmäßige

Abstraktion des zielgerichteten Informationsaustausches von Personen mit technischen Systemen zur Erfüllung eines selbst- oder fremdgestellten Auftrages innerhalb festgelegter Systemgrenzen".

In den regelungstechnischen Beschreibungen übernimmt der Mensch die Rolle des Reglers in einem Regelkreis. Er vergleicht die Ergebnisse bzw. Zustände der Maschine, die er über seine Sensorik wahrnimmt, mit den Zielen der gestellten Aufgaben. Bei Abweichungen wirkt er durch sein Handeln (Motorik) solange regulierend auf die Maschine ein, bis Ergebnisse bzw. Zustände den Zielen seiner Aufgabe entsprechen. Bedienelemente übernehmen in diesem Regelkreis die Rolle der Stellglieder. Über Anzeigen wird die Wirkung seiner Handlungen als Feedback an den Menschen zurückgeführt. Für diese Arbeit wird die in Abbildung 2.1 dargestellte, regelungstechnische Beschreibung zu Grunde gelegt, weil darin die Rolle von Anzeigen und Bedienelementen deutlich zum Ausdruck kommt. Innerhalb des Mensch-Maschine-Systems umfasst die sog. Mensch-Maschine-Schnittstelle nach Bullinger (1994) alle Komponenten, die der funktionellen Interaktion zwischen Mensch und Maschine dienen, insbesondere die Bedien- und Anzeigesysteme. Im englischen Sprachraum ist der Begriff HMI für Human Machine Interface gebräuchlich. Informationen können zwischen Mensch und Maschine direkt in Form von z.B. Betätigungskräften oder indirekt über Anzeigen ausgetauscht werden. Die Abgrenzung zwischen Bedien- und Anzeigesystem ist dabei nicht immer eindeutig. Ein Bedienelement kann durch seine Form oder Betätigungshaptik Informationen an den Benutzer übermitteln und eine Anzeige kann z.B. wie bei einem Touchscreen auch direkt betätigt werden. In einem Mensch-Maschine-System spielen neben den technischen Komponenten der Bedien- und Anzeigesysteme die kognitiven Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen eine wesentliche Rolle.

2.2 Kognition

Nach Zimbardo u. Gerrig (1999) ist Kognition der Oberbegriff für alle Formen des Erkennens und Wissens und umfasst - neben der Wahrnehmung und Mustererkennung - das Verstehen, die Aufmerksamkeit, das Erinnern, das bildhafte Vorstellen, intelligentes Handeln, das Denken, das Problemlösen, das Entscheiden sowie das Sprechen und das Sprachverständnis. Der Mensch ist aufgrund seiner kognitiven Fähigkeiten in der Lage über die Mensch-Maschine-Schnittstelle Informationen wahrzunehmen, mit seinen Aufgaben bzw. deren Zielen zu vergleichen und unter Zuhilfenahme seines Erfahrungswissens daraus Handlungen abzuleiten.

Betrachtet man die dabei beteiligten Vorgänge im Menschen aus kognitionspsychologischer Sicht genauer (Abbildung 2.2), laufen verschiedene, aufeinanderfolgende Teilprozesse ab (Herczeg, 1994; Wickens u. Carswell, 1997; Zühlke, 2004; DIN-EN894-1, 1997). Die Sensorik dient der Entdeckung und Aufnahme von Reizen. Wahrnehmung beschreibt die Erkennung, Verdichtung und Interpretation von Reizen. Aus Reizen entstehen dadurch neuronale Informationen, die unter Zuhilfenahme der im Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis bereits gespeicherten Informationen zielgerichtet weiter verarbeitet werden. Das Ergebnis dieses Prozesses ist das Ableiten von Entscheidungen. Aufgrund der getroffenen Entscheidungen werden Handlungspläne gebildet, deren Umsetzung schließlich zu Reaktionen bzw.

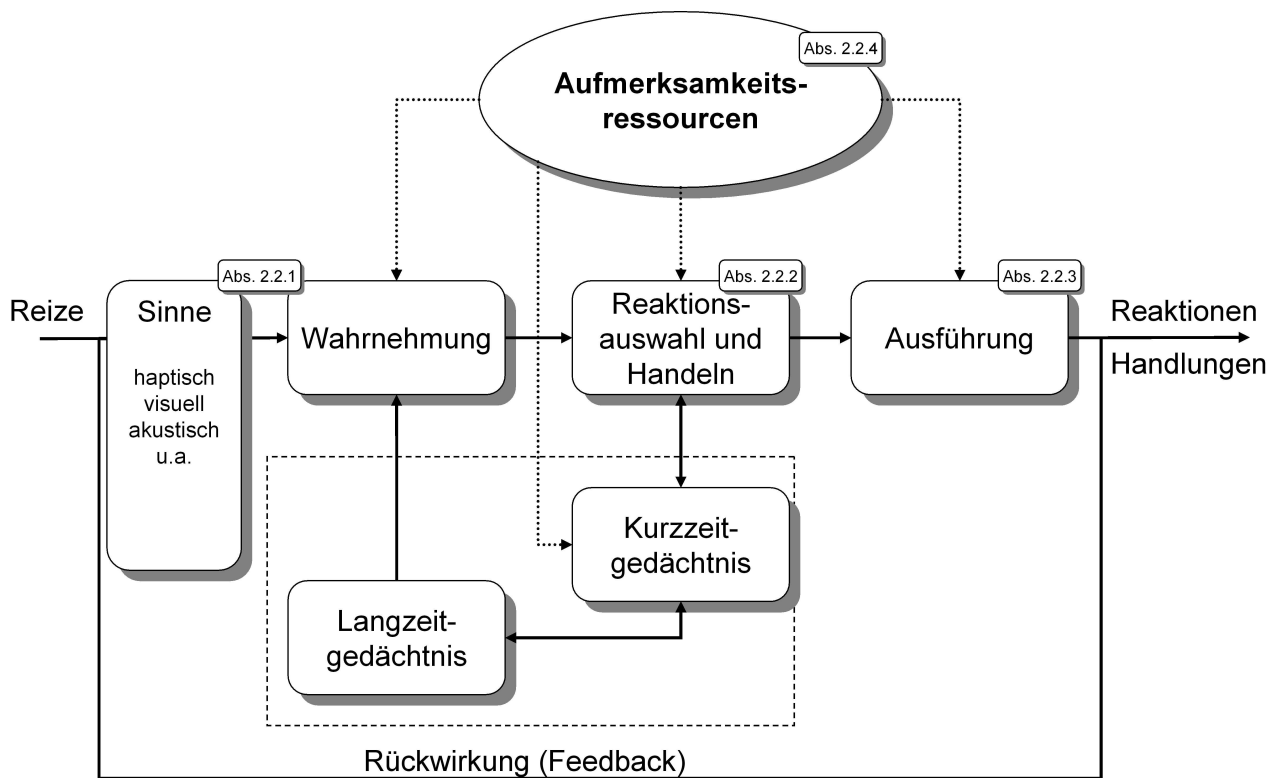


Abbildung 2.2: Menschliche Informationsverarbeitung (Kognition) nach Wickens u. Carswell (1997)

Handlungen auf den anfänglichen Reiz führt. Die Aufmerksamkeitsressourcen müssen dabei auf die Teilprozesse verteilt werden. Auf die einzelnen Prozesse der Kognition wird in den folgenden Abschnitten genauer eingegangen.

2.2.1 Sinne und Wahrnehmung

Nach Zimbardo u. Gerrig (1999) ist Wahrnehmung der gesamte Prozess des Erfahrbar-machens von Gegenständen und Ereignissen durch Umwandlung und Interpretation physikalischer Reize in neuronal kodierte Informationen, unter Berücksichtigung persönlicher Erfahrungen. Es werden drei Stufen unterschieden. Die erste Stufe ist der sensorische Prozess vom physikalischen Reiz bis zur Entstehung einer Empfindung. In der zweiten Stufe findet die Interpretation der Empfindung und die Bildung einer inneren Repräsentation statt, der in der dritten Stufe eine Bedeutung gegeben wird.

Die Wahrnehmung erfolgt dabei über verschiedene Sinne¹, wobei nach Handwerker (2000) klassischerweise 5 Sinne unterschieden werden können: der visuelle, der haptische, der auditive, der olfaktorische und der gustatorische Sinn. In den folgenden Abschnitten wird auf den haptischen Sinn genauer eingegangen, weil er bei der Betätigung von Bedienelementen von besonderer Bedeutung

¹Synonyme: Kanäle, Modalitäten oder Systeme

ist. Darüberhinausgehende Informationen zu anderen Wahrnehmungskanälen sind u.a. bei Salvendy (1997); Schmidtke (1993); Grüsser u. Grüsser-Cronehls (2000) und Handwerker (2000) zu finden.

Haptische Wahrnehmung

Der Begriff Haptik geht auf das griechische Wort "haptain" = ergreifen, anfassen, berühren zurück, und bedeutet soviel wie "den Tastsinn betreffend". Eine allgemein akzeptierte Definition der haptischen Wahrnehmung sucht man jedoch vergebens, wie die folgenden Definitionen zeigen.

Gibson (1962, 1966, 1973) nahm eine Unterteilung des Tastsinns in aktives Tasten (mit Bewegung) und passives Tasten (ohne Bewegung) vor. Loomis u. Lederman (1986) und Lederman u. Klatzky (2002) unterscheiden zwischen taktilen und kinästhetischen Wahrnehmungen. Für die Wahrnehmung taktiler Empfindungen sind Hautrezeptoren verantwortlich. Kinästhetische Reize werden über Rezeptoren in Gelenken, Muskeln und Sehnen wahrgenommen. Bei der haptischen Wahrnehmung sind nach ihrer Definition taktile und kinästhetische gleichzeitig beteiligt. Nach Meyer (2001) sowie Lederman u. Klatzky (2002) kann aktives bzw. passives Tasten nach Gibson (1962, 1973) mit haptischer bzw. taktiler Wahrnehmung synonym verwendet werden. Müller-Limmroth (1993) nimmt eine Unterteilung der haptischen Wahrnehmung in Hautsinne und Tiefensensibilität vor. Die Hautsinne umfassen alle Wahrnehmungen, die über Druck-, Vibrations-, Wärme-, Kälte- und Schmerzrezeptoren in der Haut wahrgenommen werden. Die Tiefensensibilität dient dagegen zur Wahrnehmung von Körperlage und -bewegung sowie Kräften und wird über Rezeptoren in Muskeln, Sehnen und Gelenken wahrgenommen. Zimmermann (2000) verwendet statt Hautsinne die Begriffe Oberflächensensibilität und Thermorezeption und meint damit aber auch die Wahrnehmung über Hautrezeptoren. Als Propriozeption bezeichnet er dagegen die Wahrnehmung über Muskel- und Gelenkrezeptoren und die Wahrnehmung der Körperlage. Bubb (2001) unterscheidet zwischen kinästhetischer Wahrnehmung zur Erfassung von Eigenbewegungen des Körpers im Raum, Tiefenwahrnehmung zur Erfassung der Körperhaltung über Muskel- bzw. Gelenkrezeptoren und haptischer Wahrnehmung zur Erfassung von Oberflächen und Formen über Rezeptoren in der Haut, den Muskeln und den Gelenken. Zühlke (2004) verwendet andere Begriffe und beschreibt die haptische Wahrnehmung als Kombination aus Exterozeption und Propriozeption. Exterozeption ist dabei gleich bedeutend mit Oberflächensensibilität und Propriozeption mit Tiefensensibilität. Reisinger (2006) spricht von Taktilität bzw. Oberflächenwahrnehmung, wenn Reize über Hautrezeptoren wahrgenommen werden. Die Tiefensensibilität bezeichnet dagegen die Stellungs- und Kraftwahrnehmung über Muskel- und Gelenkrezeptoren. Unter Kinästhetik versteht er ähnlich wie Bubb (2001) ausschließlich die Wahrnehmung der Lage des Körpers im Raum, weist allerdings darauf hin, dass der Kinästhetik traditionell auch die Tiefensensibilität zugerechnet wird (vgl. Müller-Limmroth (1993)).

Trotz dieser scheinbar unterschiedlichen Definitionen unterscheiden sie sich jedoch nur in der Zuordnung und Gruppierung der beteiligten Rezeptoren. Es besteht offenbar Einigkeit darüber, dass an der haptischen Wahrnehmung unterschiedliche Rezeptoren beteiligt sind: Hautrezeptoren und

Rezeptoren in den Gelenken, Muskeln und Sehnen. Darüber hinaus gibt es einen Bewegungssinn, der für die Wahrnehmung der Lage des Körpers im Raum verantwortlich ist.

Für die vorliegende Arbeit werden in Anlehnung an Lederman u. Klatzky (2002) folgende Definitionen zugrunde gelegt: Taktile Reize entstehen an der Hautoberfläche und werden über Hautrezeptoren wahrgenommen. Kinästhetische Reize entstehen durch Krafteinwirkungen und Körperstellungen und werden über Gelenk-, Muskel- und Sehnenrezeptoren wahrgenommen. Haptische Wahrnehmung bezeichnet die Wahrnehmung taktiler und/oder kinästhetischer Reize (Abbildung 2.3).

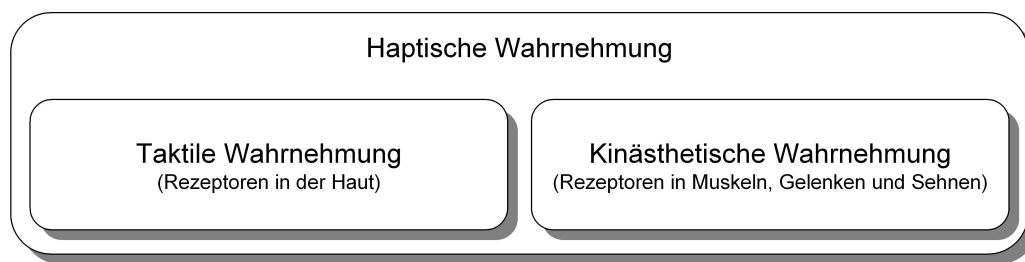


Abbildung 2.3: Haptische Wahrnehmung umfasst sowohl die taktile als auch die kinästhetische Wahrnehmung

Die Mechanismen der taktilen und kinästhetischen Wahrnehmung werden in den nächsten Abschnitten vertieft, da sie bei der Gestaltung von Bedienelementen von besonderer Bedeutung sind.

Taktile Wahrnehmung

Die taktile Wahrnehmung basiert auf in der Haut befindlichen Rezeptoren, die man aufgrund ihrer Funktion in Mechano-, Thermo- und Schmerzrezeptoren einteilt (Tabelle 2.1). Abbildung 2.4 zeigt die Lage der Rezeptoren in der Haut. Die Mechanorezeptoren können aufgrund ihrer Adaptionseigenschaften in langsam (SA=slow adapting), schnell (RA=rapid adapting) und sehr schnell (PC=Pacini Corpuscles) adaptierende Rezeptoren eingeteilt werden. Den Rezeptoren können die Empfindungen Druck, Berührung und Vibration zugeordnet werden, weshalb sie sich insbesondere zur Wahrnehmung von Oberflächeneigenschaften wie Textur, Temperatur und Vibrationen eignen. Alle verfügbaren Empfindungen werden in Form neuronaler Informationen an das Gehirn geleitet, wo sie zu einer ganzheitlichen, haptischen Wahrnehmung integriert werden (Müller-Limmroth, 1993; Zimmermann, 2000; Lederman u. Klatzky, 2002; Pinel, 1997).

Kinästhetische Wahrnehmung

Für die kinästhetische Wahrnehmung sind ebenfalls Mechanorezeptoren, allerdings in den Gelenken, Muskeln und Sehnen, verantwortlich (Abbildung 2.5). In den Gelenken befinden sich die Gelenksensoren, in den Muskeln die Muskelspindeln und die Golgi-Sehnenorgane. Eine Übersicht über die Rezeptoren der kinästhetischen Wahrnehmung und den dazugehörigen Empfindungen gibt Tabelle 2.1.

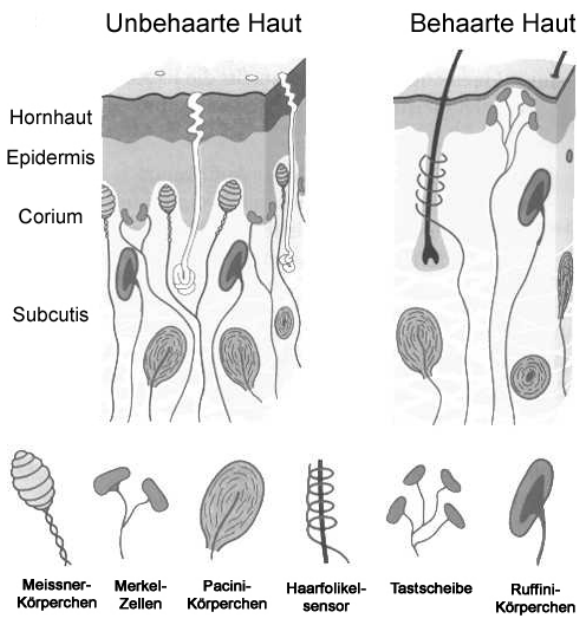


Abbildung 2.4: Rezeptoren der taktilen Wahrnehmung (Zimmermann, 2000)

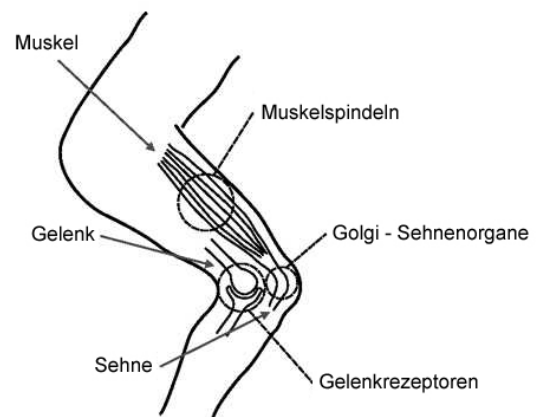


Abbildung 2.5: Rezeptoren der kinästhetischen Wahrnehmung (Doerrer, 2002)

Wie auch bei der taktilen Wahrnehmung werden alle verfügbaren Empfindungen als neuronale Informationen an das Gehirn geleitet, wo sie zu einer ganzheitlichen, haptischen Wahrnehmung integriert werden (Müller-Limmroth, 1993; Zimmermann, 2000; Lederman u. Klatzky, 2002).

Tabelle 2.1: Zusammenhang von Rezeptoren, Reizen und Empfindungen der haptischen Wahrnehmung

Wahrnehmung	Rezeptor	Name	Klasse	Reiz	Empfindung
taktil	Mechano	Merkelzellen	SAI	Senkrechter Druck	Druck
taktil	Mechano	Tastscheibe	SAI	Senkrechter Druck	Druck
taktil	Mechano	Ruffini-Körper	SAII	Hautdehnungen	Druck
taktil	Mechano	Meissner-Körper	RA	Geschwindigkeit	Berührung
taktil	Mechano	Haarfollikelzellen	RA	Geschwindigkeit	Berührung
taktil	Mechano	Pacini-Körper	PC	Beschleunigung	Vibration
taktil	Thermo	Warmsensoren	-	Temperaturen $> 30^{\circ}\text{C}$	Wärme
taktil	Thermo	Kaltsensoren	-	Temperaturen $< 40^{\circ}\text{C}$	Kälte
taktil	Noci	Freie Nervenenden	-	-	Schmerz
kinästhetisch	Mechano	Muskelspindeln	-	Muskeldehnung	Kraft
kinästhetisch	Mechano	Golgi-Sehnenorgan	-	Muskelspannung	Kraft
kinästhetisch	Mechano	Gelenkrezeptoren	-	Weg/Geschwindigkeit	Position/Bewegung

Haptische Explorationszyklen

Mit dem Verhalten, wie Menschen Objekte haptisch analysieren, haben sich Lederman u. Klatzky (2002) ausgiebig befasst. Sie schlagen aufgrund ihrer Ergebnisse vor, die haptische Wahrnehmung

hierarchisch zu systematisieren, und unterscheiden dabei die Wahrnehmung von Objektgeometrien und die Wahrnehmung von Materialeigenschaften. In kleinem Maßstab handelt es sich um örtlich begrenzte, lokale Merkmale eines Objekts, die z.B. Deformationen in der Haut hervorrufen (z.B. eine Rändelung) und damit taktile Reize erzeugen. Im großen Maßstab findet die Wahrnehmung von Größen und Formen statt, wobei die Objekte von der Hand befühlt werden, wodurch kinästhetische Reize erzeugt werden.

Lederman u. Klatzky (1987, 1996) beschreiben für die haptische Wahrnehmung insgesamt acht Explorationszyklen, mit denen die haptischen Eigenschaften eines Objekts erfasst werden (Abbildung 2.6). Danach wird die Textur eines Objektes durch laterale Bewegung wahrgenommen. Die Wahrnehmung der Temperatur erfolgt durch statischen Kontakt mit dem Objekt. Das Volumen bzw. die globale Form wird durch Umschließen wahrgenommen, wohingegen zur Wahrnehmung der Härte auf das Objekt gedrückt wird. Das Gewicht wird durch freies Halten im Raum und die exakte Form durch das Befühlen der Kontur wahrgenommen. Welche Funktion ein Objekt hat und aus welchen Teilen es besteht, wird mit den letzten beiden Explorationszyklen erfasst.

Bei jedem Explorationszyklus werden durch die Handlung bestimmte Rezeptoren optimal eingesetzt, z.B. durch den statischen Kontakt eine möglichst große Fläche, um mit Hilfe möglichst vieler Thermorezeptoren die Temperatur wahrzunehmen. Die einzelnen Wahrnehmungsqualitäten werden im Gehirn wie bereits beschrieben zu einer ganzheitlichen, haptischen Wahrnehmung integriert. Die Weiterverarbeitung der wahrgenommenen Empfindungen und die Auswahl einer bestimmten Handlung steht im Fokus des nächsten Abschnitts.

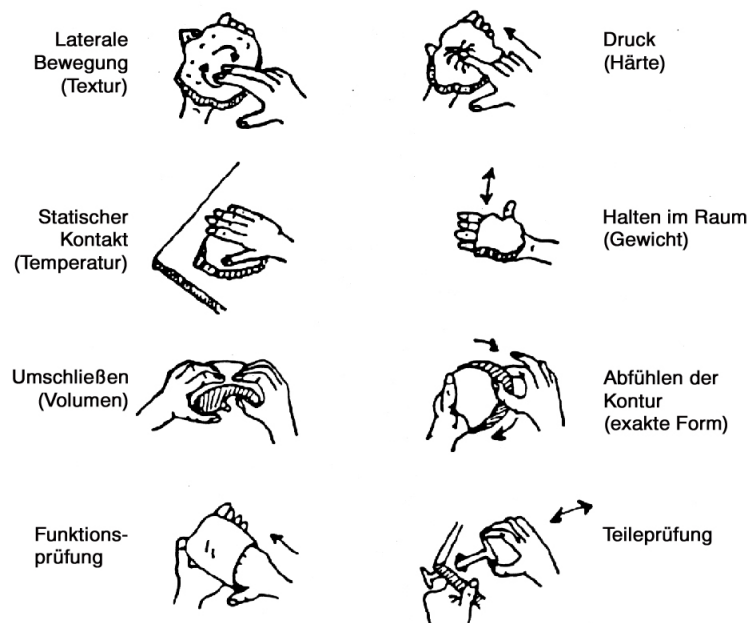


Abbildung 2.6: Die 8 haptischen Explorationszyklen und die damit assoziierten Objekteigenschaften nach Lederman u. Klatzky (1987, 2002)

2.2.2 Reaktionsauswahl und Handeln

Die über die Sinne wahrgenommenen Informationen werden zur Ableitung von Handlungen weiterverarbeitet. Die kognitiven Prozesse bei der Reaktionsauswahl lassen sich anschaulich mit dem Handlungsregulationsmodell von Rasmussen (1983) beschreiben (vgl. auch Rasmussen (1986); Zühlke (2004)). Danach werden beim menschlichen Verhalten sensomotorische Fähigkeiten, regelbasiertes Verhalten und wissensbasiertes Verhalten unterschieden (Abbildung 2.7).

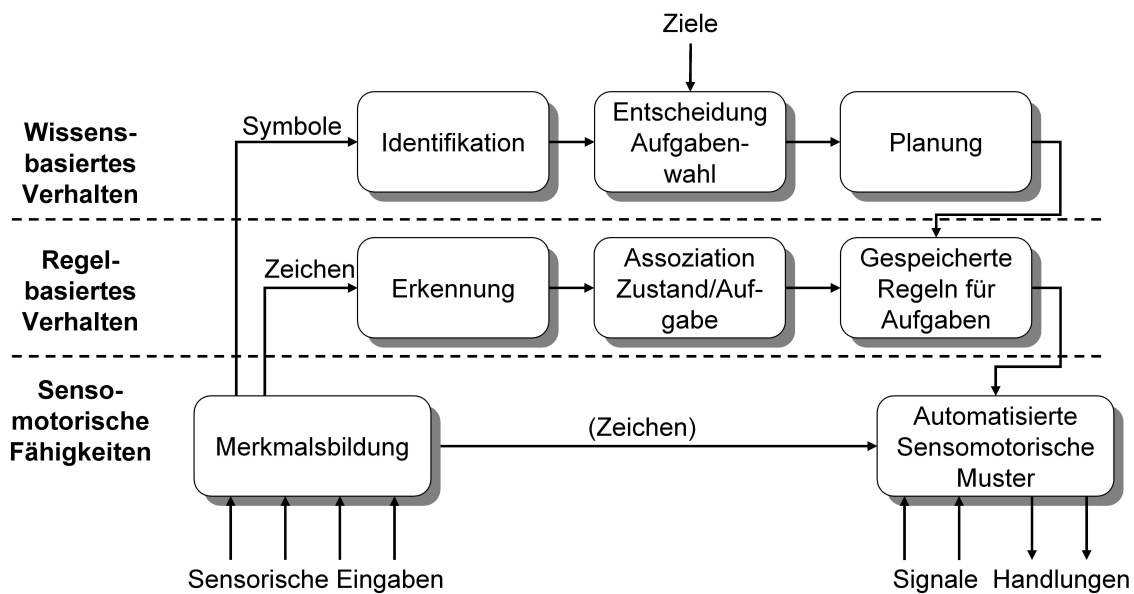


Abbildung 2.7: Das Handlungsregulationsmodell nach Rasmussen (1983)

Sensomotorische Fähigkeiten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie unbewusst, quasi automatisiert und in kurzer Zeit ablaufen. Da Handlungen aufgrund dieser Fähigkeiten reflexartig ablaufen, bedürfen sie keiner willentlichen Aufmerksamkeit oder Steuerung.

Von regelbasiertem Verhalten spricht man, wenn Handlungen aus bekannten Regeln abgeleitet werden. Nach einer Informationsinterpretation und -reduktion werden die Zustände z.B. eines Mensch-Maschine-Systems ermittelt und dann über Regeln, die im Gedächtnis als sog. Mentale Modelle (Gentner u. Stevens, 1983; Johnson-Laird, 1983) oder Schemata in der Form "wenn ..., dann ..." gespeichert sind, mit Handlungen verknüpft. Ihnen muss im Vergleich zu sensomotorischen Tätigkeiten mehr Aufmerksamkeit und Zeit gewidmet werden.

Wissensbasiertes Verhalten ist erforderlich, wenn z.B. unbekannte Aufgaben oder Probleme auftreten, für die es keine abgespeicherten Regeln gibt. Es muss dann ein Problemlöseprozess gestartet und ggf. mehrfach wiederholt werden. Ausgehend von den vorhandenen Informationen müssen dabei Hypothesen gebildet, Ziele definiert, Entscheidungen getroffen und Handlungen geplant und ausgeführt werden. Die Prozesse dieser Ebene sind deshalb kognitiv sehr anspruchsvoll und erfordern im Vergleich zu den Prozessen der anderen Ebenen die höchste Aufmerksamkeit und meiste Zeit.

Am Ende dieses Prozesse steht fest, welche Handlung aufgrund der anfänglich wahrgenommenen Reize ausgeführt werden soll. Allerdings liegen die Handlungen zunächst nur als neuronale Informationen vor und müssen in einem weiteren Schritt ausgeführt werden.

2.2.3 Ausführung von Handlungen

Die aus den wahrgenommenen Informationen abgeleiteten Handlungen werden durch entsprechende Reize des motorischen Systems in Form von z.B. Bewegungen und Kräfte ausgeführt. Das motorische System des Menschen besteht aus dem Skelett und den Muskeln (Bullinger, 1994). Das Skelett ist ein bewegliches Stützsystem, bestehend aus Knochen, die durch Gelenke beweglich miteinander verbunden sind. Die Muskeln bestehen aus Muskelfasern, die durch nervöse Reize kontrahiert werden. Durch Kontraktion der Muskeln werden entweder die notwendigen Kräfte (isometrische Muskelkontraktion), die notwendigen Bewegungen (isotonische Muskelkontraktion) oder eine Kombination aus Kräften und Bewegungen (auxotonische Muskelkontraktion) erzeugt.

2.2.4 Aufmerksamkeit

Die beschriebenen kognitiven Prozesse erfordern Aufmerksamkeit. Aufmerksamkeit ist eine, aufgrund der beschränkten Verarbeitungskapazität des Gehirns, begrenzte Ressource, die es dem Menschen erlaubt, bestimmte Reize aus der Umwelt heraus zu filtern und weiter zu verarbeiten (Wickens u. Carswell, 1997; DIN-EN894-1, 1997). Man unterscheidet drei Arten von Aufmerksamkeit. Die selektive Aufmerksamkeit bestimmt, welchen Reizen aus der Umwelt überhaupt Aufmerksamkeit gewidmet werden soll. Die fokussierte Aufmerksamkeit dient dazu, sich auf einen ausgewählten Reiz zu konzentrieren, diesen weiter zu verarbeiten und sich von anderen Reizen nicht beeinflussen zu lassen. Wenn zwei oder mehr unterschiedliche Reize gleichzeitig verarbeitet werden, spricht man von geteilter Aufmerksamkeit.

Nach der Betrachtung der Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen werden in den folgenden Abschnitten die technischen Komponenten des Mensch-Maschine-Systems, die Anzeigen und Bedienelemente, näher betrachtet.

2.3 Anzeigen

Anzeigen sind ein wichtiger Teil der Mensch-Maschine-Schnittstelle und dienen nach DIN-EN894-1 (1997) "... der Darstellung von sich ändernden Informationen mit der Aufgabe, diese sichtbar, hörbar oder durch Berührung (taktile) unterscheidbar zu machen". Nach DIN-EN894-2 (1997) werden drei Typen von Anzeigen unterschieden: optische, akustische und haptische Anzeigen.

Optische bzw. visuelle Anzeigen sind gut geeignet, um große Informationsmengen an den Benutzer zu übertragen. Deshalb werden sie auch zunehmend in Form von großflächigen Displays in Fahr-

zeugen eingesetzt. Bei der Gestaltung optischer Anzeigen müssen die bekannten ergonomischen Gestaltungsregeln z.B. hinsichtlich ihrer Positionierung, Ablesbarkeit und Verständlichkeit beachtet werden.

Für die Gestaltung visueller Anzeigen, insbesondere auf Displays, spielen auch die sog. Gestaltgesetze eine wichtige Rolle (Abbildung 2.8). Sie gehen zurück auf die Gestaltpsychologie, die bereits Anfang des 20. Jahrhunderts bezüglich der visuellen Wahrnehmung davon ausging, dass "...die erlebte Ganzheit mehr ist als die Summe seiner Teile" (Procter u. Procter, 1997). Nach dem Gesetz der Prägnanz werden Elemente, die sich von anderen durch ein bestimmtes Merkmal abheben, bevorzugt wahrgenommen. Unterbrechungen in Formen werden nach dem Gesetz der Geschlossenheit trotzdem als geschlossen wahrgenommen. Das Gesetz des gemeinsamen Schicksals besagt, dass Elemente, die sich gleichzeitig in eine Richtung bewegen, als Einheit wahrgenommen werden. Das Gesetz der Ähnlichkeit besagt, dass ähnliche Elemente (z.B. Farbe, Form, o.ä.) als zusammengehörig wahrgenommen werden. Nach dem Gesetz der Nähe werden Elemente mit kleinen Abständen als zusammengehörig wahrgenommen. Nach dem Gesetz der gemeinsamen Region werden Elemente, die von einer Kontur umgeben sind, als zusammengehörig wahrgenommen. Nach dem Gesetz der Verbundenheit werden Elemente, die mit einer Linie verbunden sind, als zusammengehörig wahrgenommen. Nach dem Gesetz der Kontinuität werden Elemente, die entlang kontinuierlicher Konturen angeordnet sind, als zusammengehörig wahrgenommen.

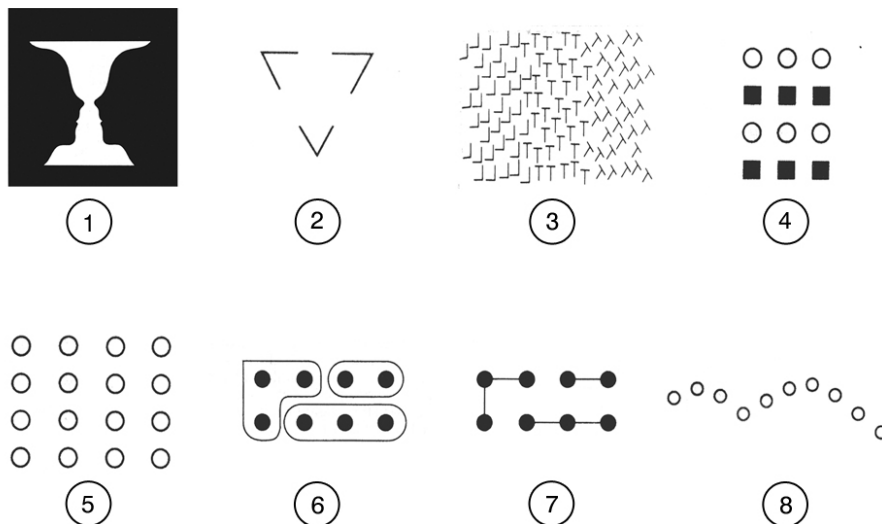


Abbildung 2.8: Gestaltgesetze der visuellen Wahrnehmung nach Procter u. Procter (1997): Gesetz der Prägnanz (1), Gesetz der Geschlossenheit (2), Gesetz des gemeinsamen Schicksals (3), Gesetz der Ähnlichkeit (4), Gesetz der Nähe (5), Gesetz der gemeinsamen Region (6), Gesetz der Verbundenheit (7), Gesetz der Kontinuität (8)

Im Gegensatz zu visuellen Anzeigen können über akustische Anzeigen nur relativ wenig Informationen übertragen werden. Sie eignen sich aber gut für Warnungen und Hinweise. Für akustische Anzeigen ist es wichtig, dass sich ihre Frequenzen vom Umgebungsgeräusch ausreichend abheben und im

Wahrnehmungsbereich des menschlichen Gehörs (ca. 20-20.000Hz) liegen. Dabei ist zu beachten, dass die maximal wahrnehmbare Frequenz mit zunehmendem Alter stark abnimmt (Bullinger, 1994).

Haptische Anzeigen nutzen haptisch wahrnehmbare Eigenschaften von Gegenständen zur Übermittlung von Informationen. Bei haptischen Anzeigen werden kinästhetische und taktile Anzeigen unterschieden. Während bei taktilen Anzeigen Informationen über Oberflächen und Strukturen eines Objekts an den Benutzer übertragen werden, können bei kinästhetischen Anzeigen Informationen in Form von Kräften, Momenten und (Gelenk-)Stellungen an den Benutzer übertragen werden (Burdea, 1996; DIN-EN894-2, 1997). Haptische Anzeigen sollten nach DIN-EN894-2 andere Anzeigen vor allem unterstützen und nur dann alleine benutzt werden, wenn die Wahrnehmung über andere Sinne durch Krankheit oder Umwelteinflüsse wie Lärm oder Dunkelheit eingeschränkt ist.

Im Bereich der taktilen Anzeigen gibt es Technologien, die es ermöglichen, über eine Matrix bestehend aus kleinen Stiften taktile Muster zu bilden. Diese Technologie kommt, wie in Abbildung 2.9 gezeigt, z.B. bei Hilfsmitteln für Blinde zur Darstellung der Brailleschrift (Schlingensiepen, 2007) zum Einsatz. Auch im Bereich der Telemanipulation und Virtual Reality kommen taktile Displays zum Einsatz, um bspw. Oberflächeneigenschaften virtueller Objekte erfahrbar zu machen (Iwata u. a., 2001; Jungmann u. Schlaak, 2002; Wagner u. a., 2002). Als Aktoren kommen dabei elektromechanische, elektromagnetische, pneumatische und piezoelektrische Technologien zum Einsatz.

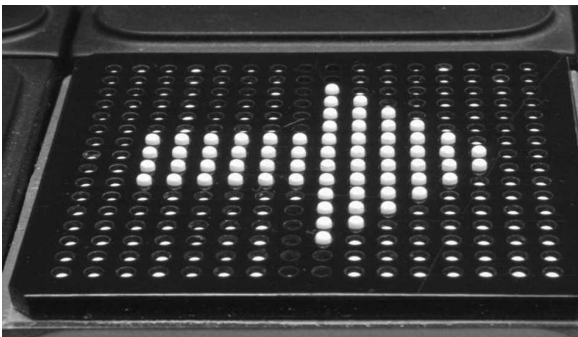


Abbildung 2.9: Taktiles Display "TIM" als Hilfsmittel für Blinde (Schlingensiepen, 2007)

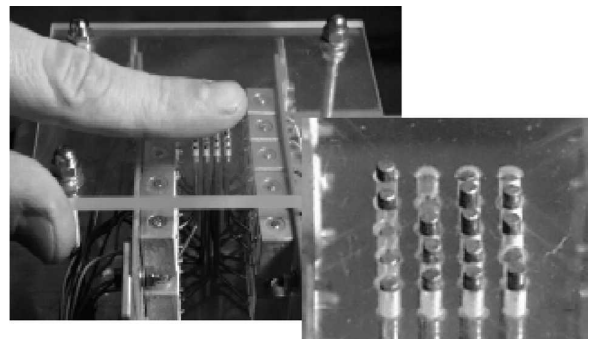


Abbildung 2.10: Taktiles Display für die Telemanipulation (Jungmann u. Schlaak, 2002)

2.4 Bedienelemente

Bedienelemente sind neben den Anzeigen ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Mensch-Maschine-Schnittstelle und stehen im Fokus dieser Arbeit. Aufgrund der vielfältigen Verwendung des Begriffs Bedienelement und seiner Synonyme soll an dieser Stelle zunächst der Begriff geklärt werden.

Rühmann (1993a) definiert Bedienelemente als "... alle technischen Einrichtungen, an der Eingabeseite der Maschine, die durch physikalischen Kontakt mit der Körperoberfläche aktiviert werden

(z.B. Schalter, Hebel, berührungsempfindliche Bildschirme)". Über diese Elemente wirkt der Benutzer kontinuierlich oder diskontinuierlich auf die Maschine ein. Als Synonyme verwendet er die Begriffe Steuerarmaturen bzw. Stellteile. Ein Stellteil ist nach DIN-EN894-1 (1997) "...derjenige Teil eines Stellteil-Systems, der vom Benutzer z.B. durch Druck, direkt betätigt wird". Nach Neudörfer (1981) sind Bedienteile "...Kontaktstellen der Arbeitsperson mit den jeweiligen Subsystemen des Arbeitsmittels." Sie sind bewusst gestaltete Elemente mit geführten Bewegungen und bestehen aus einem Kontaktteil und einem konstruktiven Teil. Sie ermöglichen es dem Benutzer, durch bewusstes Berühren und durch mit Kraftwirkungen verbundenen Bewegungen seiner Extremitäten, mechanische Energie und/oder Informationen in ein System einzuleiten. Nach Bullinger (1994) dienen Stell- bzw. Bedienteile der Übermittlung von Informationen an ein technisches System in Form von Handlungen. Diese Elemente können entweder Schalter, Hebel und Knöpfe oder komplexe Informationeingabesysteme wie Spracheingabesysteme, Tastaturen oder Mäuse sein. Die DIN-EN-ISO9241-9 (2000) verwendet im Kontext von Bildschirmarbeit den Begriff Eingabesystem/-mittel und fasst darunter alle Bedienelemente zusammen, die zur Informationseingabe benötigt werden. Ein Bedienelement dient nach VDI2258 (2001) der "...Übertragung von Geradbewegungen (Drücken, Ziehen, Schieben) oder Drehbewegungen (Drehen, Schwenken) auf nachgeordnete Stellteile durch Betätigung mittels Finger Hand oder Fuß".

Es wird deutlich, dass die Begriffe Bedienelement, Bedienteil, Stellteil, Steuerarmatur oder Eingabesystem in den Definitionen synonym benutzt werden und nicht eindeutig unterscheidbar sind. Der Begriff Stellteil impliziert jedoch häufig, dass sich die Information analog zur Stellkraft und/oder Stellweg verhält, wohingegen über Bedienelemente und Eingabesysteme in der Regel Informationen in indirekter Form, z.B. als elektrische oder digitale Signale, an das System übermittelt werden.

Für diese Arbeit wird in den folgenden Abschnitten der Begriff Bedienelement verwendet und folgendermaßen definiert: Bedienelemente dienen der Übertragung von Informationen, die der Benutzer durch Bedienhandlungen diskret oder kontinuierlich in das Maschine-System einleitet, um bewusste Änderungen des Systemzustandes vorzunehmen. Umgekehrt können Bedienelemente auch als Anzeigen des Systems dienen, um akustische, visuelle oder insbesondere haptische Informationen an den Benutzer zu übertragen.

2.4.1 Aktive und passive Bedienelemente

Bei Bedienelementen wird zwischen aktiven und passiven Bedienelementen unterschieden. Passive Bedienelemente können aufgrund ihres konstruktiven Aufbaus ein passives Feedback durch ihre Betätigungshaptik geben. Die Betätigungshaptik steht nicht im Fokus dieser Arbeit, es gibt jedoch vor dem Hintergrund der Wertanmutung von Bedienelementen zahlreiche Arbeiten zu diesem Thema (Bubb, 2001; Anguelov u. Schmauder, 2006; Doerrer, 2002; Reisinger u. a., 2005; Reisinger, 2006; DaimlerChrysler AG, 2006b).

Aktive Bedienelemente zeichnen sich im Gegensatz zu passiven Bedienelementen dadurch aus, dass sie auch ohne äußere Einwirkung über Kraft- oder Bewegungsänderungen Informationen an den

Benutzer übertragen können (Bullinger u. a., 1997). Eine gute Übersicht zum Stand der Technik aktiver Bedienelemente findet man u.a. bei Burdea (1996); Mücke (1999); Penka (2001) und Zeilinger (2005).

Die meisten aktiven Bedienelemente basieren auf Elektromotoren und einem Messsystem für Drehwinkel und/oder Drehmoment (Burdea, 1996; Yang u. a., 2003). Das Bedienelement ist mechanisch, z.B. über ein Getriebe oder Hebel mit der Welle des Elektromotors verbunden. In einem geeigneten Regelkreis wird dann z.B. dem Drehwinkel eines Bedienelements ein bestimmtes Drehmoment des Elektromotors zugeordnet. Abhängig vom Drehwinkel kann so die Betätigungskraft oder das Betätigungsmoment eines Bedienelements gezielt beeinflusst werden. Problematisch beim Einsatz von Elektromotoren ist häufig die Realisierung großer Drehmomentgradienten. Sie führen häufig zu unerwünschten Schwingungen des Bedienelements, denen jedoch durch den Einsatz einer zusätzlichen mechanischen oder elektromagnetischen Bremse begegnet werden kann (Badescu u. a., 2002).

2.4.2 Adaptierbare, adaptive und variable Bedienelemente

Neben aktiven und passiven Bedienelementen ist es sinnvoll, adaptierbare, adaptive und variable Bedienelemente zu unterscheiden. Nach Herczeg (1994) ist Adaptierbarkeit die Anpassung und Individualisierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und ihrer Bedienelemente durch den Benutzer an seine Anforderungen.

Adaptivität beschreibt dagegen die Anpassung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und ihrer Bedienelemente durch das System. Nach Akyol u. a. (2001) wird bei der Adaptivität zwischen Situationsadaptivität, Benutzeradaptivität und Aufgabenadaptivität unterschieden. Während die Situationsadaptivität eines Systems die Anpassung an Umweltgrößen beschreibt (z.B. an Außentemperatur, Witterung, Verkehrsdichte usw.), ist mit Benutzeradaptivität die Anpassung an den Benutzer unter Berücksichtigung seines physiologischen Zustands und seiner Vorerfahrung gemeint. Im Hinblick auf Bedienelemente ist vor allem die Aufgabenadaptivität von Bedeutung. Sie beschreibt die Anpassung des Bedienelements an eine bestimmte Bedienaufgabe.

Voraussetzung sowohl für Adaptierbarkeit als auch Adaptivität ist, dass ein Bedienelement seine Eigenschaften verändern kann. Bedienelemente, die die Fähigkeit zur Veränderung ihrer Eigenschaften besitzen, werden als variable Bedienelemente bezeichnet.

Nach der allgemeinen Betrachtung und begrifflichen Definition ist die Gestaltung von Bedienelementen Gegenstand des nächsten Abschnitts.

2.5 Gestaltung von Bedienelementen

Die Gestaltung von Bedienelementen hängt sehr stark von deren Verwendungszweck, Einbaulage und Betätigungshäufigkeit ab. Ein Bedienelement "von der Stange" gibt es praktisch nicht. Deshalb findet

man in der Literatur eher allgemein gehaltene Empfehlungen zur Gestaltung von Bedienelementen u.a. bei Schmidtke (1993); Bullinger (1994); Salvendy (1997); Zühlke (2004); Seeger (2005). In diesen Standardwerken der Ergonomie werden viele Eigenschaften von Bedienelementen beschrieben, die vom Entwickler aktiv gestaltet werden können. Es ist daher sinnvoll, diese Eigenschaften auch als Gestaltungsparameter von Bedienelementen zu bezeichnen.

2.5.1 Gestaltungsparameter von Bedienelementen

Die Bandbreite der Gestaltungsparameter reicht von der konstruktiven, formalen und farblichen Gestaltung der Bedienelemente über deren Positionierung bis hin zu deren Wechselwirkung mit anderen Bedienelementen, Anzeigen und dem Menschen. Trotzdem gibt es Gestaltungsparameter, die durchgängig in der arbeitswissenschaftlichen Literatur zu finden sind und somit als die wichtigsten Gestaltungsparameter betrachtet werden können. Dabei handelt es sich einerseits um Parameter, die der klassischen Ergonomie zugerechnet werden können, wie z.B. die Abmessungen, Betätigungskräfte- und Momente oder die Greifart. Darüber hinaus findet man auch Parameter, die stärker den kognitiven Aspekt bei der Gestaltung betonen, wie z.B. die Codierung, die Kompatibilität oder das Mapping. Diese und weitere, wichtige Gestaltungsparameter sind in Abbildung 2.11 übersichtlich dargestellt und werden in den nächsten Abschnitten näher beschrieben.

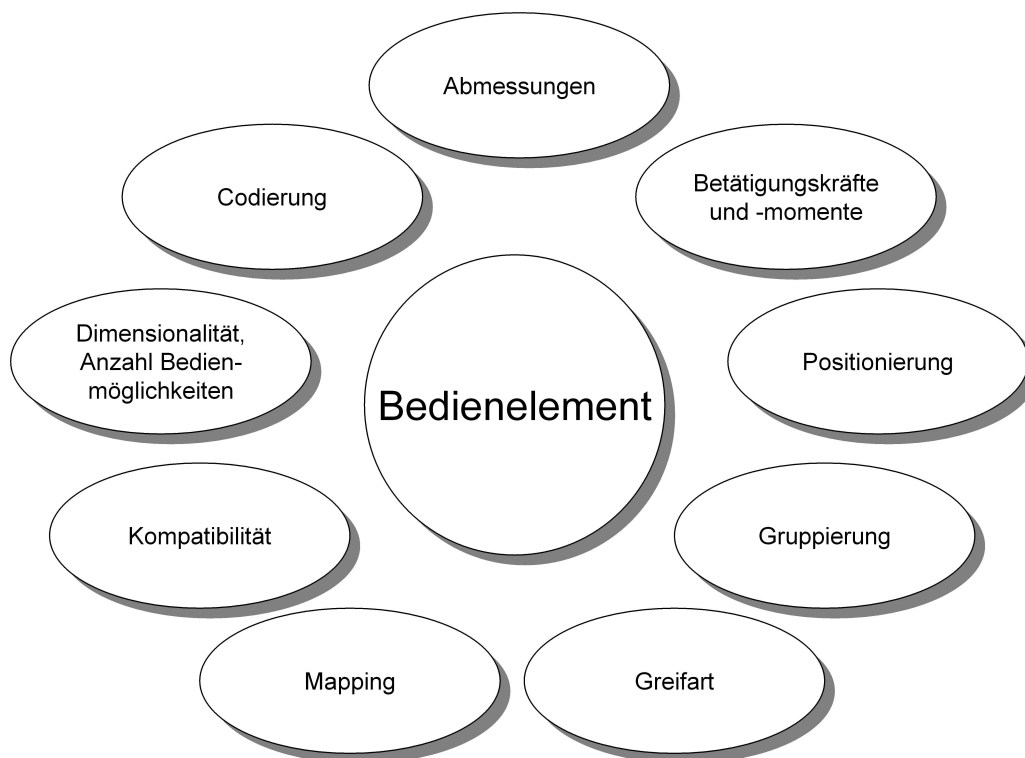


Abbildung 2.11: Wichtige Gestaltungsparameter eines Bedienelements

Abmessungen

Die Abmessungen eines Bedienelements sollten sich an den anthropometrischen Daten zukünftiger Nutzer orientieren. Ausführliche Daten dazu sind bspw. in der Normung (DIN33402-2, 1986) und bei Jürgens (1993) zu finden. Geeignete Abmessungen für z.B. Tasten, Drehsteller, Joysticks u.v.m. findet man bei Rühmann (1993b) und insbesondere in den Lösungskatalogen von Neudörfer (1981) und der DIN-EN894-3 (2000).

Betätigungskräfte und -momente

Auch bei den Betätigungskräften und -momenten sollten die anthropometrischen Daten zukünftiger Benutzer beachtet werden. Die Körperkräfte des Menschen können der DIN33411-1 (1982) entnommen werden. Maximale Betätigungskräfte und -momente dürfen bei der Gestaltung von Bedienelementen nicht über- bzw. minimale Betätigungskräfte und -momente nicht unterschritten werden (DIN-EN894-3, 2000; VDI2258, 2001; Bullinger, 1994; Rühmann, 1993b). Dabei sollte auch die Händigkeit der Benutzer beachtet werden (Schmauder, 1996). Bei zu kleinen Kräften und Momenten besteht die Gefahr, dass die haptische Rückmeldung (Betätigungshaptik) verloren geht oder es zu unbeabsichtigten Betätigungen kommt, die zu Bedienfehlern führen können. Bei zu großen Kräften wird die Betätigung erheblich erschwert bis unmöglich gemacht (Rühmann, 1993b; DIN-EN894-3, 2000; Bullinger, 1994). Empfehlungen zu Minimal- und Maximalkräften verschiedener Bedienelemente findet man ebenfalls bei Rühmann (1993b), Neudörfer (1981) und in der DIN-EN894-3 (2000).

Positionierung

Bedienelemente sollten grundsätzlich so im Greifraum positioniert sein, dass sie erkennbar, erreichbar und bedienbar sind. Dies gilt insbesondere für Bedienelemente, die besonders häufig bedient werden. Sie sollten außerdem so positioniert sein, dass Fehlbedienungen minimiert werden und sie für Rechts- und Linkshänder gleichermaßen gut bedienbar sind (Schmidtke u. Rühmann, 1993; Schmauder, 1996; DIN-EN894-4, 2004).

Gruppierung

Bedienelemente sollten zu Gruppen zusammengefasst werden. Dabei können sie entweder funktionell, aufgrund ihrer Funktionen, oder sequenziell, aufgrund ihrer Betätigungsabfolge, zusammengefasst werden (Schmidtke u. Rühmann, 1993; Bullinger, 1994; Preim, 1999; DIN-EN894-4, 2004).

Greifarten

Bei der Betätigung eines Bedienelements ist eine Kopplung zwischen Mensch und Bedienelement erforderlich². Es sollte bei der Auslegung von Bedienelementen auf eine, der Bedienaufgabe angemessene, Greifart geachtet werden. Dabei werden sowohl bei Bullinger (1994) als auch in der DIN-EN894-3 (2000) die in Abbildung 2.12 dargestellten Greifarten unterschieden. Kontaktgriffe eignen sich gut zur Betätigung von Tasten. Zufassungsgriffe eignen sich dagegen gut zur Betätigung von Dreh- und Schiebestellern. Umfassungsgriffe eignen sich für die Einleitung großer Kräfte z.B. bei der Betätigung von Hebeln.

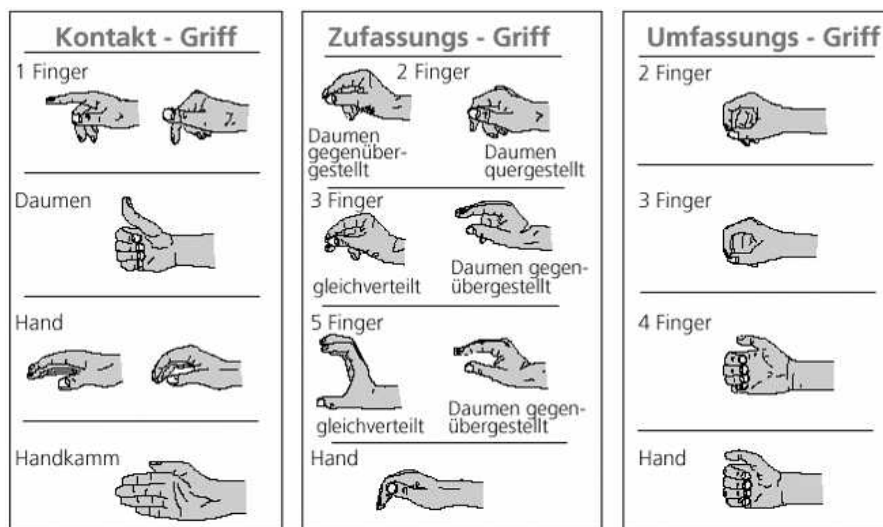


Abbildung 2.12: Systematik der Greifarten bei der Betätigung von Bedienelementen nach Bullinger (1994)

Mapping und Sinnfälligkeit

Mapping beschreibt nach Norman (1989) allgemein die deutlich erkennbare Beziehung zwischen zwei Dingen. Im deutschen Sprachraum synonym verwendete Begriffe für Mapping sind Sinnfälligkeit (Vogel, 2001; Seeger, 2001) und Eindeutigkeit DIN-EN-ISO9241-9 (2000). Unter Sinnfälligkeit wird eine deutlich wahrnehmbare und erkennbare Wechselwirkung zwischen zwei oder mehreren Komponenten wie bspw. Anzeigen und Bedienelemente einer Mensch-Maschine-Schnittstelle verstanden (Vogel, 2001). In der DIN-EN-ISO9241-9 (2000) wird unter dem Begriff der Eindeutigkeit gefordert, dass der beabsichtigte Gebrauch eines geeignet gestalteten Eingabemittels bzw. Bedienelements für eine Elementaraufgabe entweder eindeutig oder leicht erkennbar sein sollte. Sowohl Mapping und Sinnfälligkeit als auch Eindeutigkeit beziehen sich also auf die klare Erkennbarkeit von Zusammenhängen zwischen Bedienelementen, Anzeigen und Bedienaufgaben innerhalb der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Allerdings stellt gutes Mapping noch nicht sicher, dass der Zusammenhang auch den Erwartungen des Benutzers entspricht.

²Eine Ausnahme bilden Bediensysteme, die über Gesten oder Annäherung berührungslos bedient werden.

Kompatibilität

Kompatibilität beschreibt im Unterschied zum Mapping allgemein den Zusammenhang zwischen den technischen Komponenten der Mensch-Maschine-Schnittstelle, der Wirklichkeit und den Eigenschaften und Fähigkeiten der Benutzer. Norman (1989) spricht in diesem Zusammenhang von einem natürlichen Mapping, wenn die Beziehung zwischen z.B. Bedienelementen und ihrer Wirkung auf Analogien und kulturellen Standards basiert. Ein Eingabemittel bzw. Bedienelement wird nach DIN-EN-ISO9241-9 (2000) als kompatibel definiert "... wenn seine Ausführung den kognitiven und anthropometrischen Eigenschaften und biomechanischen Fähigkeiten der vorgesehenen Benutzer Rechnung trägt". Kompatibilität nach DIN-EN894-4 (2004) meint die "Übereinstimmung zwischen dem Verhalten des Operators und den Merkmalen der Mensch-Maschine-Schnittstelle". Betrachtet man den Begriff der Kompatibilität unter dem Aspekt der Informationsübertragung zwischen Maschine als Sender und Mensch als Empfänger, liegt eine kompatible Anordnung von Anzeigen- bzw. Bedienelementen dann vor, wenn der Decodierungsaufwand für den Benutzer an der Mensch-Maschine-Schnittstelle (gemessen in Zeit und Fehlern) bzw. bei der Informationsverarbeitung minimal ist (Timpe (1990); Hoyos (1974) nach Schmidtke u. Rühmann (1993)). Bei der Kompatibilität werden folgende Typen unterschieden:

- Reiz-Reiz-Kompatibilität
- Reiz-Reaktions-Kompatibilität
- Räumliche Kompatibilität
- Bewegungskompatibilität
- Primäre äußere Kompatibilität
- Primäre innere Kompatibilität
- Sekundäre Kompatibilität

Reiz-Reiz-Kompatibilität basiert nach Schmidtke u. Rühmann (1993) auf den Erwartung des Benutzers über die Beziehung zwischen Anzeige und Wirklichkeit und ist daher vor allem für die Anzeigengestaltung von Bedeutung.

Im Sinne der Bedienelementgestaltung bedeutet Reiz-Reaktions-Kompatibilität nach Schmidtke u. Rühmann (1993) die Vereinbarkeit von Bewegungstereotypen mit dem Funktionseffekt bzw. mit der intendierten Bewegungsrichtung des Systems. Der Terminus Reiz-Reaktions-Kompatibilität (engl. Stimulus-Response Compatibility) wurde erstmals von Fitts u. Seeger (1953) verwendet. Sie definieren die Reiz-Reaktions-Kompatibilität folgendermaßen: "Eine Handlung enthält kompatible Reiz-Reaktions-Vorgänge in dem Umfang, dass der Handlung oder Aktivität innewohnende Mix aus Reiz und Reaktion sich in erster Linie als Informationstransfer darstellt." Gemäß diesem informationstheoretischen Zusammenhang impliziert Reiz-Reaktions-Kompatibilität eine direkte Umwandlung von Informationen durch Codierung und Decodierung. Wenn die Kompatibilität maximal sein soll, muss der Decodierungsaufwand folglich minimal werden. In der Praxis bedeutet eine hohe Reiz-Reaktions-Kompatibilität, dass ein bestimmter Reiz, z.B. eine Anzeige, praktisch ohne Nachdenken beim Benutzer eine bestimmte Reaktion, z.B. eine Bedienhandlung, auslöst.

Das Prinzip der räumlichen Kompatibilität (engl. Spatial Compatibility) bezieht sich auf die Anordnung von Bedienelementen und Anzeigen, die in einem eindeutigen und erkennbaren Zusammenhang stehen sollten. Die Bedienelemente sollten daher entweder genau gleich wie die Anzeigen (Prinzip der Kollokation) oder möglichst ähnlich (Prinzip der Kongruenz) angeordnet sein (Schmidtke u. Rühmann, 1993; Wickens u. Carswell, 1997). Das Prinzip der räumlichen Kompatibilität ist dabei mit dem bereits vorgestellten Begriff des "Mappings" von Norman (1989) vergleichbar und kann deshalb auch synonym verwendet werden.

Die Bewegungskompatibilität (Movement Compatibility) definieren Wickens u. Carswell (1997) als den Aspekt der Reiz-Reaktions-Kompatibilität, der den Zusammenhang von Bewegungen der Bedienelemente und den Veränderungen der Anzeige beschreibt (I-R-S Intention-Response-Stimulus Compatibility). Eine ähnliche Definition liefern Bullinger u. a. (1997): "Compatibility exists, if the direction of movement of the control coincides with the direction of movement of the technical system or the observable system variables." Es gibt also stereotype Zusammenhänge zwischen Bewegungen von Bedienelementen und Bewegungen von Anzeigen, z.B. eine Drehung des Bedienelements im Uhrzeigersinn bewirkt eine Bewegung eines Zeigers nach rechts, oben und entspricht einer Wertzunahme. Die Bewegungen sowohl des Bedienelements als auch der Anzeige sollten dabei möglichst ähnlich sein, weshalb für lineare Anzeigen lineare Bedienelemente und für rotatorische Anzeigen rotatorische Bedienelemente verwendet werden sollten. Ausführliche Hinweise zu stereotypen Bedienelement-Anzeige-Zusammenhängen sind in der DIN-EN894-4 (2004) zusammengestellt.

Im Rahmen der systemergonomischen Gestaltung (Bubb, 1993b; Spanner, 1993; Rassl, 2004) wird zwischen primärer und sekundärer Kompatibilität und innerhalb der primären nochmals in innere und äußere Kompatibilität unterschieden. Nach Rassl (2004) bezieht sich die primäre Kompatibilität auf den Zusammenhang zwischen Informationen, bezogen auf die Wirklichkeit, Anzeigen, Stellteile und innere Modelle. Unter sekundärer Kompatibilität wird dagegen der widerspruchsfreie Zusammenhang zwischen Bewegungsrichtung eines Bedienelements und dem Drehsinn z.B. einer Anzeige verstanden. Die äußere Kompatibilität beschreibt den Zusammenhang zwischen Informationen von Wirklichkeit, Anzeigen und Bedienelement, betrachtet dabei aber nicht den Zusammenhang mit den inneren Vorstellungen des Menschen. Die mentalen Modelle und Erfahrungen des Menschen werden erst bei der inneren Kompatibilität betrachtet. Anzeigen und Bedienelemente müssen mit den inneren Modellen des Menschen übereinstimmen, um eine primäre innere Kompatibilität zu gewährleisten.

Auf Grundlage dieser Ansätze zur Beschreibung der Kompatibilität und des Mappings bzw. der Sinnfälligkeit, wird für diese Arbeit unter Mapping ein erkennbarer Zusammenhang zwischen Bedienelementen und Anzeigen verstanden. Mapping beschreibt also die Zusammenhänge innerhalb der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Kompatibilität beschreibt dagegen den eindeutigen, auf Stereotypen basierenden Zusammenhang zwischen den kognitiven Fähigkeiten, Erwartungen bzw. mentalen Modellen des Benutzers und den Bedienelementen und Anzeigen der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Abbildung 2.13). Die sog. Reiz-Reaktions-Kompatibilität beschreibt insbesondere den eindeutigen Zusammenhang zwischen Informationen, die der Benutzer über Bedienelemente oder Anzeigen erhält und seinen Handlungen, die er aufgrund dieser Informationen ausführt.

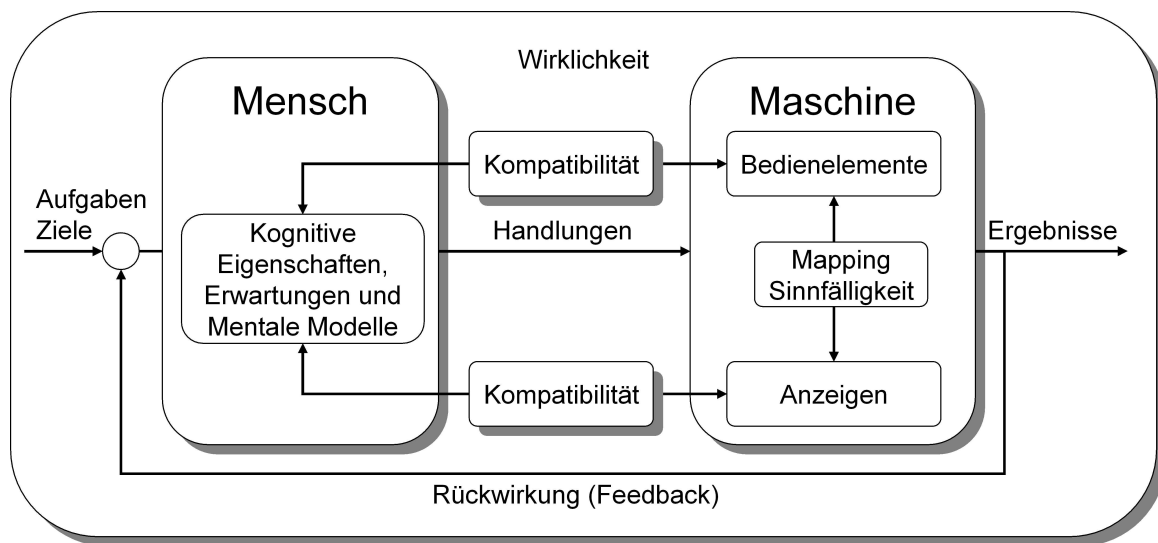


Abbildung 2.13: Vorschlag zur Unterscheidung von Mapping und Kompatibilität im Mensch-Maschine-Regelkreis

Anzahl von Bedienmöglichkeiten (Dimensionalität)

Norman (1989) fordert, dass es für jede Bedienhandlung genau ein gut sichtbares und natürlich gemapptes, d.h. kompatibles, Bedienelement geben sollte. Ein System sei nämlich genau dann leicht zu benutzen, wenn die Anzahl der möglichen Handlungen ersichtlich ist und Bedienelemente und Anzeigen natürliche Mappings nutzen. Auch Bubb (1993a) weist darauf hin, dass nicht mehr Bedienelemente zur Verfügung gestellt werden sollten, als für die aktuelle Bedienaufgabe nötig sind. Rühmann (1993a) spricht in diesem Zusammenhang von der Dimensionalität der Bedienaufgabe, die mit der Anzahl der im Bedienelement konstruktiv vorgesehenen Freiheitsgrade übereinstimmen sollte. Sowohl Rühmann (1993a) als auch Bubb (1993a) beziehen sich dabei auf die sechs theoretisch möglichen Freiheitsgrade eines Bedienelements. Es ist darüber hinaus sinnvoll, diese Regel auf die Anzahl möglicher Bedienelemente z.B. Tasten zu übertragen. Dann sollten nicht mehr Bedienelemente zur Verfügung gestellt werden, als für die aktuelle Bedienaufgabe sinnvoll sind. Nach Ginnow-Merkert (2003) hätte ein ausgeschaltetes Gerät dann nur noch ein einziges sinnvolles Bedienelement - den Einschalter. Gelingt es in Abhängigkeit von der Aufgabe nur die notwendige Anzahl von Bedienelementen und Anzeigen zur Verfügung zu stellen und damit die Anzahl der Informationen und Handlungsmöglichkeiten zu reduzieren, lassen sich zudem Verbesserungen hinsichtlich der Reaktionszeiten erzielen (Wickens u. Carswell, 1997), was sich positiv auf die Bedienbarkeit auswirken kann.

Der Zusammenhang zwischen Anzahl von Bedienmöglichkeiten und Bedienzeiten wird anhand des von Hick (1952) und Hyman (1953) gefundenen Zusammenhangs zwischen Reaktionszeit und Anzahl möglicher Entscheidungen deutlich (vgl. auch Regan (1997); Wickens u. Carswell (1997); Bubb (1993b)). Nach diesem sog. Hick-Hyman-Law verhalten sich die Anzahl möglicher Auswahlpaare gleicher Wahrscheinlichkeit proportional zu den Reaktionszeiten der Handlungen (Gl. 2.1). Die Unsi-

cherheit bei der Entscheidung, ob der Benutzer überhaupt reagieren soll oder nicht, wird durch die Addition von eins berücksichtigt.

$$T_{Reaktion} = a + b \cdot \log_2(n + 1) \quad (2.1)$$

n = Anzahl gleich wahrscheinlicher Auswahlmöglichkeiten

a, b = Experimentell zu ermittelnde Konstanten

Abgesehen von der Reduzierung der Reaktionszeiten kann durch die Einschränkung von Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten durch Anpassung der Anzahl der Bedienmöglichkeiten die Bildung und Nutzung erlernter Regeln und Muster unterstützt werden. Insbesondere bei Aufgaben, deren Handlungen Abhängigkeiten oder Regeln unterliegen, können nach Zühlke (2004) Fehlbedienungen reduziert werden, "wenn die Mensch-Maschine-Schnittstelle diese Regeln erkennen lässt und aktiv unterstützt".

Codierung

Codierungsmaßnahmen dienen in Übereinstimmung zahlreicher Quellen der Verbesserung der visuellen und taktilen Erkenn- und Unterscheidbarkeit (Schmidtke u. Rühmann, 1993; Bullinger u. a., 1997; Zühlke, 2004; DIN-EN894-4, 2004). Zur Erleichterung der Identifikation von Bedienelementen kommen Größen-, Form-, Farb- und Positionscodierung sowie die Codierung mit Beschriftung und Symbolen in Betracht. Farbcodierung und Codierung mit Beschriftung und Symbolen sind visuelle Codierungen und sowohl von den Beleuchtungsbedingungen als auch von kulturellen und individuellen Fähigkeiten des Benutzers abhängig. Farben haben bspw. je nach Kulturkreis unterschiedliche Bedeutungen und die Farbwahrnehmung ist bei Farbenblindheit herabgesetzt. Größen-, Form- und Positionscodierung dienen der Unterstützung der visuellen Codierungen insbesondere bei schlechten Beleuchtungsbedingungen oder wenn der visuelle Kanal für andere Aufgaben genutzt werden soll. Optimal ist eine kombinierte und gleichzeitige Nutzung möglichst vieler Codierungen (Faerber, 2006; DIN-EN894-2, 1997). Mit Hilfe von Codierungsmaßnahmen können bei Bedienelementen deren Funktion, Zustand und Wirkung codiert werden.

Funktionscodierung kennzeichnet die Funktion, die mit dem Bedienelement bedient wird. Dazu sind in der Normung anwendungsspezifische, standardisierte Zeichensätze für die Beschriftung von Bedienelementen vorhanden (ISO2575, 2004; ISO7000, 1989). Bedienelemente können aber auch über ihre Form oder Stellung einen Hinweis auf ihre Funktion geben (Rühmann, 1993a). Jenkins (1947) verfolgte in diesem Zusammenhang das Ziel, für bestimmte Funktionen in Kampfflugzeugen Formen zu definieren, die es dem Piloten ermöglichen sollten, die Funktion eines Bedienelements allein durch Ertasten zu erkennen. Er führte dazu Untersuchungen zur Formcodierung bei Bedienelementen durch, aufgrund deren Ergebnisse sich bis heute formcodierte Stellteile für z.B. Landeklappen und Fahrwerk in Flugzeugen wiederfinden (Schmidtke u. Rühmann, 1993). Ähnlich den Formen von

Jenkins (1947) schlägt die DIN-EN894-2 (1997) Formen für taktile Anzeigen vor, die alleine durch Berührung voneinander unterscheidbar sind und so unterschiedliche Funktionen codieren könnten (Abbildung 2.14).

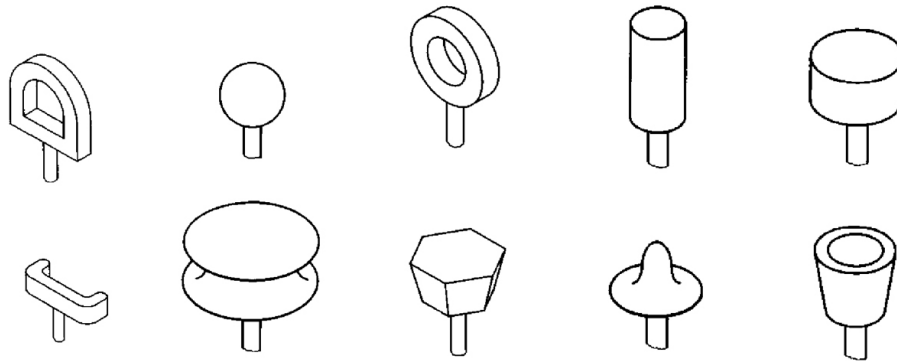


Abbildung 2.14: Formen, die nach DIN-EN894-2 (1997) durch bloße Berührung unterschieden werden können

Zustandscodierung kennzeichnet den Zustand einer Funktion und wird über eine geeignete Anzeige realisiert. Wenn z.B. eine farbige LED genutzt wird, kann der Zustand durch Ein- und Ausschalten der LED zusätzlich über die Farbe codiert werden (rot = nicht aktiv, grün = aktiv). Alternativ könnte sich die Farbe oder das Erscheinungsbild der Beschriftung ändern (z.B.: durchgestrichen, wenn nicht aktiv; leuchtet farbig, wenn aktiv). Bedienelemente können nach Rühmann (1993a) auch durch ihre Stellung oder durch haptische Rückmeldungen den Benutzer über Zustandsgrößen der Maschine informieren. Dies wäre z.B. durch den Einsatz aktiver Bedienelemente nach Abschnitt 2.4.1 denkbar.

Bei einer Wirkungscodierung erhält der Benutzer eine Information darüber, was er durch die Betätigung eines Bedienelements bewirken wird. Realisierbar ist eine Wirkungscodierung über eine entsprechende Beschriftung, indem man das Bedienelement z.B. mit: "Funktion A einschalten" oder "Funktion B ausschalten" beschriftet.

2.5.2 Entwicklung und Auswahl von Bedienelementen

Bei der Gestaltung der beschriebenen Parameter sollten die in Tabelle 2.2 aufgeführten Normen, Richtlinien und Vorgehensweisen beachtet werden³. Die Entwicklung technischer Systeme und somit auch von Bedienelementen sollte dem allgemein anerkannten Vorgehen nach VDI2221 (1993) und VDI2222-1 (1997) folgen. Nach DIN-EN894-1 (1997) sollte dabei auf folgende Kriterien im

³Über diese Normen hinaus befinden sich zur Zeit Normen, die die Gestaltung von Bedienelementen betreffen, im Entwurfsstadium. So wird zum Beispiel an einer Norm im Rahmen der DIN 894-Serie zur Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen gearbeitet (DIN-EN894-4, 2004). Darin wird zur Zeit ein Gestaltungsverfahren hinsichtlich der An- und Zuordnung von Bedienelementen und Anzeigen entwickelt. Auch für die ISO 9241-Serie liegt ein Entwurf zur Gestaltung von Eingabegeräten vor (DIN-EN-ISO9241-400, 2005).

Sinne von Leitsätzen bei der Gestaltung von Bediensystemen geachtet werden: Aufgabenangemessenheit, Selbsterklärungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlerrobustheit sowie Anpassbarkeit und Erlernbarkeit. Diese Leitsätze überschneiden sich inhaltlich mit den häufig zitierten Leitsätzen nach DIN-EN-ISO9241-10 (1996), die bei der Gestaltung von Dialogsystemen zu beachten sind: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit.

Tabelle 2.2: Normen, Richtlinien und Vorgehensweisen, die bei der Entwicklung von Bedienelemente beachtet werden sollten

Norm/Autor	Titel
DIN614-1 (2003)	Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze
DIN33402-2 (1986)	Körpermaße des Menschen
DIN33411-4 (1987)	Körperkräfte des Menschen
DIN-EN894-1 (1997)	Sicherheit von Maschinen - Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen
DIN-EN894-3 (2000)	Sicherheit von Maschinen - Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile
DIN-EN60073 (2003)	Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung Codierungsgrundsätze für Anzeigergeräte und Bedienteile
DIN-EN60447 (2004)	Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung Bedienungsgrundsätze
ISO7000 (1989)	Graphical Symbols for Use on Equipment
DIN-EN-ISO9241-1 (2002)	Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten
ISO11581-1 (2000)	Information technology - User system interfaces and symbols - Icon symbols and functions
DIN-EN-ISO13407 (2000)	Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme
VDI2221 (1993)	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte
VDI2222-1 (1997)	Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien
VDI2242 (1986)	Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse
VDI2258 (2001)	Feinwerkelemente - Bedienelemente - mechanisch
VDI3850-1 (2000)	Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen - Blatt 1: Grundlagen und Vorgehen
Neudörfer (1981)	Anzeiger und Bedienteile: Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlung
Dangelmaier u. a. (1990)	Eignung von handbetätigten Stellteilen für translatorische und rotatorische Stellbewegungen
Schmauder (1996)	Händigkeitsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Bei der ergonomischen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und ihrer Komponenten kann z.B. nach DIN614-1 (2003) vorgegangen werden, in der vier Stufen unterschieden werden:

- Ausarbeitung der Gestaltspezifikation
- Erstellung von Gestaltungsentwürfen
- Erstellung des detaillierten Gestaltungsentwurfs
- Durchführung der Gestaltung und Bewertung

In der Praxis bedeutet das für die Gestaltung, dass zuerst die ergonomischen Anforderungen für die Gestaltung der Maschine bzw. des Produkts festgelegt werden müssen. Auf deren Grundlage werden Vorentwürfe erstellt und anhand zuvor festgelegter Kriterien bewertet. Nach weiteren, zunehmend realistischen Bewertungen und den damit ggf. verbundenen Korrekturen wird ein Gestaltentwurf erstellt und dokumentiert. In der letzten Phase wird unter Einbeziehung von potenziellen Nutzern nachgewiesen, dass das neue System für den praktischen Gebrauch geeignet ist.

Die Einbeziehung zukünftiger Nutzer wird insbesondere in der DIN-EN-ISO13407 (2000) in Bezug auf interaktive Systeme gefordert. Danach sollen nach dem Verstehen und Festlegen des Nutzungskontextes die Anforderungen zukünftiger Benutzer festgelegt werden. Auf Grundlage dieser Anforderungen werden Gestaltlösungen entworfen und anschließend beurteilt. Dieser Ablauf muss solange wiederholt werden, bis das System die festgelegten Anforderungen erfüllt.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Bewertung von Bedienelementen von besonderem Interesse. Wie Bullinger (1994) betont, ist bei der Gestaltung von Bedienelementen eine "... systematische, deduktive Vorgehensweise sinnvoll. Induktive Ansätze, die mit der Festlegung der Form beginnen, sind meist zum Scheitern verurteilt bzw. erfordern viel Korrekturaufwand". Grundlegende Arbeiten zur Entwicklung und Auswahl von Bedienelementen lieferten Neudörfer (1981), Dangelmaier u. a. (1990), Schmauder (1996) und die DIN-EN894-3 (2000).

Neudörfer (1981) legte mit seiner Arbeit einen umfangreichen Lösungskatalog zur Auswahl von Bedienelementen vor. Dabei systematisierte er bekannte Bedienelemente anhand folgender Kriterien.

- Operand (Energie oder Information)
- Extremität (obere oder untere Extremität)
- Betätigung (z. B. Finger, Hand, Fuß)
- Kraftwirkung (Kraft, Drehmoment, kraftlos)
- Gestalt des Kontaktteils (z. B. Scheibe, Ring, Kugel)
- Kraftübertragung (reibschlüssig, formschlüssig)
- Physikalisches Prinzip (z.B. Hebel, Piezo)
- Aktivierung (z. B. Translation, Rotation, ohne Bewegung)

Auf Grundlage dieser Gliederung können aus seinem Lösungskatalog für nahezu beliebige Kombinationen der Kriterien geeignete Bedienelemente ausgewählt und einer bestimmten Bedienaufgabe zugeordnet werden.

Die Vorgehensweise nach Dangelmaier u. a. (1990) beginnt dagegen mit der Definition der Arbeitsaufgabe und der Entscheidung, ob eine Neukonzeption oder eine Überprüfung bzw. Korrektur eines bereits verwendeten Bedienelements durchgeführt werden soll. Im ersten Schritt werden zunächst die Anforderungen an das Bedienelement spezifiziert und im zweiten Schritt überprüft, welches Be-

dienelement aus einem Lösungskatalog diesen Anforderungen entspricht. Handelt es sich um eine Korrektur eines bereits verwendeten Bedienelements, wird geprüft, ob es den festgelegten Anforderungen entspricht. Ist das nicht der Fall, muss ein anderes Bedienelement ausgewählt werden. Dieser Ablauf muss solange wiederholt werden, bis ein geeignetes Bedienelement gefunden ist. Das ausgewählte Bedienelement kann dann realisiert werden. Wenn es sich um eine Überprüfung und Korrekturmaßnahme gehandelt hat, muss das bereits verwendete Bedienelement ggf. durch ein neues ersetzt werden.

Schmauder (1996) untersuchte die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle unter dem Aspekt der Händigkeit. Aufbauend auf den Vorgehensweisen von Neudörfer (1981) und Dangelmaier u. a. (1990) sollte aufgrund seiner Ergebnisse vor der Auswahl und Anordnung von Bedienelementen geprüft werden, ob die Händigkeit der Benutzer bei der Gestaltung berücksichtigt werden muss.

In der DIN-EN894-3 (2000) wird auf diesen Erkenntnissen aufgebaut und zur Auswahl von Stellteilen⁴ folgendes Vorgehen vorgeschlagen:

1. Aufgabenbewertung und Informationserfassung
2. Vorauswahl von Stellteilmfamilien
3. Festlegung geeigneter Stellteiltypen

Bei der Aufgabenbewertung und Informationserfassung sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Festlegung der allgemeinen, aufgabenbezogenen Anforderungen (Genauigkeit, Geschwindigkeit, Kraft)
2. Festlegung der spezifischen, aufgabenbezogenen Anforderungen (z.B. Tastkontrolle, Handschuhbedienung, u.a.)
3. Festlegung der Bewegungsmerkmale (Bewegungsart, -achse, -richtung, Kontinuität und ggf. Drehwinkel)
4. Festlegung der Greifmerkmale (z.B. Hand oder Finger bzw. Kontakt- oder Zufassungsgriff)

Die Vorauswahl von Stellteilmfamilien erfolgt auf Grundlage der allgemeinen aufgabenbezogenen Anforderungen und den Bewegungsmerkmalen. Die Festlegung eines geeigneten Stellteiltyps erfolgt unter Berücksichtigung der spezifischen, aufgabenbezogenen Anforderungen und den Greifmerkmalen. Dabei werden Stellteile in vier verschiedener Stellteilgruppen eingeteilt:

- translatorische Stellteile - diskrete Stellbewegungen
- translatorische Stellteile - kontinuierliche Stellbewegungen
- rotatorische Stellteile - diskrete Stellbewegungen
- rotatorische Stellteile - kontinuierliche Stellbewegungen

Zur methodischen Unterstützung dieses Vorgehens werden in der Norm Bewertungsblätter als Vorlage bereitgestellt (Abbildung 2.15).

⁴Es wird an dieser Stelle der Begriff Stellteil statt Bedienelement verwendet, um den Wortlaut der Norm möglichst exakt wiederzugeben

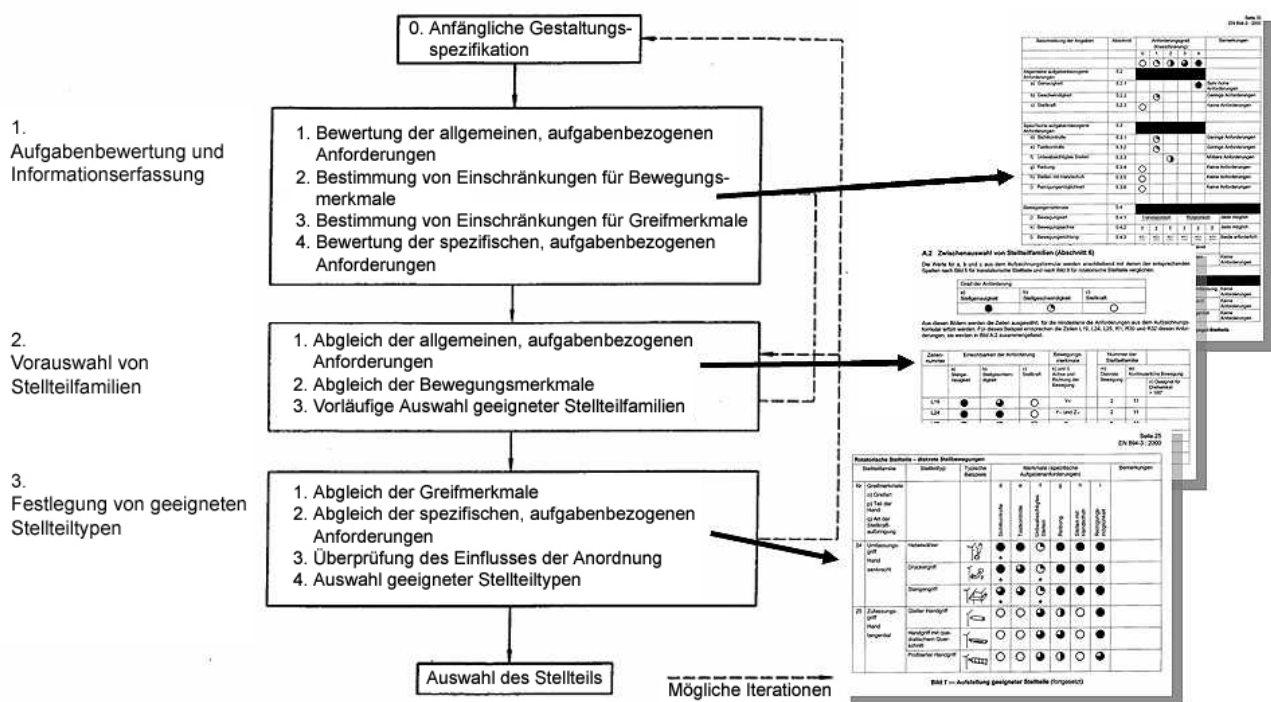


Abbildung 2.15: Vorgehensweise zur Auswahl und Entwicklung eines Bedienelements für eine Bedienaufgabe nach DIN-EN894-3 (2000)

Auch wenn anhand der Lösungskataloge nach DIN-EN894-3 (2000) und Neudörfer (1981) Bedienelemente ausgewählt werden können, ist es nicht immer möglich, diese direkt aus dem Lösungskatalog zu übernehmen. Vielmehr ist eine Anpassung an spezielle z.B. Sicherheits-, Qualitäts- oder Designanforderungen notwendig. Die vorgestellten Verfahren zur Auswahl von Bedienelementen gehen außerdem davon aus, dass es für jede Bedienaufgabe ein zugehöriges Bedienelement gibt.

Die Möglichkeit, mit einem Bedienelement zwei oder mehr unterschiedliche Aufgaben zu bedienen, wird in diesen Vorgehensweisen nicht berücksichtigt. Wie in Kapitel 4 noch zu sehen sein wird, ist dies bei zentralen Bedienelementen in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen jedoch häufig der Fall. Es stellt sich also die Frage, wie bei der Entwicklung eines Bedienelements für zwei Bedienaufgaben vorzugehen ist.

2.5.3 Vorgehensweise für die Entwicklung eines variablen Bedienelements

Da sich die bekannten Vorgehensweisen also nur für Bedienelemente mit einer Bedienaufgabe eignen, ist eine neue Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bedienelements für mehr als eine Bedienaufgabe notwendig. Eine geeignete Vorgehensweise ist in Abbildung 2.16 dargestellt. Diese Vorgehensweise stellt eine Erweiterung der Stellteilauswahl nach DIN-EN894-3 (2000) dar und ermöglicht so deren Anwendung auf Bedienelemente mit zwei unterschiedlichen Bedienaufgaben. Ausgehend von zwei Aufgabenbeschreibungen nach DIN-EN894-3 (2000) ist demnach zunächst zu klären, ob die

gleichen oder unterschiedliche Anforderungen an das Bedienelement gestellt werden. Bei gleichen Anforderungen kann ein Bedienelement wie in DIN-EN894-3 (2000) beschrieben, ausgewählt und realisiert werden. Stellen die Aufgaben unterschiedliche Anforderungen an das Bedienelement, muss mit der Entwicklung eines variablen Bedienelements begonnen werden. Dabei ist zunächst zu klären ob überhaupt eine Technologie verfügbar ist, mit der ein variables Bedienelement realisiert werden könnte. Ist dies nicht der Fall, muss der Prozess abgebrochen werden und entweder eine Technologieentwicklung gestartet oder die Anforderungen mindestens einer Bedienaufgabe überdacht und ggf. modifiziert werden. Ist eine variable Bedientechnologie vorhanden, wird für jede Aufgabe ein geeignetes Bedienelement ausgewählt, die dann beide in einem variablen Bedienelement realisiert werden. Das Bedienelement kann dann in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe die dafür optimale Ausprägung annehmen.

Es wäre prinzipiell auch möglich erst die Bedienelemente auszuwählen und dann eine variable Technologie zu entwickeln. Allerdings birgt das die Gefahr, dass sich keine Technologie entwickeln lässt, mit der die ausgewählten Bedienelemente variabel realisiert werden können. Wenn ein Technologiekonzept bereits bekannt ist, können zusätzliche, sich daraus ergebende Anforderungen bei der Auswahl von Bedienelementen berücksichtigt werden. Die Anwendung dieser Vorgehensweise wird in Kapitel 5 am Beispiel eines zentralen Bedienelements demonstriert.

2.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei Mensch-Maschine-Systemen Mensch und Maschine in einem Regelkreis miteinander interagieren. Der Mensch nimmt dabei Informationen, die er von der Maschine direkt oder indirekt über Anzeigen erhält mit Hilfe seiner Sinne wahr, verarbeitet diese in Form von neuronalen Informationen und leitet daraus Reaktionen bzw. Handlungen ab (Kognition). Durch Ausführung der Handlungen wirkt er über die Bedienelemente regulierend auf die Maschine ein.

Für die Gestaltung von Bedienelementen stehen zahlreiche Gestaltungsparameter zur Verfügung, wobei insbesondere die Kompatibilität von Bedienelementen, deren (Form-)Codierung sowie die Anzahl von Bedienmöglichkeiten für die späteren Untersuchungen von Bedeutung sein werden.

Neben den Gestaltungsparametern sind auch Vorgehensweisen zur Entwicklung und Auswahl von Bedienelementen bekannt. Jedoch gehen diese immer davon aus, dass mit einem Bedienelement immer nur eine Bedienaufgabe ausgeführt wird. Vor dem Hintergrund der Entwicklung variabler Bedienelemente gewinnen jedoch Bedienelemente, mit denen zwei oder mehr Bedienhandlungen ausgeführt werden können, zunehmend an Bedeutung. Deshalb wurde auf Grundlage bekannter Vorgehensweisen eine Vorgehensweise zur Entwicklung variabler Bedienelemente erarbeitet.

Nach der Betrachtung der allgemeinen, theoretischen Grundlagen der Mensch-Maschine-Systeme und deren Gestaltung steht das Mensch-Maschine-System Fahrer und Fahrzeug, insbesondere die Bedienung des Fahrzeugs, im Fokus des nächsten Kapitels.

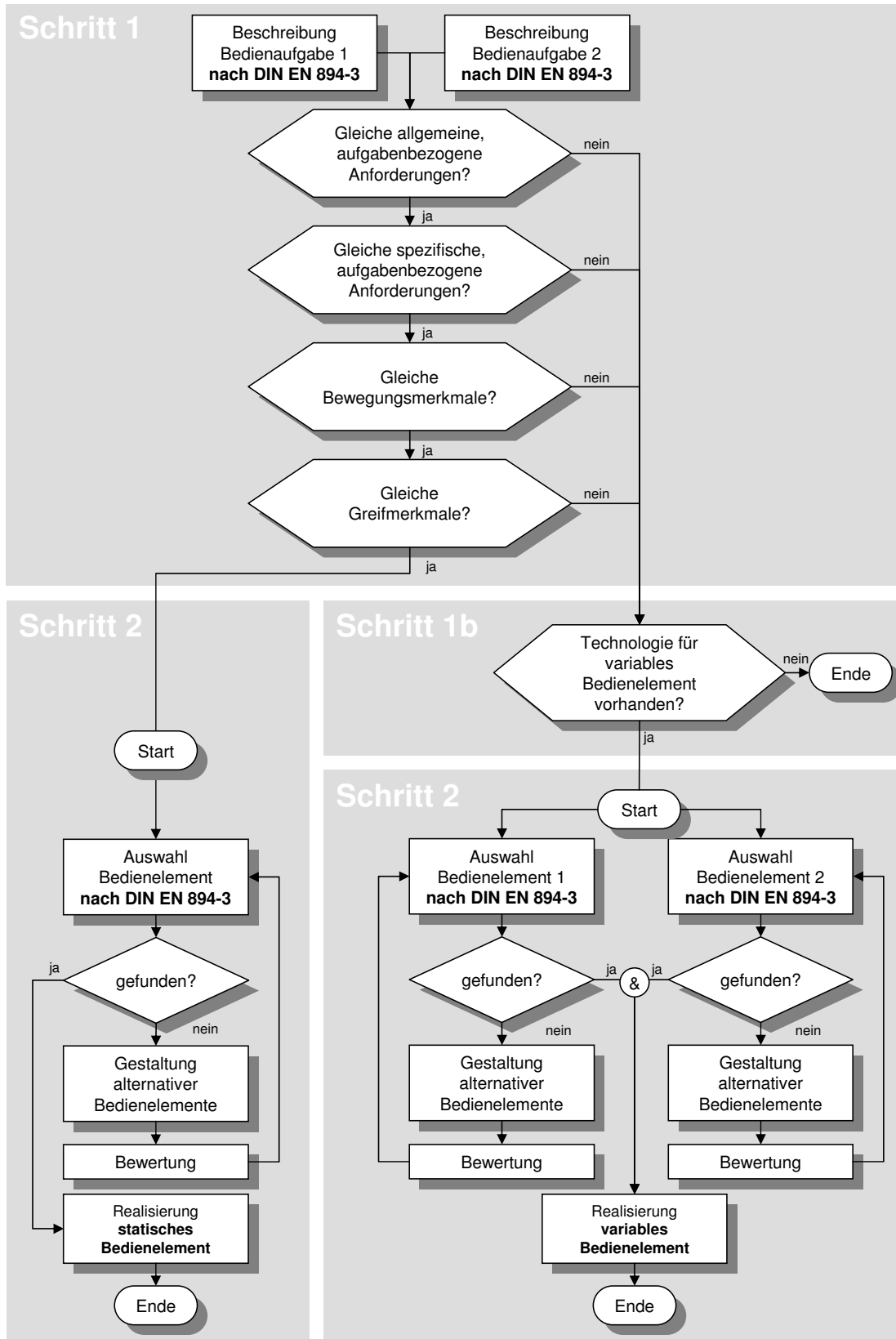


Abbildung 2.16: Vorgehensweise zur Auswahl und Entwicklung eines Bedienelements für zwei Bedienaufgaben

3 "Bedienung" im Fahrzeug

In diesem Kapitel werden neben der Fahrzeugführung die Bedien- und Anzeigesysteme in Fahrzeugen sowie deren Gestaltung beschrieben und die Inhalte der später folgenden Untersuchungen abgeleitet. Für einen Überblick über Art und Anordnung der Bedien- und Anzeigesysteme im Fahrzeug wird zunächst ein aktuelles Bedien- und Anzeigesystem beispielhaft beschrieben.

3.1 Bedienelemente und Anzeigen im Fahrzeug

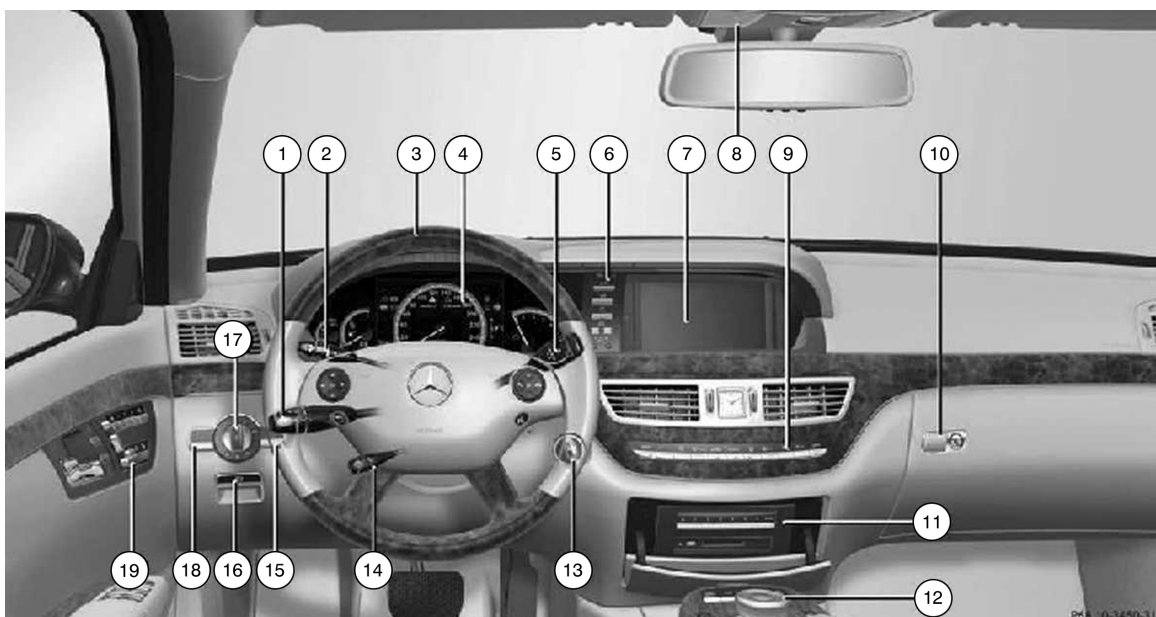


Abbildung 3.1: Innenansicht der Mercedes-Benz S-Klasse (DaimlerChrysler AG, 2005)

Abbildung 3.1 zeigt den Innenraum der aktuellen Mercedes-Benz S-Klasse (BR221). Klassische Bedienelemente wie Lenkrad (3), Blinkerhebel (1), Tempomat (2) sowie Anzeigen (4) für Geschwindigkeit, Drehzahl, Kühlwassertemperatur und Tankinhalt befinden sich Zentrum des Cockpits. Der Wählhebel für die Automatikschaltung (5) ist auf der rechten Seite des Lenkrades angebracht. Zwischen dem Zentraldisplay (7) und den Instrumenten befinden sich eine Reihe von Tasten, das sog. obere Bedienfeld (6) für Fahrzeugfunktionen wie ESP, Niveauregulierung und Luftfederung. In der Dachbedieneinheit (8) befindet sich die Tasten der Innenraumbeleuchtung sowie das Bedienelement für das Schiebedach. Die Bedienelemente für die Klimaanlage (9) sind in einer Zeile in der

Mittelkonsole angeordnet und als Wippen ausgeführt. Um eine gute räumliche Kompatibilität zu gewährleisten, sind die Bedienelemente zur Einstellung von Temperatur und Gebläse für den Fahrer auf der linken Hälfte und für den Beifahrer auf der rechten Hälfte der Zeile zu finden. Das Handschuhfach wird mit Hilfe der Drucktaste (10) geöffnet. Hinter einer Abdeckung befindet sich der CD-Wechsler, der über Tasten (11) bedient wird. Das zentrale Bedienelement (12) ist im optimalen Greifraum positioniert und dient zur Bedienung des Fahrerinformationssystems (Mercedes-Benz Comand). In der Position des Zündschlosses befindet sich die Taste zum Starten des Motors (13). Unterhalb des Blinkers ist ein kleiner Lenkstockhebel (14) für die Längs- und Höhenverstellung des Lenkrades angebracht. Neben dem Lichtdrehschalter (17) sind die Wippen für das Nachtsichtsystem (18) und die Scheinwerfer-Reinigungsanlage (15) positioniert. Darunter befindet sich der Zugschalter zum Lösen der Parkbremse (16) und an der Innenseite der Tür der Sitzverstellungsschalter (19). Die Anordnung der Bedienelemente kann bei Links- und Rechtslenkerfahrzeugen unterschiedlich sein. Auf die Aspekte der Händigkeit kann in dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Es wäre jedoch zu untersuchen, inwiefern bestimmte Bedienelemente bzw. Bediensysteme unter Beachtung der Händigkeit für den Einsatz in Links- bzw. Rechtslenkern geeignet sind. Die Bedienelemente werden überwiegend während der Fahrt bedient, weshalb im nächsten Abschnitt die Fahrzeugführung näher betrachtet wird.

3.2 Fahrzeugführung

Das Ziel der Fahrzeugführung ist die Beförderung von Personen und Gütern (Timpe, 2001; Johannsen, 1993). Zur Fahrzeugführung werden alle Aufgaben gezählt, die der Fahrer während der Fahrt auszuführen hat, wobei zwei Aufgabentypen unterschieden werden: Primär- und Sekundäraufgaben.

3.2.1 Primäraufgaben

Zu den Primäraufgaben zählen die Aufgaben, die unmittelbar dem Fahren des Fahrzeuges zugerechnet werden können. Dazu zählen nach Timpe (2001) das Planen, das Manövrieren und insbesondere das Stabilisieren, d.h. die Quer- und Längsregelung des Fahrzeugs. Die Teilaufgaben der Fahrzeugführung lassen sich anschaulich anhand der hierarchischen Mehrebenenstruktur von Johannsen (1993) (Abbildung 3.2) darstellen. Man erkennt, dass aus dem Ziel der "Beförderung von Gütern und Personen" und den Ausgangsgrößen des Fahrzeugs Pläne (Teilziele) für die Lenkungs- und Stabilisierungsebene gebildet werden. Diese werden wieder unter Beachtung der Ausgangsgrößen des Fahrzeuges in Einwirkgrößen, also Tätigkeiten umgesetzt. Die Aufgaben der Lenkungs- und Stabilisierungsebene werden als Fahraufgabe bezeichnet. Das Hauptmerkmal der Fahraufgabe ist jedoch, dass es sich um eine kontinuierliche Regelaufgabe handelt, die eine hohe visuelle Aufmerksamkeit des Fahrers erfordert (Schattenberg, 2002). Neben der Fahraufgabe bearbeitet der Fahrer auch Sekundäraufgaben.

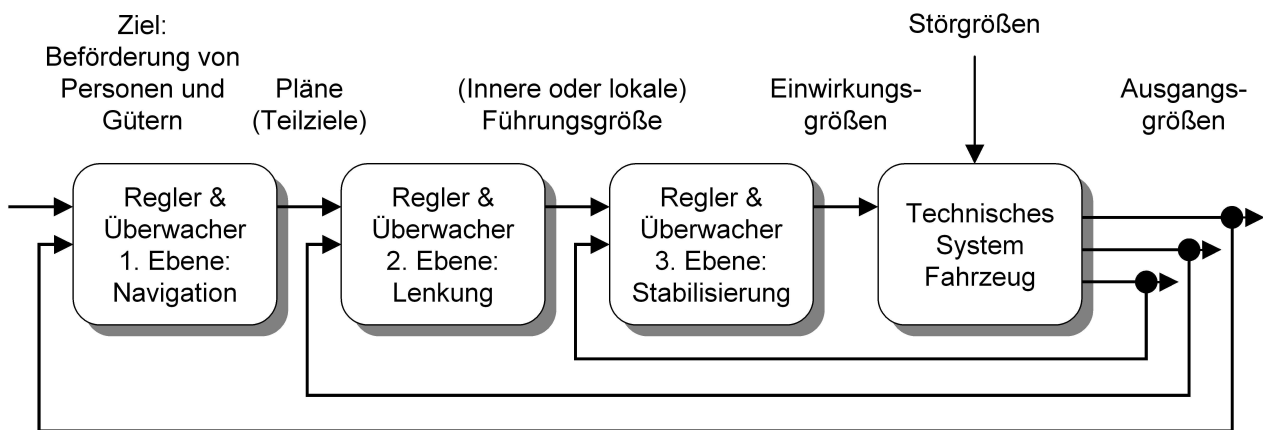


Abbildung 3.2: Hierarchische Mehrebenenstruktur des Fahrer-Fahrzeug-Systems nach Johannsen (1993)

3.2.2 Sekundäraufgaben

Aufgaben, die nicht direkt der Fahraufgabe zugerechnet werden können, werden als Sekundäraufgaben bezeichnet. Sie lassen sich in die Teilaufgaben Kommunizieren, Überwachen, Bedienen und Informationen verarbeiten gliedern (Timpe, 2001). Neben der Bedienung von z.B. Telefon, Radio, Navigationssystem oder Klimaanlage zählen auch das Blinken, Kuppeln und Schalten zu den sekundären Aufgaben der Fahrzeugführung. Weil die Bedienung der Sekundäraufgaben häufig während der Fahrt stattfindet, spricht man von einer Doppelaufgabe oder dem sog. Dual-Task (Mattes, 2003; Kuhn, 2006). Aufgrund von Wechselwirkungen zwischen primären und sekundären Aufgaben kann es zur Ablenkung des Fahrers von der Fahraufgabe kommen.

3.2.3 Ablenkung

Der Begriff der Ablenkung ist eng verknüpft mit der Aufmerksamkeit des Fahrers. Da es sich bei der Aufmerksamkeit um eine begrenzte kognitive Ressource handelt (vgl. Abschnitt 2.2.4), muss sie auf Primär- und Sekundäraufgaben verteilt werden. Das heißt, dass für Aufgaben, die nicht im Fokus der Aufmerksamkeit stehen, weniger Ressourcen zur Verfügung stehen als für diejenigen, die im Fokus der Aufmerksamkeit stehen (Wickens u. Carswell, 1997).

Während der Fahrzeugführung steht die Fahraufgabe im Fokus der Aufmerksamkeit. Wenn der Fahrer jedoch seine Aufmerksamkeit auf die Bearbeitung sekundärer Aufgaben fokussiert, kann er der Fahraufgabe entsprechend weniger Aufmerksamkeit schenken. Wird der Fahraufgabe im Vergleich zu den Sekundäraufgaben zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, verschlechtern sich die Fahrleistungen. Man spricht dann von Ablenkung von der Fahraufgabe. Um die Verkehrssicherheit zu erhöhen, ist die Minimierung der Ablenkung ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung neuer Bediensysteme und wird deshalb auch zunehmend in Normen und Richtlinien betont.

3.3 Normen und Richtlinien für Bedien- und Anzeigesysteme

Bei der Gestaltung von Bedien- und Anzeigesystemen in Fahrzeugen müssen Richtlinien und Normen sowie Selbstverpflichtungen der Fahrzeughersteller beachtet werden (Gelau, 2005). Die folgenden Abschnitte und Tabelle 3.1 geben dazu einen kurzen Überblick.

Die DIN-EN-ISO15005 (2002), DIN-EN-ISO15006 (2002) und DIN-EN-ISO15007-1 (2002) beschreiben ausführlich die Grundsätze und Dialogprinzipien von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen und die Gestaltung akustischer Anzeigen. Bei der Gestaltung von visuellen Anzeigen im Fahrzeug müssen verschiedene Anforderungen beachtet werden. Grundsätzlich müssen sie für den Fahrer bzw. weitere Insassen unter allen Umständen (Tag, Nacht, direkte Sonneneinstrahlung) gut ablesbar im Sichtfeld positioniert sein, aber dürfen nicht die Sicht auf die Straße verdecken (EU, 1977). Die Inhalte sollten auf Grundlage ergonomischer Gestaltungsregeln übersichtlich und klar verständlich dargestellt sein. Die DIN-EN-ISO15008 (2003) und DIN-EN894-2 (1997) beschreiben detailliert den Einsatz und die Bewertung visueller Anzeigen sowie Anforderungen und Bewertungsmethoden.

Für die Gestaltung von Bedienelementen sind insbesondere die ISO2575 (2004); ISO4040 (2001) und DIN-ISO3958 (1978) zu berücksichtigen. Diesen Normen können bspw. die Symbole für Beschriftungen von Bedienelementen entnommen werden. Darüber hinaus findet man darin Hinweise zur Anordnung von Bedienelementen und Handreichweiten des Fahrers.

Tabelle 3.1: Normen und Richtlinien, die bei der Gestaltung von Bedien- und Anzeigesystemen beachtet werden sollten

Norm	Titel
DIN-EN-ISO15005 (2002)	Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Dialogue Management Principles
DIN-EN-ISO15006 (2002)	Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Auditory Presentation of Information
DIN-EN-ISO15007-1 (2002)	Road vehicles - Measurement of driver visual behavior with respect to transport information and control systems
DIN-EN-ISO15008 (2003)	Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Ergonomic aspects of In-Vehicle Information Presentation
ISO2575 (2004)	Straßenfahrzeuge - Symbole für Bedienteile, Anzeige- und Warngeräte
ISO4040 (2001)	Straßenfahrzeuge - Anordnung der Handbedienteile, Anzeige- und Kontrollgeräte
DIN-ISO3958 (1978)	Straßenfahrzeuge - Personenkraftwagen - Handreichweiten des Fahrzeugführers
EU (1977)	Sichtfeld des Fahrers
DIN-EN894-2 (1997)	Sicherheit von Maschinen - Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Anzeigen

Neben diesen Normen haben sich die viele Fahrzeughersteller zur Einhaltung folgender Richtlinien selbst verpflichtet:

- European Statement of Principles (ESoP)
- AAM Guideline (Alliance of Automobile Manufacturers)
- JAMA Guideline (Japan Automobile Manufacturers Association)

Die European Statement of Principles of Human-Machine-Interface (ESoP) fassen in einem Grundsatzkatalog einige Aspekte zusammen, die bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle für On-Board-Informations- und Kommunikationssysteme zu berücksichtigen sind (ESoP, 1999).

Danach ist ein System u.a. so zu gestalten, dass

- ... es den Fahrer unterstützt und nicht zu einem potentiell gefährdenden Verhalten des Fahrers oder anderer Verkehrsteilnehmer Anlass gibt.
- ... die Aufmerksamkeit, die der Fahrer den Systemanzeigen oder Bedienteilen widmet, mit den Erfordernissen der Verkehrssituation vereinbar bleibt.
- ... es den Fahrer nicht ablenkt oder ihm visuelle Unterhaltung bietet.
- ... optische Anzeigen so zu installieren sind, dass sie möglichst normaler Blickrichtung des Fahrers liegen.

Darüber hinaus sollte das System keine langen und nicht unterbrechbare Bedienabläufe erfordern. Unterbrechbarkeit bedeutet, dass der Fahrer die Bedienung sekundärer Aufgaben an jeder beliebigen Stelle unterbrechen kann, z.B. für einen Kontrollblick auf die Fahrsituation. Ein Bediensystem ist dann gut unterbrechbar, wenn dem Fahrer bei der Wiederaufnahme der Bedienaufgabe keine "Kosten" durch visuelle Reorientierung auf dem Display, Zeitdruck bei der Ausführung oder durch kognitive Wiederaufnahme der Bedienung entstehen (Kleinath u. a., 2006).

Auch in den USA und Japan wurden ähnliche Richtlinien entwickelt, die AAM Guideline (USA) und die JAMA (Japan). Die "Guideline for In-vehicle Display Systems" (JAMA, 2004) liefert wichtige Hinweise zur Anordnung von Displays und Gestaltung der dargestellten Informationen. Die AAM Guideline (AAM, 2003) beinhaltet u.a. die für die Anordnung von Anzeigen wichtige 30°-Regel. Danach sollten Anzeigen nicht unterhalb eines Blickwinkels von 30° angebracht sein. Auch eine Systemreaktionszeit wird in der AAM in Übereinstimmung mit der DIN-EN-ISO15005 (2002) empfohlen und sollte nicht länger als 250ms betragen. Die AAM Guideline liefert auch Informationen darüber, welche Bedienelemente auf jeden Fall in einem Fahrzeug vorhanden sein müssen: "Required controls are those relevant for undertaking the primary driving task and all controls that are mandatory. Required controls include accelerator, brake, clutch (if applicable), steering wheel, gear shift, parking brake, horn, light switches, turn indicators, washers and wipers (all modes and speeds), hazard flashers, and defogger controls."

Diese Richtlinien spielen bei der Entwicklung neuer Bedien- und Anzeigesysteme eine zunehmend wichtigere Rolle und müssen unbedingt beachtet werden. Ein Bedien- und Anzeigesystem in einer neuen Baureihe, das diesen Richtlinien nicht entspricht, wird von internen und externen Zertifi-

zierungsstellen nicht oder nur in Ausnahmefällen zur Markteinführung zugelassen. Die Umsetzung dieser Richtlinien in der Praxis wird in den folgenden Abschnitten zum Stand der Technik analysiert und bewertet.

3.4 Stand der Technik bei Anzeigesystemen

In Fahrzeugen findet man sowohl visuelle, akustische als auch haptische Anzeigen (Abel u. a., 2005). Visuelle Anzeigen findet man in Form digitaler oder analoger Instrumente, wie z.B. Tacho oder Drehzahlmesser, sowie in Form von Statusanzeigen auf Bedienelementen. Immer häufiger werden Displays zur visuellen Anzeige komplexer Informationen eingesetzt. Auf ihnen werden Informationen und Warnungen z.B. des Bordcomputers, der Klimaanlage, des Radios und des Navigationssystems dargestellt. Neue Anzeigetechnologien wie Head-Up-Displays oder virtuelle Anzeigen sind z.T. schon kommerziell erhältlich (BMW 5er, Toyota Yaris) oder Bestandteil von Designstudien und Konzeptfahrzeugen (DaimlerChrysler F500, DaimlerChrysler F600) (Maier, 2003; Kuhn, 2006).

Akustische Anzeigen werden im Fahrzeug für Hinweis- und Warnsignale eingesetzt. Klassische Beispiele sind das Blinkergeräusch oder die Einparkhilfe, deren Ton sich mit dem Abstand zu einem parkenden Fahrzeug ändert. Auch die Kollisions-Warnung des Abstandsregeltempomat, die den Fahrer akustisch auffordert eine Bremsung einzuleiten, wenn der Abstand zum voraus fahrenden Fahrzeug zu gering ist, ist ein weiteres Beispiel. Darüber hinaus sind akustische Anzeigen in Zukunft für Systeme wie Spurhalteassistenten oder Müdigkeitserkennung denkbar. Auf übermäßigem Einsatz akustischer Anzeigen sollte jedoch verzichtet werden, da sie den Fahrer auch stören können. Des Weiteren sollte bei der Gestaltung akustischer Anzeigen beachtet werden, dass die Grenzfrequenz des menschlichen Gehörs mit dem Alter stark abnimmt (vgl. Abschnitt 2.3).

Haptische Anzeigen findet man z.B. in Form des Schalthebels, an dessen Stellung der eingelegte Gang "blind" erkannt werden kann. Das gilt auch für die Stellung des Lichtdreh Schalters und der Lenkstockhebel. Bei Bedienelementen findet man darüber hinaus Formcodierungen zur Erkennung der Funktion z.B. bei Sitzverstellungsschaltern oder aktiven Bedienelementen mit variabler Betätigungshaptik (vgl. Abschnitt 2.4.1). Zukünftige Anwendungen für haptische Anzeigen könnten Vibrationen in den Pedalen oder dem Lenkrad, wenn z.B. die Fahrbahnmarkierung ohne Blinken überfahren wird (sog. Lane Departure Warning).

3.5 Stand der Technik bei Bediensystemen

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, zeichnen sich bei Bedien- und Anzeigesystemen derzeit zwei Trends ab. Zum einen kommen sowohl abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme als auch Touchscreens immer häufiger zum Einsatz. Die Verbreitung von Softkeysystemen nimmt dagegen ab, weshalb sie nicht näher betrachtet werden.

3.5.1 Touchscreens

Touchscreens sind nach VDI3850-2 (2002) flächige, durchsichtige und berührungsempfindliche Sensoren und werden vor einem Display montiert. Durch Berührung des Sensors mit dem Finger kann die Kontaktposition bestimmt und mit der Displayposition in Zusammenhang gebracht werden. Auf dem Display werden Schaltflächen (Buttons) dargestellt, die bestimmte Funktionen repräsentieren. Touchscreensysteme sind so gesehen schalterbasierte Bediensysteme, bei denen Form, Größe und Beschriftung variabel sind. Abbildungen 3.3 und 3.4 zeigen aktuelle Touchscreens in Serienfahrzeugen.



Abbildung 3.3: Touchscreen im Lexus LS430 (Lexus, 2006)



Abbildung 3.4: Touchscreen im Jaguar XJ8 (Jaguar, 2006)

Ein Vorteil von Touchscreens ist, dass der Benutzer die auf dem Touchscreen angezeigten Funktionen direkt an der Stelle betätigt, wo er sie wahrnimmt. Man spricht deshalb auch von direkter Bedienung. Allerdings müssen aufgrund der Integration von Anzeige und Bedienelement in ein System Kompromisse bezüglich der Anordnung im Fahrzeuginnenraum gemacht werden (Abel u. a., 2005). Der Touchscreen kann weder im optimalen Sichtfeld angeordnet werden, wo er nicht mehr mit dem Finger erreichbar wäre, noch im optimalen Greifraum, wo er nicht mehr gut sichtbar wäre. Wird ein Touchscreen zu tief im Greifraum angeordnet, kann er gegen die 30°-Regel der AAM-Guideline verstoßen. Hinsichtlich der Bedienbarkeit kommen Rydström u. a. (2005) in ihrer vergleichenden Untersuchung von abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen (BMW "iDrive", Audi "MMI") und einem Touchscreensystem (Jaguar) zu dem Ergebnis, dass der Touchscreen zwar bei der Erstbedienung schneller bedienbar ist als abgesetzte Systeme, sich dieser Vorteil jedoch mit zunehmender Erfahrung praktisch aufhebt. Ein Nachteil der bisher in Fahrzeugen verwendeten Touchscreens ist, dass sie über kein haptisches Feedback im Sinne einer Betätigungshaptik verfügen, an dem sich der Fahrer blind orientieren könnte. Touchscreens mit haptischem Feedback sind jedoch schon verfügbar (Immersion, 2006) und es bleibt abzuwarten, ob und wann sie in Fahrzeugen angeboten werden. Ein weiterer Nachteil von Touchscreens ist die Verschmutzung durch Fingerabdrücke, wofür es derzeit noch keine zufriedenstellende Lösungen gibt.

Trotz ihrer Nachteile erfreuen sich Touchscreens insbesondere auf dem japanischen und amerikanischen Markt großer Beliebtheit. Auf dem europäischen Markt setzen sich dagegen zunehmend abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme durch (Geiger, 2004).

3.5.2 Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme

Wie in Abbildung 3.5 dargestellt, wird bei abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen die Anzahl von Bedienelementen im Fahrzeuginnenraum gegenüber schalterbasierten Systemen erheblich reduziert. (Schattenberg, 2002; Kuhn, 2006; Vogel, 2006).

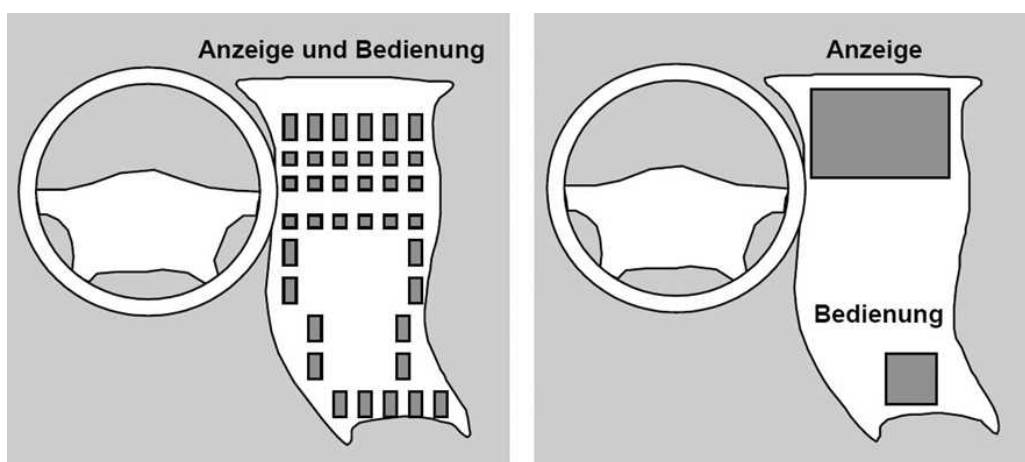


Abbildung 3.5: Schaltermotiv (li.) im Unterschied zu einem abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem (re.) nach Schattenberg (2002)

Darüber hinaus verfügen abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme über eine vielfach bestätigte, ergonomisch günstige Anordnung des zentralen Bedienelements im optimalen Greifraum und ein Zentraldisplay im optimalen Sichtfeld des Fahrers (Fuchs u. a., 2001; Zeilinger, 2005; Abel u. a., 2005; Rydström u. a., 2005). Aufgrund der Displayposition erfordert ein abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem weniger Blickabwendung als ein schalterbasiertes System oder ein Touchscreen. Das zentrale Bedienelement kann zudem komfortabel und ohne Hinsehen sozusagen "blind" bedient werden. Der Fahrer hat so die Möglichkeit die Verkehrssituation immer noch im peripheren Sichtfeld wahrzunehmen. Im Vergleich zu schalterbasierten Bedien- und Anzeigesystemen sind abgesetzte Bediensysteme nach den Ergebnissen von Schattenberg (2002) vergleichbar intuitiv bedienbar, aber sollten hinsichtlich ihrer Ablenkungswirkung weiter optimiert werden. Die Funktionsweise und Optimierungsansätze von Bedienelementen werden deshalb in den folgenden Abschnitten näher betrachtet.

3.5.3 Zentrale Bedienelemente

Bei dem in Abbildung 3.1 abgebildeten, abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem können im oberen Bereich des Zentraldisplays die zeilenweise angeordneten Hauptmenüs (Navigation, Audio, Telefon,

Video, Fahrzeug) durch Schieben oder Drehen des zentralen Bedienelements ausgewählt und durch Drücken aufgerufen werden (Dreh-Drück-Joystick in Abbildung 3.6). Alternativ können Funktionen des Hauptmenüs über sog. Direktsprungtasten vor dem zentralen Bedienelement aufgerufen werden. Durch Schieben des zentralen Bedienelements werden Hauptmenüs ausgewählt und zwischen dem sog. Hauptbereich, verschiedenen Untermenüs und der Klimafunktionszeile gewechselt. In diesen Bereichen werden Einstellungen durch Drehen oder Schieben des zentralen Bedienelements vorgenommen und durch Drücken bestätigt. Das zentrale Bedienelement verfügt beim Drehen über eine aktive Haptik und kann so seine Betätigungshaptik an die Anzahl auswählbarer Funktionen anpassen. Beim abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem "iDrive" des BMW 7er (Fuchs u. a., 2001) werden fast alle Funktionen über Menüs im Zentralsdisplay mit einem zentralen Bedienelement bedient. Durch Schieben des zentralen Bedienelements (Dreh-Drück-Joystick in Abbildung 3.7) wird eins von acht Hauptmenüs ausgewählt. Durch Drehen und Drücken werden innerhalb der Menüs Einstellungen vorgenommen. Die Betätigungshaptik des zentralen Bedienelements wird mit Hilfe einer aktiven Haptik an die Bedienaufgaben, die auf dem Display dargestellt sind, angepasst. Es gibt beim "iDrive" nur noch wenige Tasten, u.a. am zentralen Bedienelement, wo eine Taste zum Rücksprung auf die Hauptmenüebene und eine Favoritentaste vorhanden sind. Die Funktion der Favoritentaste kann vom Benutzer selbst konfiguriert werden kann. Darüber hinaus sind zur Bedienung der wichtigsten Komfortfunktionen, z.B. der Klimaanlage, Tasten und Drehsteller in der Mittelkonsole vorhanden.



Abbildung 3.6: Zentrales Bedienelement der Mercedes-Benz S-Klasse (Daimler-Chrysler AG, 2006a)



Abbildung 3.7: Zentrales Bedienelement der BMW 7er Baureihe (BMW AG, 2006)

Im Gegensatz zu den zentralen Bedienelementen des BMW 7er und der Mercedes-Benz S-Klasse verwendet Audi in ihrem sog. "Multi-Media-Interface (MMI)" als zentrales Bedienelement einen Dreh-Drücksteller, der im Gegensatz zu den Bedienelementen der Wettbewerber nur zwei statt vier Freiheitsgrade hat. Dafür sind neben dem zentralen Dreh-Drück-Steller (Abbildung 3.8) jedoch vergleichsweise viele Tasten angeordnet, zum einen Direktsprungtasten, mit denen die Hauptmenüs ausgewählt werden, und vier Softkeys zur Auswahl von Menüoptionen (Mauter, 2003). Wie bei der Mercedes-Benz S-Klasse, bietet auch der Audi direkten Zugriff auf weitere Funktionen wie Klimaanlage und ESP über Tasten in der Mittelkonsole.



Abbildung 3.8: Zentrales Bedienelement des Audi A8
(Audi AG, 2006)



Abbildung 3.9: Zentrales Bedienelement des Acura RL (Acura, 2006)

Beim abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem des Acura RL werden Einstellungen auf dem Zentralsdisplay mit einem Joystick und einem Drehsteller vorgenommen (Abbildung 3.9). Der Joystick verfügt zur Codierung der Bedienrichtungen über taktile Markierungen in Form von Mulden und Rändel. Anders als bei den zentralen Bedienelementen der Mercedes-Benz S-Klasse und des BMW 7er ist die Drehfunktion nicht im Joystick integriert, sondern als Ring unterhalb des Joysticks ausgeführt. Dadurch kann der Fahrer haptisch zwischen Drehsteller und Joystick unterscheiden. Beim Bediensystem des Acura RL sind jedoch im Vergleich zu seinen europäischen Konkurrenten deutlich mehr Funktionen auch direkt über Tasten bedienbar. Man könnte fast sagen, dass es sich bei diesem Bediensystem um ein schalterbasiertes System mit zusätzlichem zentralen Bedienelement handelt. Es ist daher davon auszugehen, dass die Vorteile eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems nicht zur Geltung kommen dürften.

Ein Nachteil abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme ist, dass durch die Freiheitsgrade des zentralen Bedienelements mehrere Bedienmöglichkeiten gleichzeitig zur Verfügung stehen. Bei den beschriebenen zentralen Bedienelementen handelt es sich um Dreh-Drück-Joysticks mit bis zu 4 Freiheitsgraden und bis zu 11 Bedienmöglichkeiten, wenn man auch die Betätigung in die Diagonalen berücksichtigt (Abbildung 3.10). Aus diesen Bedienmöglichkeiten muss der Benutzer die richtige auswählen. Die richtige Bedienhandlung ist dabei diejenige, die der Entwickler des Systems für eine bestimmte BediENAufgabe vorgesehen hat.

Ähnliches gilt auch für die Tasten in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen. Auch hier muss der Fahrer aus mehreren möglichen Tasten die richtige betätigen. Um dem Fahrer die Entscheidung möglichst einfach zu machen, sollte nur so wenige Tasten wie möglich vorhanden sein (vgl. Gl. 2.1). Diese Tasten sollten dann eindeutig beschriftet sein. Allerdings sollten häufig benutzte Funktionen am besten im direkten Zugriff des Fahrers sein, also als Tasten ausgeführt und nicht im Menü "versteckt" sein.

Deshalb wird zunehmend versucht, den Benutzer durch die Gestaltung der Bedienelemente bei der Auswahl der richtigen Bedienhandlung aktiv zu unterstützen (u.a. Marquardt (1997); Schmitz u.



Abbildung 3.10: Bedienmöglichkeiten (Drehen, Schieben und Drücken) von zentralen Bedienelementen

Hofmann (2001); Mauter (2003); Michelitsch u. a. (2004); Tille u. Krüger (2004); Zeilinger (2005); Grane u. Bengtsson (2005); Jeitner u. a. (2005)). Bei genauerer Betrachtung können unterschiedliche, technologische Ansätze identifiziert werden:

- Aktive Bedienelemente
- Kompatible und sinnfällige Bedienelemente
- Formcodierte Bedienelemente
- Variable Tastenbeschriftung

3.5.4 Aktive Bedienelemente

Die ersten aktiven Bedienelemente für abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme stellte die Fa. Alps 1998 mit der Car-Mouse vor (ALPS Electric Co. Ltd., 2006). Eine weiter entwickelte Version dieses Bedienelements wurde erstmalig im BMW 7-er ab 2001 eingesetzt (Abbildung 3.7). Das Bedienelement besteht aus einem Dreh-Drück-Joystick, der in acht Richtungen geschoben, gedreht und gedrückt werden kann (Schmitz u. Hofmann, 2001). Die Betätigungshaptik des Drehstellers kann über einen Elektromotor, der ein Gegenmoment zur Drehbewegung erzeugt, variabel gestaltet werden. So können z.B. die Anzahl der Raststufen des Drehstellers an die Anzahl angezeigter Listeneinträge angepasst werden. Darüber hinaus können die Anschläge variabel gestaltet werden oder eine Jog-Shuttle-Funktion realisiert werden (Fuchs u. a., 2001).

Auch die Fa. Siemens-VDO hat in der Vergangenheit einen aktiven Drehsteller vorgestellt (Abel u. a., 2005). Erste Untersuchungen zeigten bereits, dass durch den Einsatz aktiver Haptik die Leistungen des Benutzers verbessert wurden, weil die aktive Haptik die Orientierung des Benutzers unterstützt und eine gute Eignung des Bedienelements für unterschiedliche Bedienungsaufgaben sicherstellt.

Ein aktiver Drehsteller war auch Gegenstand der Untersuchung von Grane u. Bengtsson (2005). Sie untersuchten verschiedene Wege der Informationsübertragung an den Benutzer (visuell, haptisch, visuell und haptisch). Die Aufgabe von Probanden bestand darin, mit einem Drehsteller in einem Menüsystem einen bestimmten von fünf Menüpunkten auszuwählen. Die Information, welcher Menüpunkt gerade ausgewählt war, erfolgte entweder über haptisches Feedback (Vibrationen), visuell über eine Anzeige oder haptisch und visuell gleichzeitig. Erfasst wurden während des Versuchs die Bedienzeiten und -fehler sowie die mentale Beanspruchung. Die Ergebnisse zeigten, dass die rein haptische Informationsübertragung der rein visuellen hinsichtlich Bedienzeit und -fehler klar unterlegen ist. Die haptisch-visuelle Informationsübertragung schnitt hinsichtlich der Bedienzeit und -fehler gleich ab wie die rein visuelle, erwies sich aber im Vergleich zur rein haptischen und rein visuellen Bedingung als weniger mental belastend.

Zeilinger (2005) untersuchte einen haptisch aktiven Joystick zur Interaktion mit einem Fahrerinformationssystem, der mit einer aktiven Haptik in beiden Freiheitsgrade ausgerüstet war. Das Ziel seiner Untersuchung war es, eine Reduzierung visueller Ablenkung und kognitiver Belastung durch die stärkere Nutzung des haptischen Kanals zur Informationsübertragung zwischen Bediensystem und Fahrer nachzuweisen. Die Ergebnisse konnten dies jedoch nicht pauschal bestätigen. Die aktive Haptik zeigte allerdings auch keine Nachteile im Vergleich zu einem Bedienelement mit passiver Haptik. Für die Eingabe eines Navigationsziels über eine Karte konnten Vorteile für die aktive Haptik nachgewiesen werden. Auch subjektiv wurde die aktive Haptik besser bewertet als die passive Haptik. Der Autor weist darauf hin, dass das Potenzial der aktiven Haptik erkennbar sei und sich in Zukunft zeigen werde, wenn eine bessere Qualität der aktiven Haptik (stabilere Kräfte) möglich wird.

Aktive Joysticks zur Längs- und Querregelung waren in der Vergangenheit auch Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (Mayer, 1986; Mücke, 1999; Penka, 2001; Pei-Shih, 2003). In diesen Untersuchungen konnten für Aufgaben zur Quer-, bzw. Längsregelung Vorteile eines aktiven Bedienelements gegenüber passiven Bedienelementen nachgewiesen werden.

3.5.5 Kompatible und sinnfällige Bedienelemente

Eine gute Kompatibilität ist auch für abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme eine wichtige Voraussetzung zur Sicherstellung guter Bedienbarkeit (Abel u. a., 2005).

Der Mercedes-Benz Sitzverstellungsschalter (Abbildung 3.11) ist mittlerweile zum Inbegriff eines kompatiblen Bedienelements geworden (Norman, 1989; Marquardt, 1997; Bubb, 2001; Vogel, 2006). Die Form und Betätigungsrichtungen dieses Bedienelements entsprechen der realen Form des Sitzes (Reiz-Reiz-Kompatibilität). Die Betätigung der Schalter in eine Richtung bewirkt eine Bewegung des Sitzes in die entsprechende Richtung. Das Bedienelement hat also auch eine hohe Bewegungskompatibilität.

Ein Beispiel für gute Sinnfälligkeit (Mapping) von Anzeige und Bedienelement ist das "Multi-Media-Interface (MMI)" von Audi. Dabei entspricht die Form und Anordnung des zentralen Bedienelements und seiner Tasten der Gestaltung des Screendesigns (Mauter, 2003). Entsprechend dem runden Dreh-Drücksteller liegen dem Screendesign ebenfalls runde Formen zu Grunde. Die Tasten, die um den Dreh-Drücksteller herum angeordnet sind, sind auch in den Ecken des Displays grafisch dargestellt und werden in Abhängigkeit der aktuellen Bedienaufgabe mit Menüoptionen beschriftet.



Abbildung 3.11: Vorbildliche, kompatible Gestaltung des Mercedes-Benz Sitzverstellerschalters (DaimlerChrysler AG, 2006a)

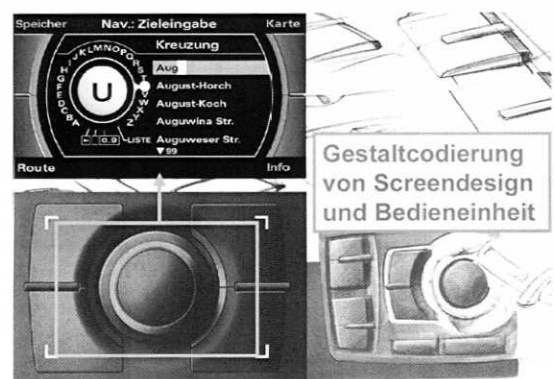


Abbildung 3.12: Gutes Mapping zwischen Anzeige und Bedienelement beim Audi "Multimedia Interface" (MMI) (aus Mauter (2003))

3.5.6 Formcodierte Bedienelemente

Die Formcodierung von Bedienelementen zur Bedienung komplexer Bediensysteme rückt zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Arbeiten. Das Ziel beim Einsatz von Formcodierungen ist es, dem Fahrer durch die Form des Bedienelements Informationen haptisch zu übermitteln, um so den visuellen Kanal, der für die Fahraufgabe genutzt werden soll, zu entlasten (Bubb, 2001).

In Fahrzeugen sind häufig Formcodierungen zu finden, die reale Teile des Fahrzeugs, wie z.B. den Sitz oder Außenspiegel, als Schalter abbilden (Abbildung 3.11). Auch Hebel, Schalter und Drehsteller mit charakteristischen Formen und Markierungen sind in Fahrzeugen zu finden. Bubb (2001) weist jedoch darauf hin, dass noch nicht wissenschaftlich untersucht wurde, ob formkompatible Haptik auch die entsprechenden Assoziationen (Reaktionen) hervorrufen.

Tille u. Krüger (2004) untersuchten zu diesem Thema, wie ein zentrales Bedienelement für ein abgesetztes Bediensystem gestaltet sein sollte, damit über die Formcodierung und das Aussehen die Bedienmöglichkeit "Ziehen" eindeutig codiert wird. Neben dem "Ziehen" sollte sich das Bedienelement auch zum "Schieben" in der Ebene sowie zum "Drücken" eignen. Sie führten dazu Versuche mit verschiedenen Haptikmustern durch, die in Abbildung 3.13 dargestellt sind. Ihre Ergebnisse zeigen, dass ein pilzförmiges und ein kugelförmiges Bedienelement diese Bedienmöglichkeiten haptisch und visuell am besten codieren. In Bezug auf die Bedienrichtung "Ziehen" decken sich diese Ergeb-



Abbildung 3.13: Formen zur Codierung der Bedienhandlung Ziehen (Tille u. Krüger, 2004): v.l.n.r.: Pilz, Kugel, Ziehpilz, kleines "Moncherie", großes "Moncherie", Würfel

nisse mit den Empfehlungen von Färber u. Färber (1987) (zitiert nach Zeilinger (2005)), wonach sich ein Bedienelement zum Ziehen eignet, wenn es sich nach unten verjüngt.

Zeilinger (2005) geht in seiner Untersuchung des haptisch aktiven Joysticks (Abschnitt 3.5.4) davon aus, dass eine 4-eckige Grundform vier und eine 8-eckige Grundform acht Bewegungsrichtungen nahe legt (Abbildung 3.14). Diese Annahme ist zwar plausibel, jedoch fehlt ein empirischer Beweis.

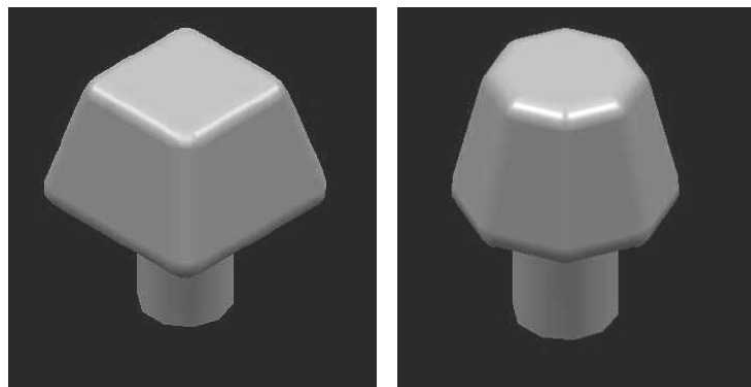


Abbildung 3.14: Vorschlag von Formen zur Codierung von vier (li.) bzw. acht Richtungen (re.) (Zeilinger, 2005)

Mit dem "Haptic Chameleon" wurde von Michelitsch u. a. (2004) ein Bedienelement mit variabler Formcodierung, u.a. für den Einsatz in Pkw, vorgestellt (Abbildung 3.16). Das Bedienelement bietet dem Benutzer die Möglichkeit, es in drei verschiedene Zustände zu schalten, die sich hinsichtlich ihrer Form unterscheiden. In Abhängigkeit der vom Benutzer eingestellten Form können mit dem Bedienelement unterschiedliche Aufgaben bedient werden, z.B. diskrete oder kontinuierliche Einstellungen. Die Haptik der Drehfunktion passt sich dabei aktiv der Bedienaufgabe an. Die Autoren versprechen sich davon, dass der Benutzer die Funktion des Bedienelements haptisch erkennen kann und dadurch die Bedienaufgabe besser versteht. Der empirische Nachweis, dass die Anpassung des

Bedienelements an die Bedienaufgabe zu einer Verbesserung der Bedienbarkeit oder Ablenkungswirkung führt, steht jedoch noch aus. Stattdessen verweisen die Autoren auf Expertenbewertungen, die den ersten Funktionsprototypen positiv bewertet hätten.



Abbildung 3.15: Grundidee des "Haptic Chameleon"
(Smalley, 2004)



Abbildung 3.16: Realisierter Prototyp des "Haptic Chameleon" (Michelitsch u. a., 2004)

Ein interessanter Ansatz zur Ablenkungsminimierung von Fahrzeugbediensystemen durch Formcodierungen war das Projekt "BIONIC (Blind Operation of in-car Controls)" (Porter u. a., 2005). In diesem Projekt wurde ein Bediensystem entwickelt, das durch verstärkte Nutzung haptischer Information eine Blindbedienung ermöglichen und dadurch die Ablenkung minimieren sollte.

In einer Vorstudie wurde untersucht, anhand welcher Eigenschaften Bedienelemente eines tragbaren Radios erkannt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Positionierung, die Form und der taktile Überstand, d.h. das Herausragen des Bedienelements aus der Oberfläche, wichtige Eigenschaften zur Erkennung von Bedienelementen sind. Gravierte Symbole wurden von den Probanden nicht erkannt.

In einer weiteren Studie von Lomas u. a. (2003) wurde die Relevanz von Form, Größe und Position bei der Erkennung von Formen untersucht. Das Versuchsmaterial bestand aus unterschiedlich großen Würfeln und Zahlen in unterschiedlicher Positionierung. Die Ergebnisse zeigen, dass Positionscodierung die höchste Relevanz für die Objekterkennung hatte, gefolgt von Form und Größe, die am besten in Kombination mit Positionscodierung zu benutzen sind.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Studien wurde ein Bediensystem entwickelt, bei dem drei Bedienfelder zwischen Fahrer und Beifahrersitz angeordnet sind (Abbildung 3.17). Die Tasten und Drehsteller, die sich auf den Bedienfeldern befinden, sind hinsichtlich ihrer Positions- und Formcodierung sowie Überstand so gestaltet, dass sie taktil erkennbar sind. Abschließende Evaluierungen

des Systems in einem Fahrsimulator und in einem Feldversuch zeigten, dass es praktisch "blind" bedienbar war. Die Dauer der Blickabwendungen konnte im Vergleich zu einem Seriensystem (Honda Civic) um 17% reduziert werden. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass durch geeignete Codierungsmaßnahmen (Position, Form, Größe und Überstand) bei Bedienelementen eine Verbesserung der Bedienung und Ablenkung erreicht werden kann. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass das BIONIC-Konzept im Unterschied zu abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen mit zentralen Bedienelementen ein schalterbasiertes Bediensystem ist. Dies kann trotz guter Erkennbarkeit der einzelnen Bedienelemente zu langen Bedienzeiten aufgrund der vielen Auswahlmöglichkeiten führen (vgl. Gl. 2.1).



Abbildung 3.17: Bedien- und Anzeigesystem "BIONIC": Entwurf (li.) und Versuchsfahrzeug (re.) (Porter u. a., 2005)

3.5.7 Variabel beschriftbare Tasten

Die bis heute in Fahrzeugen verwendeten Tasten sind in der Regel aus hellem, transparentem oder milchigem Kunststoff (z.B. Makrolon) und werden nach Designvorgaben z.B. schwarz lackiert oder metallisch beschichtet. Für die Beschriftung wird mit einem Laser diese Beschichtung gezielt wieder abgetragen. Die Beschriftung hebt sich dadurch gegenüber dem Lack oder der Beschichtung ab. Die Beschriftung eines Bedienelements ist somit statisch und sollte unter Beachtung bekannter Normen und Richtlinien gestaltet werden (vgl. Tabelle 2.2 und Tabelle 3.1).

Technologisch ist es durch Integration kleiner Displays mittlerweile möglich, Tasten variabel zu beschriften. Durch den Einsatz solcher Displaytasten könnten Tasten ähnlich den Buttons auf Touchscreens variabel beschriftet werden, verfügen aber im Unterschied zum Touchscreen über eine Betätigungshaptik.

Der NKK-Smartswitch (Abbildung 3.18) ist eine solche Displaytaste (NKK Switches, 2006). Sie basiert auf einem 24x36 Pixel großem LC-Display zur Anzeige von Informationen über Funktion,

Zustand oder Wirkung der Taste. Für den Einsatz in Fahrzeugen kommt diese Taste allerdings nicht in Frage, da sie die für die Darstellung von Symbolen in Fahrzeugen erforderliche Auflösung von 32x32 Pixeln nicht erfüllt (ISO2575, 2004). Ähnliche, auf LC-Displays basierende Tasten verfügen zwar über größere Auflösungen, sind jedoch, aufgrund ihrer geringen Wertanmutung und nicht ausreichenden Kontrast, nicht für den Einsatz in Fahrzeugen geeignet.



Abbildung 3.18: Displaytaste
(NKK Switches,
2006)

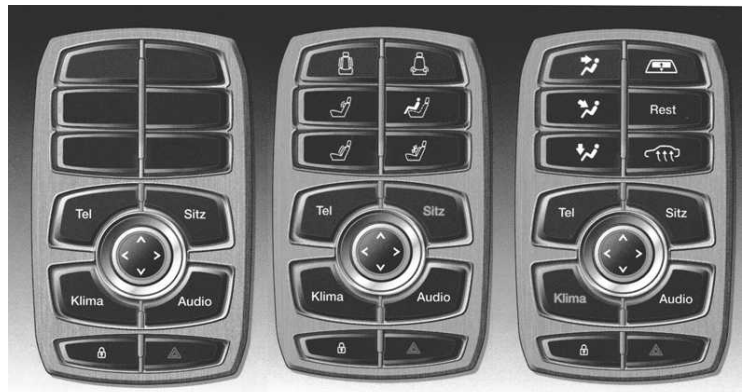


Abbildung 3.19: Tastenblock mit variabler Beschriftung (Jeitner u. a.,
2005): v.l.n.r.: ohne Funktion, Funktionsbelegung
Sitz, Funktionsbelegung Klima

Jeitner u. a. (2005) beschreiben Displaytasten, die speziell für den Einsatz in Fahrzeugen entwickelt wurden (Abbildung 3.19). Ihre Technologie basierte auf einem hochauflösenden LCD-Display, dessen Bild über einen Faserstein (Lichtleiter) an der Tastenoberfläche dargestellt wird. In Zukunft könnten jedoch auch geeignete OLED-Displays für variable Beschriftung von Tasten zum Einsatz kommen. Als mögliche Anwendung wird ein Tastenblock an einem zentralen Bedienelement vorgeschlagen, bei dem die Tasten mit unterschiedlichen Funktionen belegt sein könnten oder keine Beschriftung haben, wenn sie keine Funktion haben.

Auch Doerrer u. Werthschützky (2001) und Doerrer (2002) schlagen variable Beschriftung von Tasten als Weiterentwicklung eines haptisch variablen Tastenfeldes vor (Abbildung 3.21). Das Tastenfeld besteht aus quaderförmigen Elementen, die ähnlich einem taktilen Display zu einer Matrix zusammengesetzt sind und je nach Nutzungskontext als Tasten aus der Oberfläche hervortreten oder bündig in der Ebene "verschwinden" (Abbildung 3.20). Dadurch können unterschiedliche Tastengrößen und Formen erzeugt werden. Das Tastenfeld wird u.a. für die Nutzung in Kraftfahrzeugen vorgeschlagen, weil durch die verstärkte Nutzung des haptischen Kanals der visuelle Kanal entlastet werden könnte. Jedoch fehlt auch in dieser Arbeit dafür der empirische Nachweis, da die technische Realisierung im Vordergrund stand. Es wird lediglich darauf hingewiesen, dass subjektive Bewertungen von Testpersonen die intuitive Nutzbarkeit des Bedienfeldes zeigten und der Prototyp "... die Zweckmäßigkeit der vorgeschlagenen Lösung bestätigen konnte". Darüber hinaus ist nicht gesichert, dass ein Benutzer die aus den Elementen der Matrix zusammengesetzten Tastenformen (Dreieck, Kreuz, etc.) auch wirklich erkennen kann. Es darf aufgrund der Ergebnisse von Porter u. a. (2005)

und Berichten aus dem Bereich taktiler Displays für Blinde davon ausgegangen werden, dass Benutzer zwar in der Lage sind, solche Symbole taktil zu unterscheiden, sie aber nicht erkennen können.

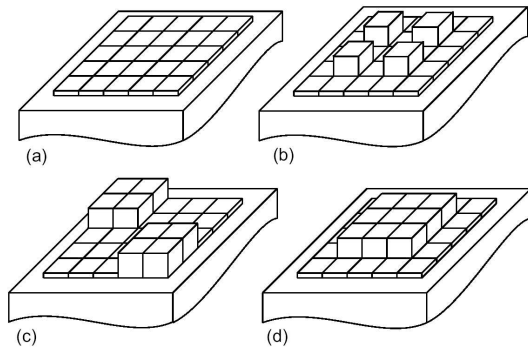


Abbildung 3.20: Konzept eines variablen Tastenfeldes (Doerrler, 2002). (a): Kein Element ist aktiv. (b): Vier kleine Tasten. (c): Zwei große Tasten (d): Eine große Taste

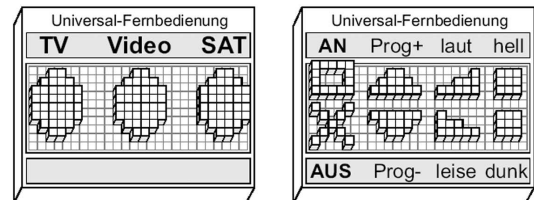


Abbildung 3.21: Variables Tastenfeld als Universalfernbedienung (Doerrler, 2002). Große Funktionstasten (li.) und Funktionen des ausgewählten Geräts (re.)

Auch Touchscreens bieten die Möglichkeit, ihre Buttons variabel zu beschriften. Hinweise zur Gestaltung von Touchscreens findet man z.B. in der VDI3850-2 (2002) oder bei Zühlke (2004), wobei die Größen und Abständen von Buttons im Vordergrund stehen, nicht die Gestaltung von deren Beschriftung (Funktions-, Wirkungs-, Zustandskodierung). Bei Zühlke (2000) findet man im Rahmen der Gestaltung von Maschinensteuerungen sowohl wirkungs- als auch zustandscodierte Beschriftungen, ohne dass Hinweise gegeben werden, welche Art der Beschriftung unter welchen Umständen zu verwenden ist.

Wenn Tasten nicht bedienbar sind, könnten sie wie bei Jeitner u. a. (2005) vorgeschlagen, gar nicht beschriftet werden und den Benutzer durch sinnvolle Einschränkungen der Handlungsmöglichkeiten bei der Bedienung unterstützen. Das Konzept des Ausblendens und Reduzierens von Schaltflächen (Buttons) ist von grafischen Benutzeroberflächen und Touchscreens bereits bekannt und kann z.B. die Bedienbarkeit von Maschinensteuerungen verbessern (Johnson u. a., 1989; Zühlke, 2000, 2004; VDI3850-2, 2002)

Ein weiteres Einsatzgebiet von Displaytasten wären Favoritentasten. Darunter sind Tasten zu verstehen, deren Funktion und damit auch Beschriftung der Benutzer nach seinen Wünschen konfigurieren kann. So könnte er beispielsweise seinen Heimatort oder eine wichtige Telefonnummer darauf abspeichern. Die Funktion der Taste könnte auf einem integrierten Display angezeigt werden. Bei Betätigung der Taste würde der Zielort automatisch in Navigationssystem übernommen bzw. die Rufnummer automatisch gewählt, ohne die Funktionen im Menü auswählen zu müssen.

3.6 Bewertung von Fahrzeugbediensystemen

Um die Güte aktueller oder neuer Fahrzeugbediensystemen beurteilen zu können, müssen sie hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit und Ablenkungswirkung bewertet werden. Gebrauchstauglichkeit¹ ist das Ausmaß, in dem ein Produkt oder Bediensystem durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen (DIN-EN-ISO9241-11, 1999). Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit bzw. der Bedienbarkeit von Fahrzeugbediensystemen steht daher im Fokus der folgenden Abschnitte. Darüber hinaus wird auf die Messung der Ablenkung und die zum Verständnis der Arbeit notwendigen statistischen Verfahren eingegangen.

3.6.1 Untersuchungsmethoden

Zur Bewertung von Fahrzeugbediensystemen stehen drei grundsätzlich verschiedene Untersuchungsmethoden zur Verfügung: das Laborexperiment, der Simulatorversuch und der Feldversuch (Abbildung 3.22), wobei die Übergänge fließend sind.

Das Laborexperiment liefert sehr genau Ergebnisse, weil störende Einflüsse gut kontrolliert bzw. ausgeschlossen werden können. Es hat jedoch nur wenig Ähnlichkeit mit den Aufgaben der realen Fahrzeugführung und eignet sich deshalb vor allem für grundlegende, quantitative Untersuchungen, bei denen die Dual-Task Bedingung (vgl. Abschnitt 3.2) noch nicht berücksichtigt werden muss. Der Feldversuch in Versuchsfahrzeugen ist dagegen die realistischste Methode zur Bewertung von Fahrzeugbediensystemen. Allerdings können eine Vielzahl unkontrollierbarer Störvariablen wie z.B. die Witterung oder der Verkehr die Messergebnisse beeinflussen. In einem Simulatorversuch können sowohl Störvariablen kontrolliert bzw. ausgeschlossen werden als auch dank der immer besseren Simulationstechniken eine sehr realistische Fahraufgabe dargestellt werden. Sie reichen dabei von einfachen Fahrszenen auf Bildschirmen über großflächige Projektionen und statische Fahrsimulatoren bis hin zu dynamischen Fahrsimulatoren, die in der Lage sind, Beschleunigungen eines Fahrzeuges zu simulieren.

Bei der Entscheidung, welche dieser drei Methoden für die Bewertung eines Bediensystems zum Einsatz kommen soll, muss sowohl zwischen dem notwendigen Realitätsbezug und dem Einfluss von Störvariablen abgewogen werden, als auch das Aufwand/Nutzen Verhältnis beachtet werden.

3.6.2 Bedienaufgaben für die Bewertung

Unabhängig von der gewählten Untersuchungsmethode sollten die Benutzer zur Bewertung der Bediensysteme typische sekundäre Bedienaufgaben bearbeiten, wie z.B. das Einstellen eines Radiosenders, die Bedienung der Klimaanlage, das Programmieren des Navigationssystems oder das Wählen einer Telefonnummer. Diese Aufgaben setzen sich aus repräsentativen Bedienaufgaben wie diskrete

¹Synonyme Begriffe sind: Bedienbarkeit, Benutzbarkeit oder (engl.) Usability

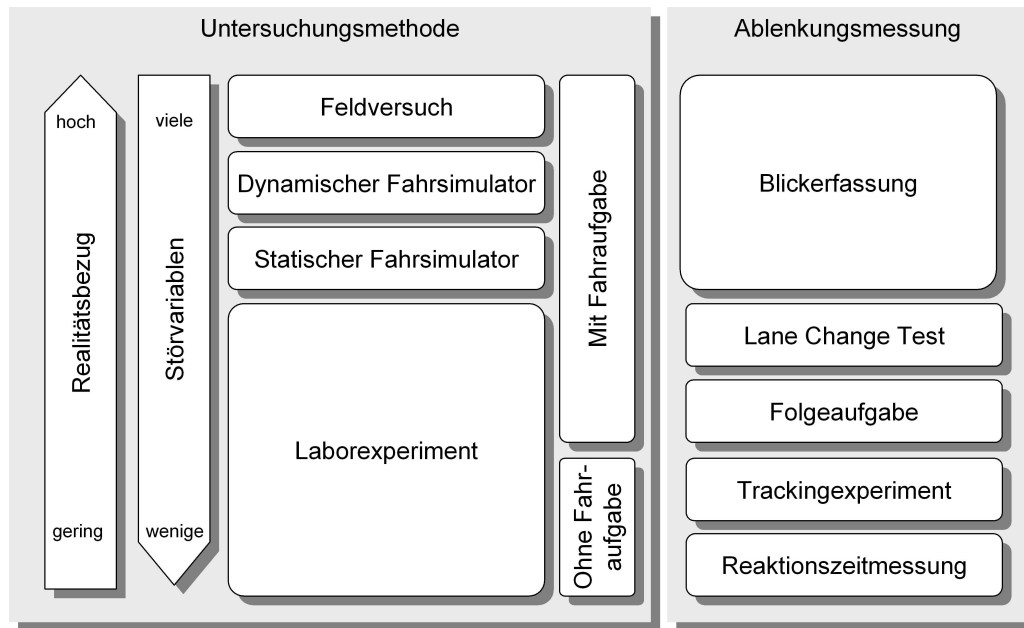


Abbildung 3.22: Methoden zur Bewertung von Fahrzeugbediensystemen und Ablenkungsmessung in Anlehnung an Kleinath u. a. (2006)

Eingabe, kontinuierliche Einstellung, Listen scrollen und Cursorsteuerung zusammen (Schattenberg, 2002; Zeilinger, 2005). Das Drücken einer Taste zum Ein- oder Ausschalten einer Funktion ist eine diskrete Eingabe, das Verstellen eines Wertes in einem kontinuierlichen Bereich (Temperatur, Lautstärke) eine kontinuierliche Eingabe. Liste scrollen meint das Auswählen und Bestätigen eines Eintrags aus einer Vielzahl listenartig angeordneter Objekte (Namenslisten, Funktionslisten). Über die Cursorsteuerung kann auf einer Anzeige eine visuelle Markierung (sog. Highlight) mit einem Bedienelement bewegt werden.

3.6.3 Messung der Bedienbarkeit

Während der Bedienung von typischen Sekundäraufgaben muss die Bedienbarkeit bzw. die Gebrauchstauglichkeit des Systems gemessen werden. Als Maß für die Effizienz eignet sich nach DIN-EN-ISO9241-11 (1999) die Bedienzeit, die zur Ausführung einer Aufgabe benötigt wird. Bei Ausführung mehrerer Bedienungsaufgaben mit einem System bietet sich die durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe als Messgröße an.

$$\text{Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe [s]} = \frac{\sum \text{Bedienzeit pro Aufgabe [s]}}{\sum \text{Bearbeitete Aufgaben}} \quad (3.1)$$

Als Maß für die Effektivität eines Bediensystems kann nach DIN-EN-ISO9241-11 (1999) der Grad der Zielerreichung benutzt werden, der als Verhältnis zwischen der Anzahl korrekt ausgeführter

Aufgaben zur Summe aller bearbeiteter Aufgaben definiert werden kann. Umgekehrt ergibt sich daraus die relative Fehlerhäufigkeit

$$\text{Relative Fehlerhäufigkeit [\%]} = \frac{\sum \text{Fehlerhafte Aufgaben}}{\sum \text{Bearbeitete Aufgaben}} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

Den Grad der Zufriedenstellung kann man nach DIN-EN-ISO9241-11 (1999) anhand einer bipolaren Ratingskala, z.B. in Form einer Visuell-Analog Skala, bewerten lassen (Abbildung 3.23). Dabei markieren Probanden die Stelle, an der sie ein System im Vergleich zu einem oder mehreren anderen Systemen einschätzen (Bortz u. Döring, 2002). Dies ermöglicht sowohl eine absolute als auch relative Bewertung.

Sie haben im Laufe des Versuches verschiedene Bediensysteme (A,B) bedient. Bitte geben Sie für jedes Bediensystem an wie gut es Ihnen gefallen hat. Hierfür steht Ihnen eine Skala mit den Polen "gefällt mir gar nicht" und "gefällt mir sehr gut" zur Verfügung. Bitte markieren Sie durch ein Kreuz das von Ihnen eingeschätzte Gefallen. Verwenden Sie für das System A die Farbe grau und für das System B die Farbe schwarz.



Abbildung 3.23: Visuell-Analog-Skala zur Bewertung des subjektiven Gefallens mit Instruktion für den Probanden

3.6.4 Ablenkungsmessung

Um die Ablenkungswirkung von Bedien- und Anzeigesystemen während der Fahrt zu messen, kann eine der in Abbildung 3.22 dargestellten Verfahren eingesetzt werden. Reaktionszeit- und Trackingexperimente sind einfache Verfahren, um unter Laborbedingungen den Einfluss einer Bedienaufgabe auf die Reaktionszeiten und die Regelleistung zu messen. Nachteil dieser Verfahren ist, dass ihnen keine Dual-Task-Bedingung zu Grunde liegt. Bei der Folgeaufgabe wird dagegen in einer einfachen Fahrsimulation die Längsbeschleunigung bzw. Änderung der Geschwindigkeit im Vergleich zu einem voraus fahrenden Fahrzeug gemessen. Der Lane-Change-Test ist eine Kombination aus einer Art Trackingexperiment und Reaktionszeitmessung mit Bezug zur Fahraufgabe (Mattes, 2003; Kuhn, 2005; Hess, 2005). Sowohl die Folgeaufgabe als auch der Lane-Change-Test sind Methoden, denen eine einfache Fahrsimulation zu Grunde liegt und sie eignen sich gut zur Bewertung früher Prototypen unter Berücksichtigung des Dual-Task. Durch Blickerfassung können sehr genaue Daten darüber gewonnen werden, wie lange der Proband seinen Blick auf das Bediensystem, die Anzeigen und die Straße gelegt hat. Diese Methode eignet sich besonders für die Bewertung ausgereifter Bediensysteme und ist im Gegensatz zu den erst genannten Methoden auch im realen Straßenverkehr anwendbar. Da der Lane-Change-Test eine besonders effiziente Methode zur Messung der Ablenkung ist, die immer häufiger zur Bewertung früher Prototypen eingesetzt wird, soll er im folgenden Abschnitt genauer beschrieben werden.

Um einen klaren Bezug zur Fahrzeugführung herzustellen, wird beim Lane-Change-Test ein Trackingexperiment in Form einer Spurwechsellaufgabe und ein Reaktionszeitexperiment in Form von zeitlich definierten Spurwechselanweisungen in einer Fahraufgabe (Manövrieren und Stabilisieren) kombiniert. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, auf einer geraden, 3-spurigen Straße mit einer konstanten Geschwindigkeit von 60 km/h zu fahren (Abbildung 3.24). In Abständen von 150m stehen Schilder mit einer Spurwechselanweisung, aufgrund derer der Proband die Spur wechseln soll. Der Inhalt der Schilder wird 40m vor Erreichen des Schildes sichtbar. Der Proband soll die Spur wechseln, sobald er die Spurwechselanweisung erkannt hat. Parallel zur Fahraufgabe muss der Proband während einer Versuchsfahrt typische Sekundäraufgaben bedienen. Die mittlere Abweichung (\bar{x}_{at}) von einer theoretischen Sollspur, dem sog. normativen Modell, dient als Maß zur Bewertung der Ablenkung. Je größer die Spurabweichung vom normativen Modell, desto stärker war der Proband durch die Bedienung der Sekundäraufgaben abgelenkt. Der Lane-Change-Test stellt zur Auswertung und Visualisierung ein komfortables Analysetool bereit (Abbildung 3.25).

$$\bar{x}_{at} = \frac{1}{S} \sum x_{ai} \cdot \Delta s_i \quad (3.3)$$

\bar{x}_{at} = Mittlere Spurabweichung

x_{ai} = Aktuelle Spurabweichung

S = Gesamtstrecke

$$\Delta s_i = \frac{s_{i+1} - s_{i-1}}{2}$$

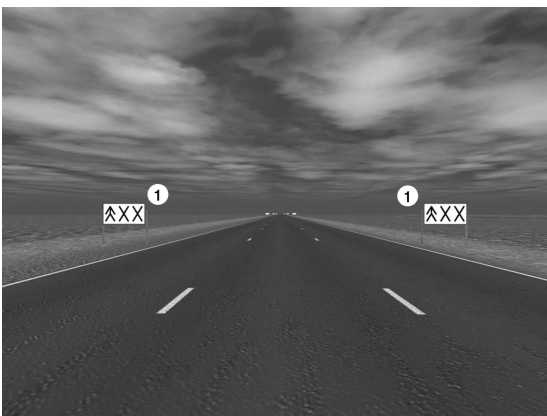


Abbildung 3.24: Simulation der Fahraufgabe im Lane-Change-Test aus Sicht des Probanden mit Spurwechselanweisung (1)

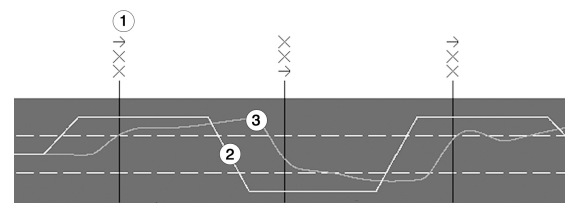


Abbildung 3.25: Analysetool des Lane-Change-Tests mit Spurwechselanweisung (1), normativem Modell (2) und Versuchsfahrt (3)

3.6.5 Statistische Verfahren

Die mit den beschriebenen Methoden erhobenen Daten wie Bedienzeiten, -fehler und Ablenkungsdaten müssen mit statistischen Verfahren ausgewertet werden (Bortz u. Döring, 2002). Mit Hilfe von Signifikanztests können allgemein gültige Rückschlüsse von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit

gezogen werden. Signifikanztests überprüfen dabei zwei einander ausschließende Hypothesen. Die Hypothese dass zwischen bspw. zwei Mittelwerten μ_1 und μ_2 kein Unterschied besteht ($\mu_1 = \mu_2$), wird Nullhypothese genannt. Dagegen wird in der Alternativhypothese von einem Unterschied zwischen den Mittelwerten ausgegangen, d.h. $\mu_1 \neq \mu_2$. Mit einem Signifikanztest wird die Irrtumswahrscheinlichkeit p ermittelt, mit der sich das gefundene Ergebnis nicht mit der Nullhypothese vereinbaren lässt. Ist die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als eine zuvor festgelegte Irrtumswahrscheinlichkeit, wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese akzeptiert. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird auch als Signifikanzniveau bezeichnet. Signifikanzniveaus, auf denen die Ergebnisse abgesichert werden, sind per Konvention $p < 0,05$, $p < 0,01$ oder $p < 0,001$. Dabei sollte erwähnt werden, dass nicht jedes signifikante Ergebnis auch eine praktische Bedeutung haben muss. Es ist immer zu prüfen, ob neben der Signifikanz eines Effektes auch die Effektgröße ausreicht, um in der Praxis überhaupt von Bedeutung zu sein. Umgekehrt sind nicht immer nur signifikante Ergebnisse von Interesse, denn bei kleinen Stichproben können kleine Effekte nicht immer statistisch signifikant nachgewiesen werden. Liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit dann im Bereich $0,05 < p < 0,1$, spricht man trotz nicht signifikanter Ergebnisse von Tendenzen. Zur Hypothesenprüfung werden bei der Bewertung von Fahrzeugbediensystemen Signifikanztests wie der T-Test und Varianzanalysen angewendet.

Der T-Test ist ein Signifikanztest, mit dem zwei Mittelwerte darauf geprüft werden können, ob sie sich signifikant voneinander unterscheiden oder ihr Unterschied nur zufällig ist. Die Mittelwerte können dabei aus unterschiedlichen Stichproben (unabhängig) oder der gleichen Stichprobe (abhängig) stammen. Der Unterschied zwischen den Mittelwerten ist dann signifikant, wenn die im Test berechnete Prüfgröße t größer oder gleich dem t -Wert ist, der aufgrund einer zuvor festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit p ermittelt wurde. Damit der T-Test angewendet werden kann, müssen die Daten normalverteilt sein.

Varianzanalysen überprüfen im Gegensatz zu T-Tests, ob sich zwei oder mehrere Gruppen hinsichtlich ihrer Varianzen unterscheiden. In der Varianzanalyse wird dazu die Streuung innerhalb der Gruppen um den Gruppenmittelwert und die Streuung der Gruppenmittelwerte um den Stichprobenmittelwert berechnet. Je größer die Streuung zwischen den Gruppen und je kleiner die Streuung innerhalb der Gruppen ist, desto stärker unterscheiden sich die Gruppen voneinander. Der Unterschied zwischen zwei Gruppen ist dann signifikant, wenn die in der Varianzanalyse berechnete Prüfgröße F größer oder gleich dem F -Wert ist, der aufgrund einer zuvor festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit p ermittelt wurde. Abhängig von der Anzahl unabhängiger Variablen werden ein- oder mehrfaktorielle Varianzanalysen angewendet. Mit mehrfaktoriellen Varianzanalysen können sowohl der Einfluss der Faktoren (z.B. A und B) als auch deren Interaktion ($A \times B$), d.h. deren Wechselwirkung, untersucht werden. Werden mehr als zwei Gruppen miteinander verglichen, liefert das Ergebnis der Varianzanalyse nur die Aussage, dass ein Unterschied zwischen den Gruppen vorliegt, den sog. Haupteffekt. Um zu beurteilen zwischen welchen Gruppen ein signifikanter Unterschied vorliegt, müssen anschließend paarweise Vergleiche der Gruppenmittelwerte ähnlich dem T-Test durchgeführt werden. Aufgrund der wiederholten Anwendung von Signifikanztests muss dabei das Signifikanzniveau z.B. nach dem

Verfahren von Bonferroni oder Sidak angepasst werden. Ohne diese Anpassung könnten Hypothesen irrtümlich angenommen oder abgelehnt werden. Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer Varianzanalyse sind normalverteilte Daten und Varianzhomogenität.

3.7 Zusammenfassung

Abgesetzte Bedien- und Anzeigesystemen gewinnen zunehmend an Bedeutung und müssen hinsichtlich ihrer Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung weiter optimiert werden. Aufgrund der dargestellten Untersuchungsergebnisse ist die verstärkte Nutzung haptischer Codierungen zur Informationsübertragung ein vielversprechender Ansatz zur Optimierung zentraler Bedienelemente. Dadurch könnte bei einem abgesetzten Bediensystem der für die Fahraufgabe notwendige visuelle Kanal entlastet werden. Der Fahrer sollte besonders bei der Auswahl seiner Bedienhandlung durch das Bedienelement unterstützt werden. Dafür kommen Bedienelemente mit aktiver Haptik und variabler Form in Betracht. Erste Prototypen formvariabler Bedienelemente wurden bereits vorgestellt. Auch wenn dabei immer die mögliche Anwendung als Bedienelement in Fahrzeugen betont wird, wurde noch kein variables zentrales Bedienelement unter Berücksichtigung der Anforderungen eines abgesetzten Bediensystems entwickelt und unter realistischen Bedingungen bewertet.

Darüber hinaus sind Technologien und Einsatzmöglichkeiten für variable Beschriftung von Tasten in abgesetzten Bedien- und Anzeigesysteme bekannt, die den Benutzer bei der Bedienung z.B. der Klimaanlage unterstützen könnten. Allerdings sind noch nicht ausreichend Gestaltungshinweise für den Einsatz variabler Tastenbeschriftungen bekannt. Auch die Frage, ob durch variable Tastenbeschriftung die Bedienbarkeit eines Systems tatsächlich verbessert und die Ablenkung dadurch reduziert werden kann, ist noch nicht beantwortet.

Sowohl bei den zentralen Bedienelementen als auch bei Tastenbeschriftungen sind also Entwicklungen hin zu variablen Bedientechnologien erkennbar, die bisher allerdings noch unzureichend wissenschaftlich untersucht sind. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit folgende Ansätze systematisch untersucht:

1. Gestaltung und Bewertung variable Beschriftung von Tasten
2. Entwicklung und Bewertung eines zentralen Bedienelements mit variabler Formcodierung für ein abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen werden Vorgehensweisen und Gestaltungsempfehlungen für den Einsatz dieser Technologien in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen gewonnen.

4 Gestaltung und Bewertung variabler Beschriftung von Tasten

Wie in Kapitel 3 beschrieben, sind Technologien für variable Beschriftungen von Tasten bekannt, allerdings konnten keine ausreichenden Gestaltungshinweise für deren Einsatz im Fahrzeug gefunden werden. Gegenstand dieser Untersuchung ist deshalb die Frage, wie durch variable Beschriftung von Tasten die Bedienbarkeit verbessert, die Ablenkung von der Fahraufgabe reduziert und das subjektive Gefallen gesteigert werden kann (vgl. auch Sendler u. Schmauder (2006)). Aus den Ergebnissen werden Gestaltungsempfehlungen für den Einsatz variabler Tastenbeschriftungen im Fahrzeug abgeleitet. Deshalb stehen die Gestaltungsparameter Anzahl von Bedienmöglichkeiten und (visuelle) Codierung von Tasten aus Abschnitt 2.11 im Fokus dieser Untersuchung (Abbildung 4.1).

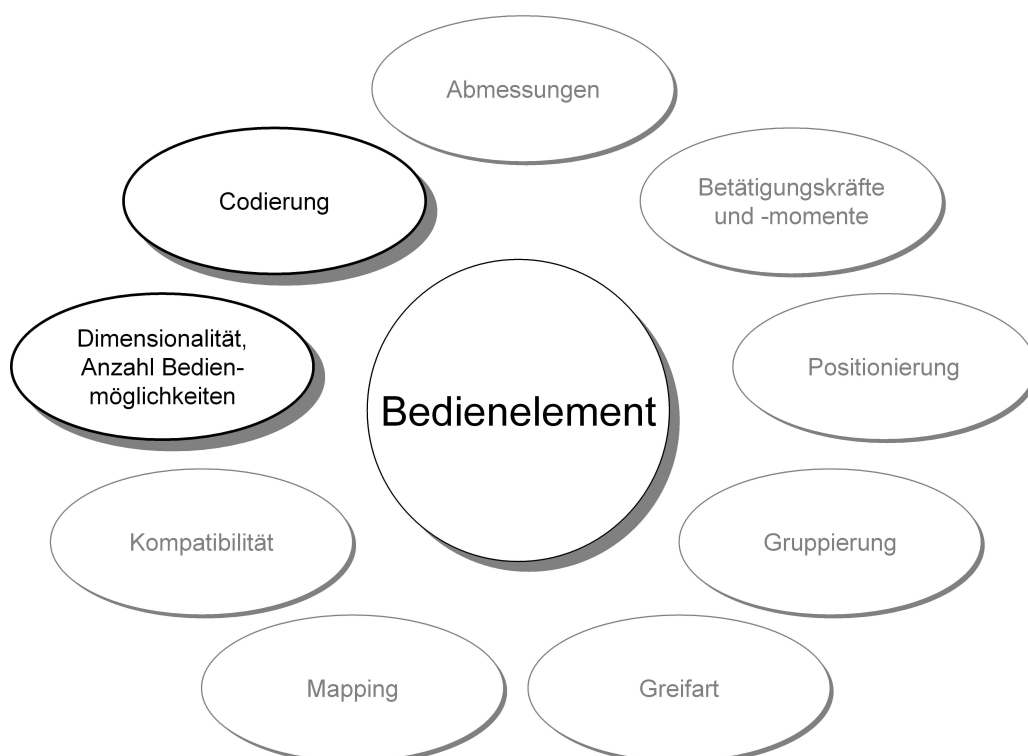


Abbildung 4.1: Im Rahmen der Gestaltung und Bewertung variabler Beschriftung von Tasten untersuchte Gestaltungsparameter

4.1 Hypothesen

Displaytasten, wie in Abschnitt 3.5.7 vorgestellt, ermöglichen es, die Beschriftung abhängig von ihrer Bedienbarkeit ein- oder auszublenden. Eine ausgeblendete Beschriftung zeigt dem Benutzer an, dass diese Taste nicht bedienbar ist und für die aktuelle Bedienungsaufgabe nicht benötigt wird. Darüber hinaus wäre auch denkbar, dass die Tasten ganz verschwinden können, z.B. wenn sie auf einem Touchscreen grafisch dargestellt sind. Dadurch würden die Entscheidungsmöglichkeiten des Benutzers sinnvoll an die aktuelle Bedienungsaufgabe angepasst und reduziert (Tabelle 4.1).





Tabelle 4.1: Kennzeichnung (Codierung) der Bedienbarkeit von Tasten durch Adaption an die Bedienungsaufgabe

Zustand	statische Tasten	ausgeblendete Beschriftung	reduzierte Tasten
bedienbar			
nicht bedienbar			

Daraus ergibt sich die erste Hypothese (H1) für diese Untersuchung. Es wird angenommen, dass eine Anpassung an die Bedienungsaufgabe durch Ausblenden der Beschriftung bzw. Reduktion von Tasten die Bedienbarkeit, gemessen in Bedienzeiten, -fehlern und subjektivem Gefallen, verbessert und die Ablenkung reduziert.

Darüber hinaus ermöglichen variabel beschriftbare Tasten die Realisierung einer Wirkungscodierung, d.h. die Beschriftung zeigt in Abhängigkeit des Zustandes eindeutig das Ergebnis der Betätigung an und gibt dem Benutzer so eindeutig zu verstehen, was er mit seiner Handlung bewirken wird. Interessant ist ein Vergleich der Wirkungscodierung mit einer Zustandskodierung (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Zustandskodierung und Wirkungscodierung bei der Beschriftung von Tasten

Zustand der Funktion	Wirkung bei Betätigung	Zustandskodierung	Wirkungscodierung
Entfrosteten ausgeschaltet	Entfrosteten einschalten		
Entfrosteten eingeschaltet	Entfrosteten ausschalten		

4.2.2 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 22 Mitarbeiter und Studenten der DaimlerChrysler AG freiwillig und während der Arbeitszeit teil. Es wurde bei der Probandenauswahl darauf geachtet, dass die Altersverteilung der Stichprobe normalverteilt ist und dass die Probanden wenig bis keine Erfahrung mit den realen Vorbildern der im Versuch simulierten Bediensysteme hatten (Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4: Stichprobe zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

Probanden	Männer	Frauen	Mittleres Alter	Jüngste Vp	Älteste Vp
22	15	7	33 Jahre	25 Jahre	51 Jahre

4.2.3 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einer Sitzkiste durchgeführt (Abbildung 4.2). Ein Versuchs-PC (1) diente zur Simulation der Tasten auf einem Touchscreen (2). Die Positionierung des Touchscreens im Greifraum entsprach der Anordnung einer Mittelkonsole in einer Mercedes-Benz E-Klasse (BR211). Der Touchscreen bot hinsichtlich der visuellen Gestaltungsparameter die gleichen Möglichkeiten wie Displaytasten. Dadurch war es möglich realistische Darstellungen der Tasten grafisch zu simulieren, ohne kosten- und zeitintensive Hardwareprototypen erstellen zu müssen. Darüber hinaus konnte so eine optimale Vergleichbarkeit der Bedingungen gewährleistet werden. Dass der Touchscreen im Gegensatz zu realen Tasten kein haptisches Feedback besitzt, spielte für diesen Versuch keine Rolle, weil ausschließlich visuelle Gestaltungsparameter untersucht wurden. Auf ein Feedback bei Betätigung sollte jedoch nicht verzichtet werden. Deshalb wurde die Betätigung grafisch angezeigt und ein akustischer Klick abgespielt. Der zweite Versuchs-PC (3) diente zur Simulation des Lane-Change-Test auf einem 17" Bildschirm (4). Zur Steuerung des Lane-Change-Tests verfügte die Sitzkiste zusätzlich über ein Force-Feedback-Lenkrad mit Pedalerie (5).

Der erste Versuchs-PC (1) erfasste während des Versuchs die Bedienzeiten und -fehler. Die Ablenkungsdaten des PC (2), auf dem die Fahrsimulation des Lane-Change-Tests ausgeführt wurde, wurden über eine TCP/IP-Verbindung an den Versuchsrechner übertragen und dort zusammen mit den Bedienzeiten und -fehlern in Log-Files abgespeichert.

Nach dem Vorbild realer Bediensysteme wurde zur Untersuchung des Faktors Bediensystem ein oberes Bedienfeld (1) und eine Klimaanlage (2) auf dem Touchscreen simuliert (Abbildung 4.3 und Anhang A).

Um den Einfluss der Adaption untersuchen zu können, wurden Tasten simuliert, deren Beschriftung ausgeblendet wurde, wenn deren Funktionen nicht bedienbar war (Tabelle 4.1). Sie sind jedoch als Taste noch erkennbar. In einer weiteren Variante wurde nur noch eine reduzierte Anzahl von Tasten dargestellt. Tasten, deren Funktionen nicht bedienbar waren, waren nicht mehr erkennbar. Für den



Abbildung 4.2: Versuchsaufbau zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten. Simulations-Laptop (1), Touchscreen (2), Fahrsimulations-PC (3), Darstellung der Fahrsimulation Lane-Change-Test (4), Lenkrad (5) und Pedalerie (6)

Vergleich mit den heute üblichen Tasten wurden auch Tasten mit statischer Beschriftung simuliert, die immer vorhanden und immer beschriftet waren.

Zur Untersuchung der Codierung wurden die Tasten des oberen Bedienfeldes und der Klimaanlage als zustandscodierte und wirkungscodierte Beschriftung simuliert (Tabelle 4.2). Die zustandscodierten Tasten verfügten über eine Funktionsbeschriftung und eine separate Zustandsanzeige in Form einer roten Markierung, ähnlich den weit verbreiteten Zustands-LEDs. Leuchtete die Zustands-LED einer Funktion, war sie aktiviert, leuchtete sie nicht, war die Funktion deaktiviert. Durch diese Art der Codierung wurde ein klarer Zusammenhang zwischen Funktion und Zustand hergestellt. Bei der Wirkungscodierung wurde die Beschriftung so gestaltet, dass die Wirkung der Betätigung erkennbar war. Die Beschriftung "Entfrost on" bedeutete, dass beim Betätigen der Taste die Entfrost-Funktion eingeschaltet wurde. Daraufhin änderte sich die Beschriftung in "Entfrost off", da beim erneuten Betätigen die Entfrost-Funktion wieder ausgeschaltet wurde. Das heißt bei jeder Betätigung der Tasten änderte sich die Beschriftung abhängig von der möglichen Bedienungsaufgabe und stellte so einen direkten Bezug zur Wirkung der Handlung des Benutzers her.



Abbildung 4.3: Simulation variabel beschrifteter Tasten auf dem Touchscreen: Oberes Bedienfeld (1) und Klimaanlage (2). Dargestellt sind ausgeblendete, zustandscodierte Tasten.

4.2.4 Bedienaufgaben

Die Aufgabe der Probanden war es, verschiedene Funktionen ein- bzw. auszuschalten (Tabelle A.1). Bei der Klimaanlage gab es funktionale Abhängigkeiten zwischen den Funktionen. Bei funktional abhängigen Funktionen musste erst eine Funktion (z.B. Automatikbetrieb, oder Entfrosten) deaktiviert werden, um im nächsten Schritt eine Einstellung, z.B. eine Einstellung der Gebläsestufe oder der Luftverteilung, vornehmen zu können. Die Funktionen im oberen Bedienfeld waren funktional unabhängig voneinander bedienbar.

4.2.5 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Nach dem Ausfüllen eines Fragebogens zur Erfassung demographischer Daten (Anhang A) wurden die Probanden mit dem Lane-Change-Test vertraut gemacht, eine Baseline aufgenommen und die Funktionsweise der Bediensysteme erklärt.

Aufgrund des Versuchsdesigns ergaben sich insgesamt sechs Versuchsbedingungen. Im ersten Teil des Versuchs musste jeder Proband ohne Fahraufgabe 29 Aufgaben in vollständig randomisierter Reihenfolge möglichst schnell und fehlerfrei bearbeiten. Von jedem Probanden wurden dabei 14 Aufgaben im oberen Bedienfeld und 15 Aufgaben in der Klimaanlage bearbeitet, von denen 9 funktionale Abhängigkeiten hatten. Die Probanden konnten die Aufgaben auf dem Touchscreen ablesen und den

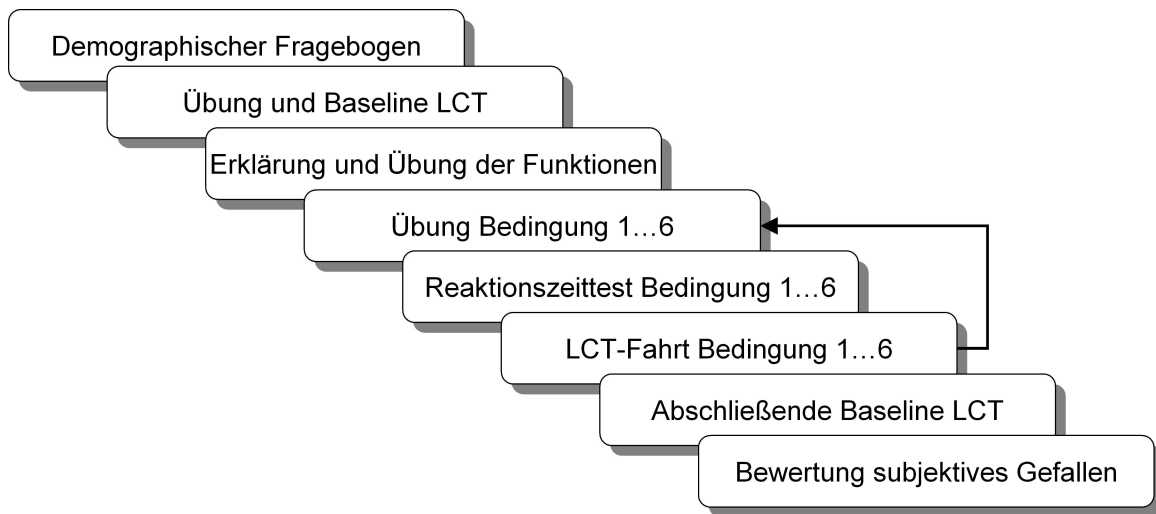


Abbildung 4.4: Versuchsablauf zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

Aufgabenstart selbst bestimmen. Danach wurde im zweiten Versuchsteil die gleiche Versuchsbedingung während des Lane-Change-Tests bedient. Die Aufgabe der Probanden in diesem Teil bestand darin, eine Strecke von 3 km zu fahren und parallel dazu mindestens 4 Aufgaben im oberen Bedienfeld und mindestens 6 in der Klimaanlage in vollständig randomisierter Reihenfolge zu bearbeiten. Von den 6 Aufgaben in der Klimaanlage wiesen 5 Aufgaben funktionale Abhängigkeiten auf. Maximal konnte ein Proband während einer Fahrt 8 Aufgaben im oberen Bedienfeld und 12 Aufgaben in der Klimaanlage bearbeiten. Um Ablenkung durch Ablesen der Aufgaben vom Touchscreen während der Fahrt zu vermeiden, wurden den Probanden die Aufgaben während der Fahrt vom Versuchsleiter vorgelesen. Die Messung der Bedienzeit wurde vom Versuchsleiter nach dem Vorlesen der Aufgabe gestartet und bei Beendigung der Aufgabe vom Programm automatisch gestoppt. Dieser Ablauf wiederholte sich für jede Versuchsbedingung. Nachdem die Probanden alle 6 Versuchsbedingungen in randomisierter Reihenfolge durchlaufen hatten, wurde nochmals eine Baseline mit dem Lane-Change-Test aufgezeichnet, um ggf. Trainigseffekte in der Fahraufgabe zu erfassen. Abschließend wurde die Bewertung der Versuchsbedingungen hinsichtlich des subjektiven Gefallens vorgenommen (Anhang A).

4.2.6 Vorgehen bei der Datenauswertung

Die in Form von Log-files und Fragebögen erfassten Daten wurden mit T-Tests und Varianzanalysen im Statistikprogramm SPSS ausgewertet. Zunächst wurden für die Daten des Reaktionszeittests in 3-faktoriellen Varianzanalysen die Faktoren Adaption, Codierung und System untersucht. Bei dem Faktor Adaption wurden anschließend Paarvergleiche durchgeführt, um den Einfluss der drei Faktorstufen genau aufzuklären¹. Anschließend wurden 2-faktorielle Varianzanalysen durchgeführt, die den

¹Anpassung der Signifikanzniveaus für Mehrfachvergleiche nach Sidak

Einfluss der Faktoren Adaption und Codierung für jedes Bediensystem getrennt aufklären sollten. Auch dabei wurden für den Faktor Adaption Paarvergleiche mit den einzelnen Faktorstufen durchgeführt¹. Bei den im Lane-Change-Test aufgezeichneten Daten konnte nicht zwischen Bedienung des oberen Bedienfeldes und der Klimaanlage unterschieden werden, sondern nur ob bedient wurde oder nicht. Deshalb wurden für die Ablenkung 2-faktorielle Varianzanalysen (Adaption und Codierung) durchgeführt.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Bedienzeiten

Die 3-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption, Codierung und System ergab bezüglich der Bedienzeit pro Aufgabe signifikante Haupteffekte für die Faktoren Adaption, Codierung und System (Tabelle A.2).

Die durchschnittliche Bedienzeit war bei den Tasten mit variabel angepasster Beschriftung kürzer als bei den Tasten mit statischer Beschriftung. Anschließende Paarvergleiche ergaben signifikant längere Bedienzeiten für Tasten mit statischer Beschriftung ($M=4,20$; $SE=0,23$) gegenüber Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=3,22$; $SE=0,19$) und den reduzierten Tasten ($M=3,24$; $SE=0,15$). Zwischen den Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung und den reduzierten Tasten gab es keinen signifikanten Unterschied (Abbildung 4.5). Wie in Abbildung 4.6 zu erkennen, wurden die Tasten mit Zustandskodierung ($M=3,16$; $SE=0,15$) durchschnittlich schneller bedient als die wirkungscodierten Tasten ($M=3,94$; $SE=0,16$). Aufgaben im oberen Bedienfeld ($M=1,99$; $SE=0,08$) wurden schneller bearbeitet als Aufgaben im Klimabediengerät ($M=5,11$; $SE=0,22$).

Die Interaktionen System \times Codierung und System \times Adaption waren beide signifikant, was darauf hinweist, dass es Unterschiede zwischen den Systemen bzgl. des Einflusses der Faktoren Codierung und Adaption gibt. Die Interaktion Beschriftung \times Adaption war ebenfalls signifikant, was als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass die Anpassung der Beschriftung insbesondere bei der Wirkungscodierung von Vorteil war (Abbildung 4.5).

Bedienzeiten oberes Bedienfeld

Im oberen Bedienfeld konnten in der anschließenden 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Codierung und Adaption signifikant kürzere Bedienzeiten für die Wirkungscodierung ($M=1,87$; $SE=0,08$) gegenüber der Zustandskodierung ($M=2,11$; $SE=0,10$) nachgewiesen werden (Tabelle A.3 und Abbildung 4.7).

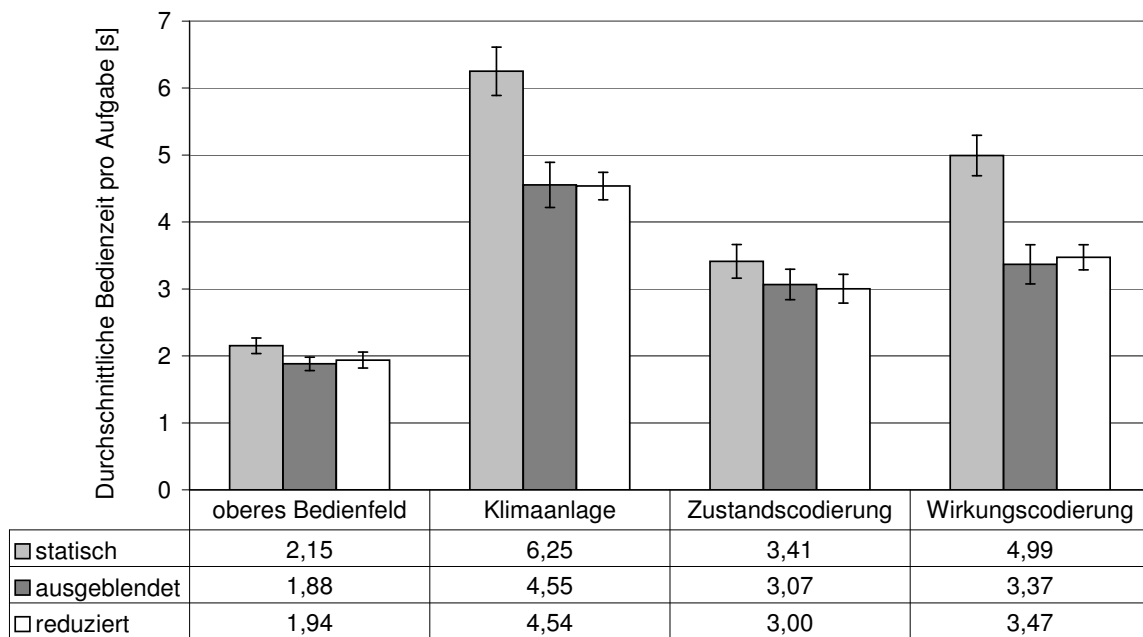


Abbildung 4.5: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

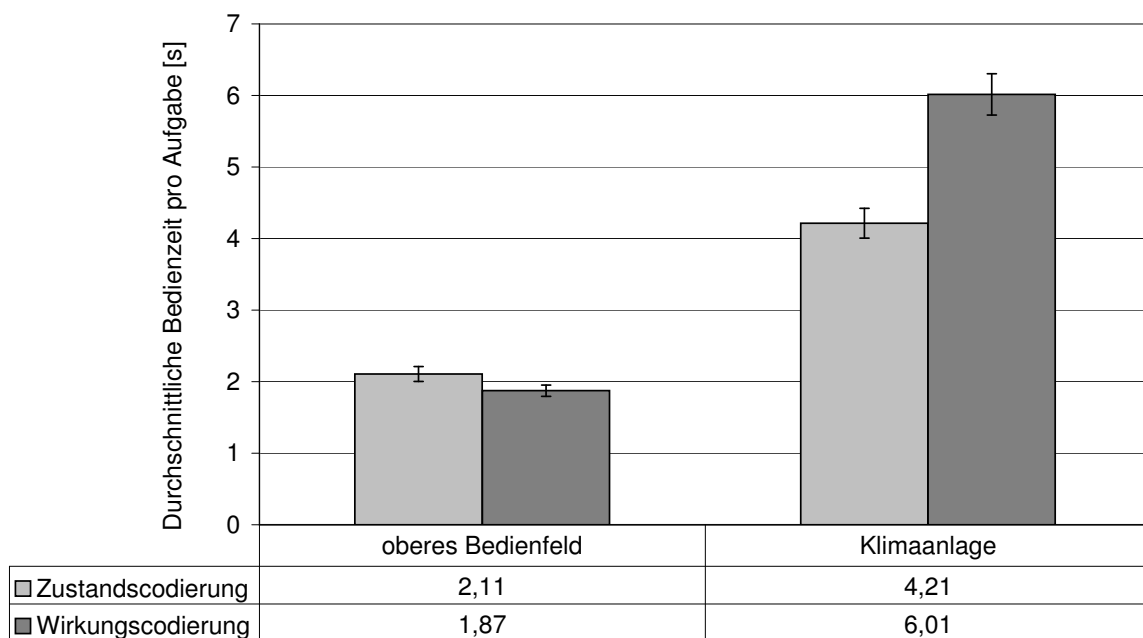


Abbildung 4.6: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

Bedienzeiten Klimaanlage

Bei der Klimaanlage wurden die Tasten mit Zustandskodierung ($M=4,21$; $SE=0,21$) schneller bedient als die Tasten mit Wirkungscodierung ($M=6,01$; $SE=0,29$), wie am Ergebnis der 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption und Codierung zu erkennen ist (Tabelle A.3). Für den Faktor Adaption wurde ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt festgestellt. Die anschließenden Paarvergleiche zeigten, dass Tasten mit statischer Beschriftung ($M=6,25$; $SE=0,36$) signifikant mehr Bedienzeit benötigten als Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=4,55$; $SE=0,34$) und reduzierte Tasten ($M=4,54$; $SE=0,21$). Zwischen den Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung und den reduzierten Tasten gab es keinen signifikanten Unterschied. Die Interaktion der Faktoren Codierung \times Adaption war signifikant, was erneut ein Hinweis darauf ist, dass der Einfluss der Adaption von der Codierungsart abhängig ist (Abbildung 4.7).

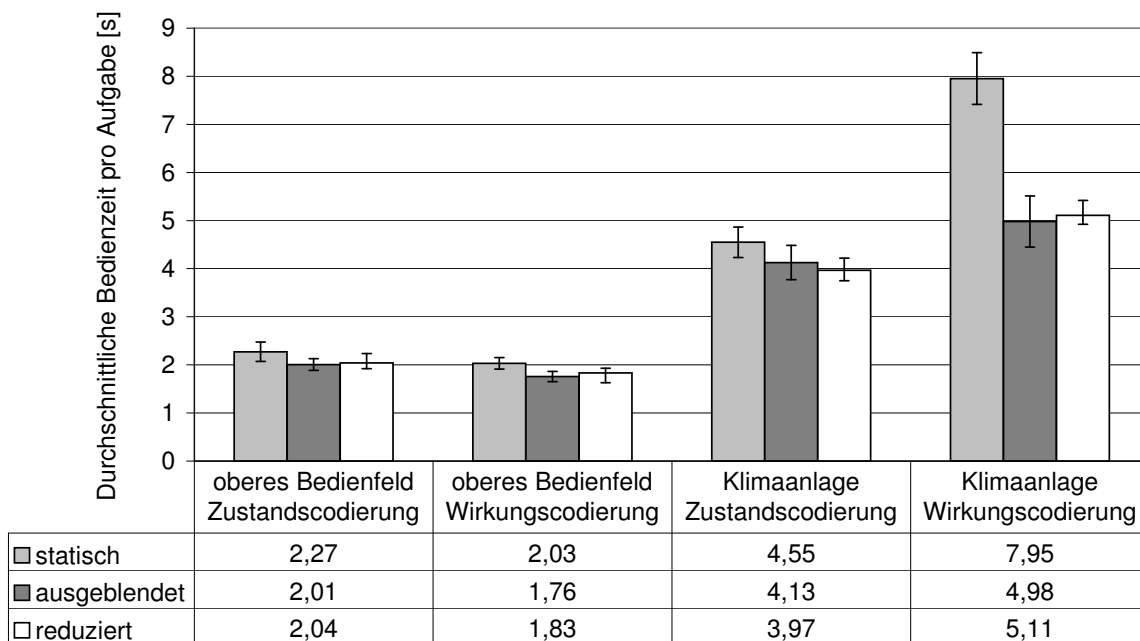


Abbildung 4.7: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von Adaption und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

4.3.2 Bedienfehler

In Bezug auf die relative Fehlerhäufigkeit wurden signifikante Haupteffekte für die Faktoren Adaption, Codierung und System festgestellt (Tabelle A.4).

Die anschließenden Paarvergleiche zeigten eine signifikant höhere Fehlerhäufigkeit bei Tasten mit statischer Beschriftung ($M=0,18$; $SE=0,11$) gegenüber Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=0,05$; $SE=0,01$) und reduzierten Tasten ($M=0,06$; $SE=0,01$). Zwischen den Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung und den reduzierten Tasten gab es erneut keinen signifikanten Unterschied

(Abbildung 4.8). Mit zustandscodierten Tasten ($M=0,08$; $SE=0,01$) wurden signifikant weniger Fehler gemacht als mit wirkungscodierten Tasten ($M=0,11$; $SE=0,01$) (Abbildung 4.9). Auch die Systeme unterschieden sich in der relativen Fehlerhäufigkeit signifikant voneinander. Im oberen Bedienfeld ($M=0,01$; $SE=0,002$) wurden weniger Fehler gemacht als bei der Klimaanlage ($M=0,18$; $SE=0,01$).

Die Interaktion System \times Codierung war signifikant, was darauf hinweist, dass sich der Einfluss der Codierung im oberen Bedienfeld von dem in der Klimaanlage unterscheidet. Die Interaktion Adaption \times Codierung war signifikant, was auf unterschiedlich große Effekte der Adaption bei der Zustands- und Wirkungscodierung hinweist. Die Interaktion System \times Adaption war zwar signifikant, spielt jedoch für die Interpretation der Faktoren keine Rolle, da es sich um eine sog. ordinale Interaktion handelt, die keinen Einfluss auf die Interpretation des Haupteffekts hat (Abbildung 4.8).

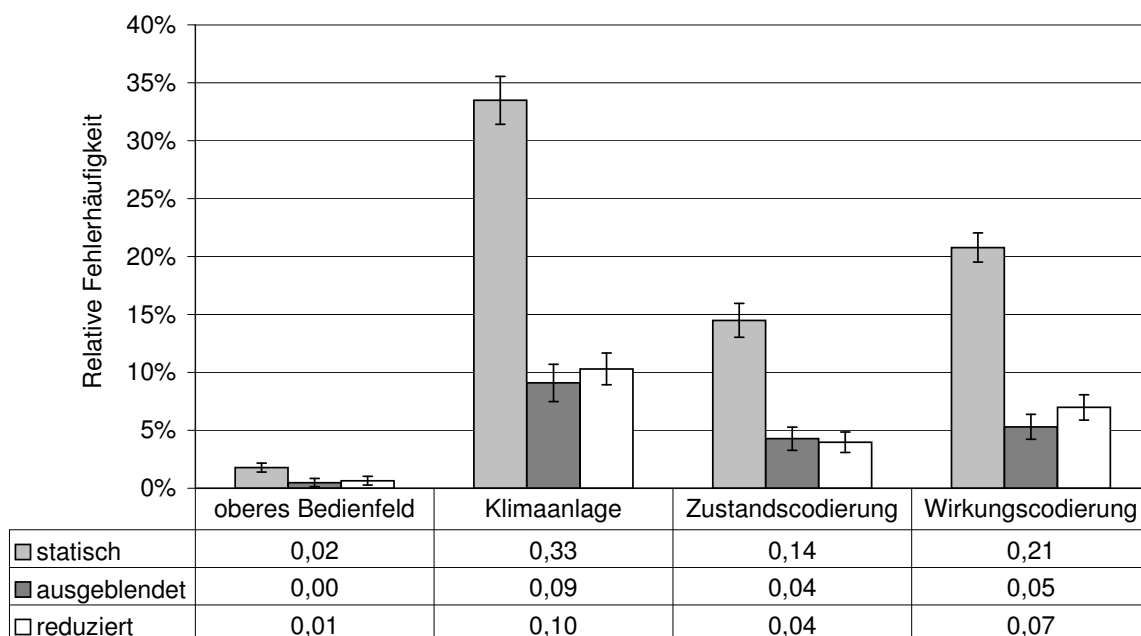


Abbildung 4.8: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

Bedienfehler oberes Bedienfeld

Die Wirkungscodierung ($M=0,003$; $SE=0,002$) schneidet im Rahmen der anschließenden 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption und Codierung signifikant besser ab als die Zustandscodierung ($M=0,02$; $SE=0,004$) (Tabelle A.5). Auch für den Faktor Adaption konnte ein signifikanter Haupteffekt nachgewiesen werden. Allerdings zeigte keiner der anschließenden Paarvergleiche signifikante Unterschiede, weshalb keine Aussagen darüber möglich waren, welche Bedingungen sich voneinander unterschieden (Abbildung 4.10).

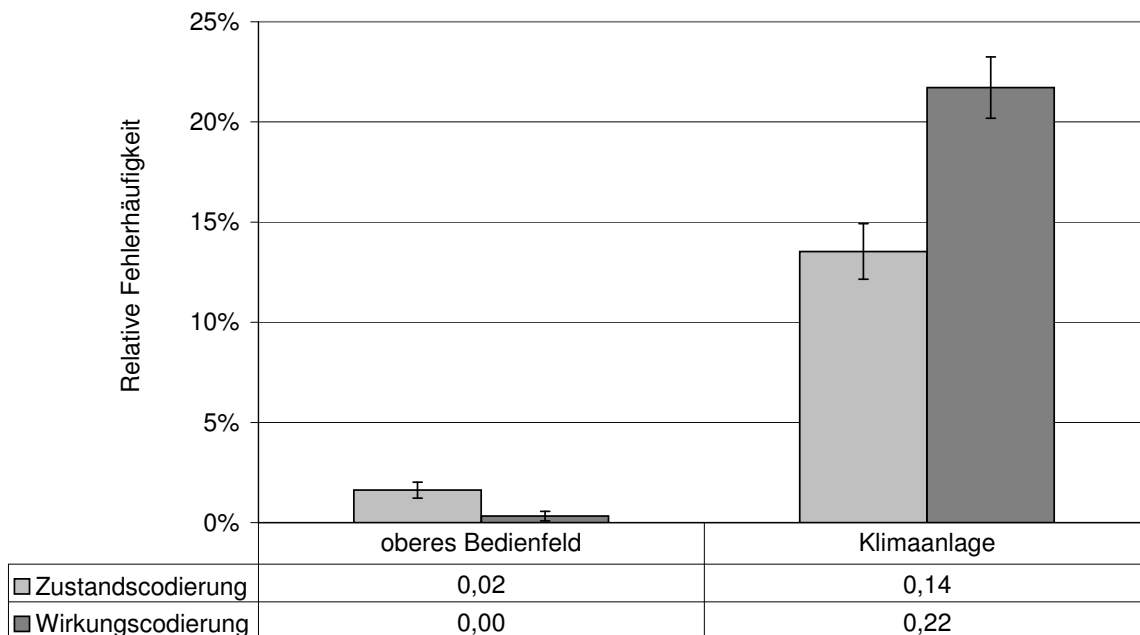


Abbildung 4.9: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

Bedienfehler Klimaanlage

Hier ergab die 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption und Codierung einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Codierung zugunsten der Zustandskodierung ($M=0,14$; $SE=0,01$) gegenüber der Wirkungskodierung ($M=0,22$; $SE=0,02$). Der Faktor Adaption führte zu signifikanten Unterschieden bei der Fehlerhäufigkeit. Die anschließenden Paarvergleiche ergaben signifikant höhere Fehlerhäufigkeiten bei den Tasten mit statischer Beschriftung ($M=0,34$; $SE=0,02$) gegenüber den Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=0,09$; $SE=0,02$) und den reduzierten Tasten ($M=0,10$; $SE=0,014$). Zwischen den Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung und den reduzierten Tasten gab es keinen signifikanten Unterschied. Die Interaktion Codierung \times Adaption war signifikant (Abbildung 4.10 und Tabelle A.5).

4.3.3 Ablenkung

Zunächst wurde überprüft, ob sich die mittlere Spurabweichung vom vorgegebenen normativen Modell als Maß für die Ablenkung nutzen lässt. Die Mittelwerte der beiden Baselines zu Beginn ($M=0,85$; $SE=0,04$) und Ende ($M=0,85$; $SE=0,04$) des Versuchs unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($t=0,08$; $p=0,937$), weshalb von konstanten Fahrleistungen der Probanden ausgegangen werden konnte (Abbildung 4.11). Anschließend wurde ein Mittelwert über die beiden Baselines gebildet und mit den Versuchsfahrten verglichen. Das Ergebnis zeigte, dass sich die Baselines ($M=0,85$; $SE=0,04$) von den Versuchsfahrten ($M=1,09$; $SE=0,05$) signifikant unterschieden ($t=-6,843$; $p<0,001$). Somit kann die mittlere Spurabweichung als Maß für die Ablenkung durch die Bedienung während der Fahrt im Lane-Change-Test benutzt werden.

Die 2-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption und Codierung (Tabelle A.6) ergab, dass die Anpassung der Tasten an die Bedienaufgabe tendenziell weniger ablenkend war als die statische Beschriftungen. Die anschließenden Paarvergleiche zeigten eine signifikante Reduzierung der

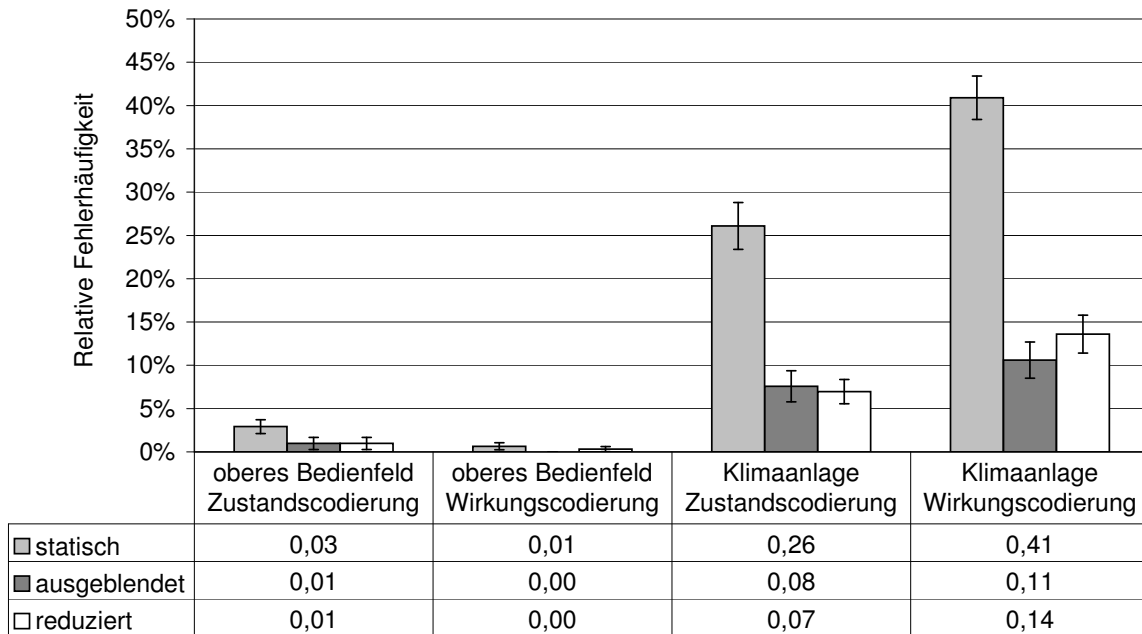


Abbildung 4.10: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Adaption und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

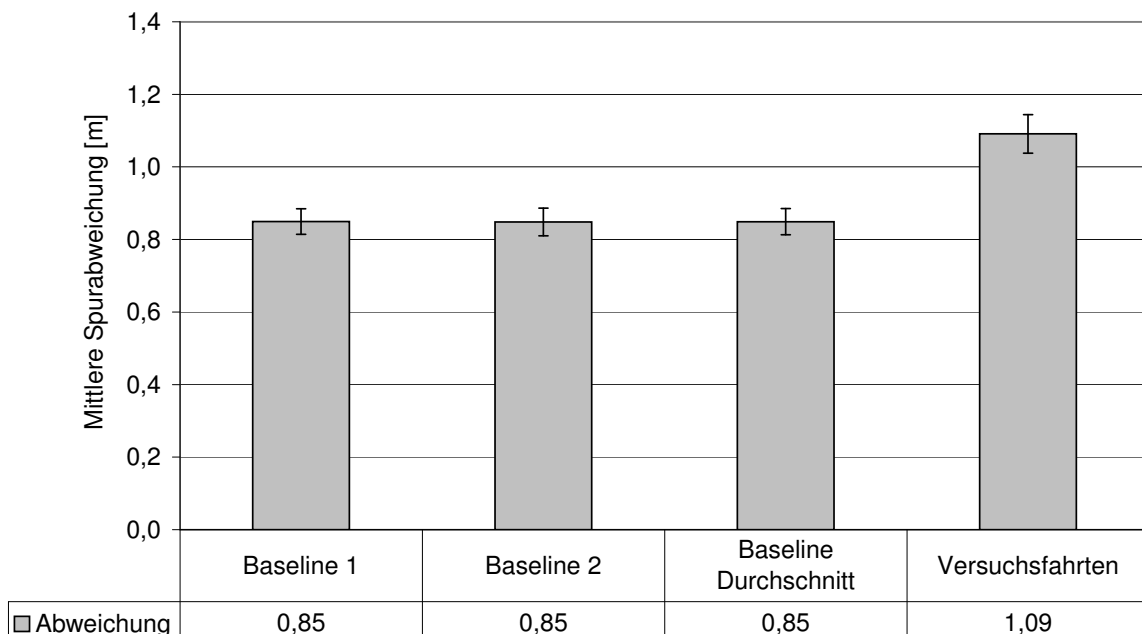


Abbildung 4.11: Mittlere Spurabweichung im Lane-Change-Test für die Baselines und die Versuchsfahrten (Mittelwerte und Standardfehler)

Ablenkung für Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=1,02$; $SE=0,05$) gegenüber den Tasten mit statischer Beschriftung ($M=1,15$; $SE=0,05$). Die Reduktion von Tasten brachte keine weitere Verbesserung, sondern war vergleichbar ablenkend wie die statische Beschriftung. Die Codierung der Tasten hatte einen signifikanten Einfluss auf die Ablenkung, wobei die Zustandskodierung ($M=1,01$; $SE=0,05$) weniger ablenkend war als die Wirkungscodierung ($M=1,17$; $SE=0,07$) (Abbildung 4.12).

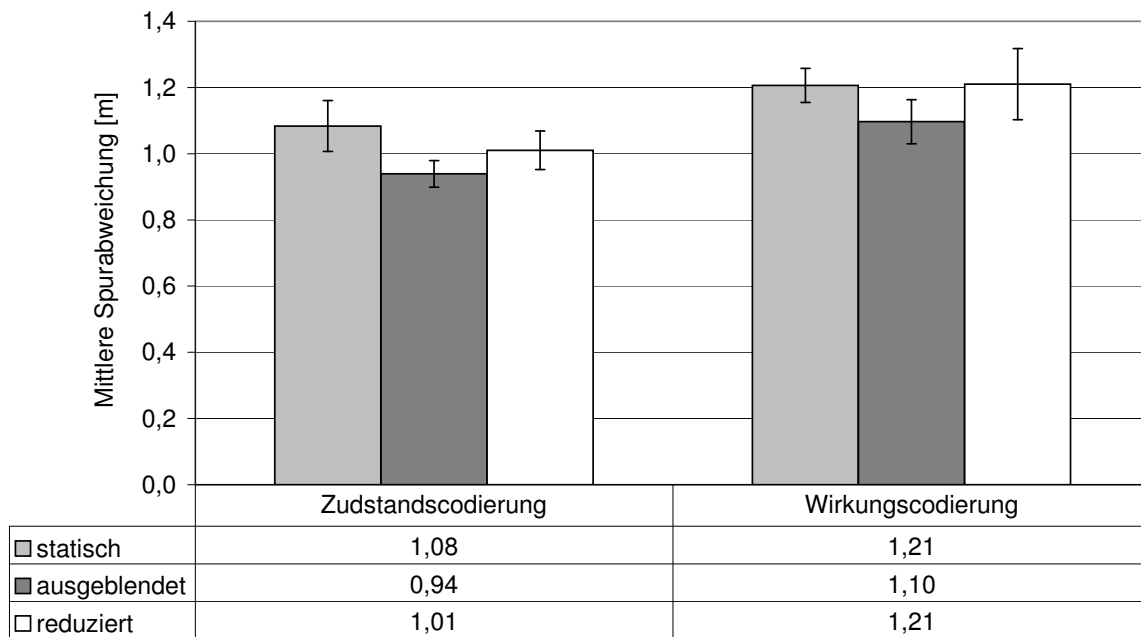


Abbildung 4.12: Mittlere Spurabweichung im Lane-Change-Test in Abhängigkeit von Codierung und Adaption (Mittelwerte und Standardfehler)

4.3.4 Subjektive Bewertungen

Die 3-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren System, Codierung und Adaption ergab erneut, einen signifikanten Haupteffekt für die Adaption (Tabelle A.7). Die anschließenden Paarvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Tasten mit statischer Beschriftung ($M=38,80$; $SE=4,25$) und Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=55,47$; $SE=2,15$). Ebenso ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Tasten mit statischer Beschriftung und den reduzierten Tasten nachweisen ($M=60,18$; $SE=3,81$) (Abbildung 4.13). Die Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung unterschieden sich nicht signifikant von den reduzierten Tasten (Abbildung 4.14). Die Interaktion zwischen System und Adaption war signifikant, was darauf hinweist, dass der Einfluss der Adaption bei den Bediensystemen unterschiedlich war.

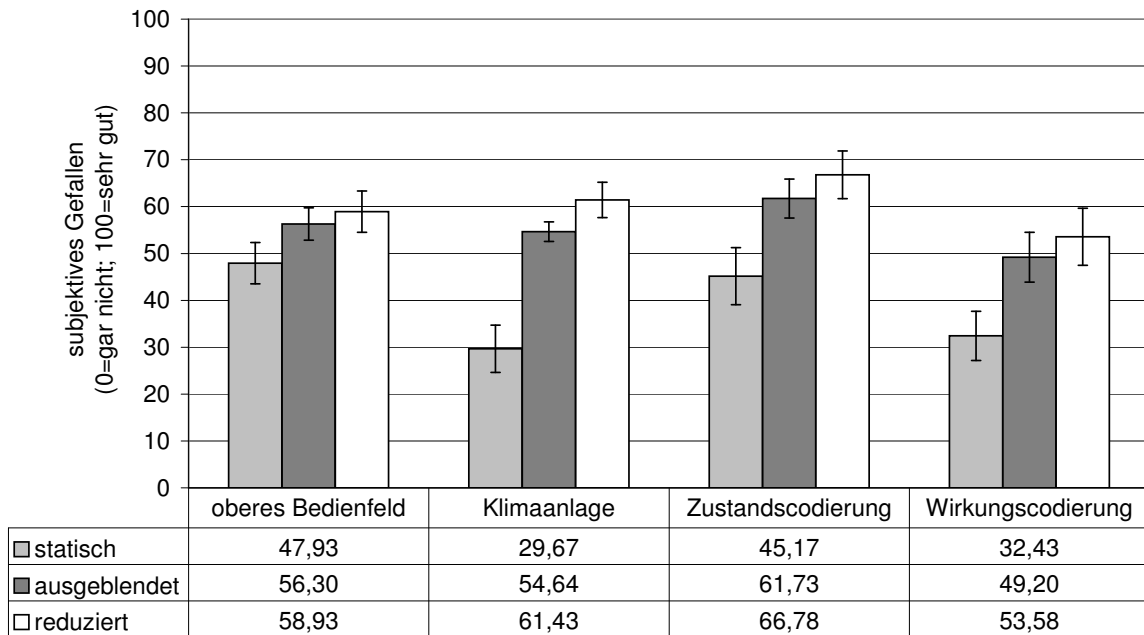


Abbildung 4.13: Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

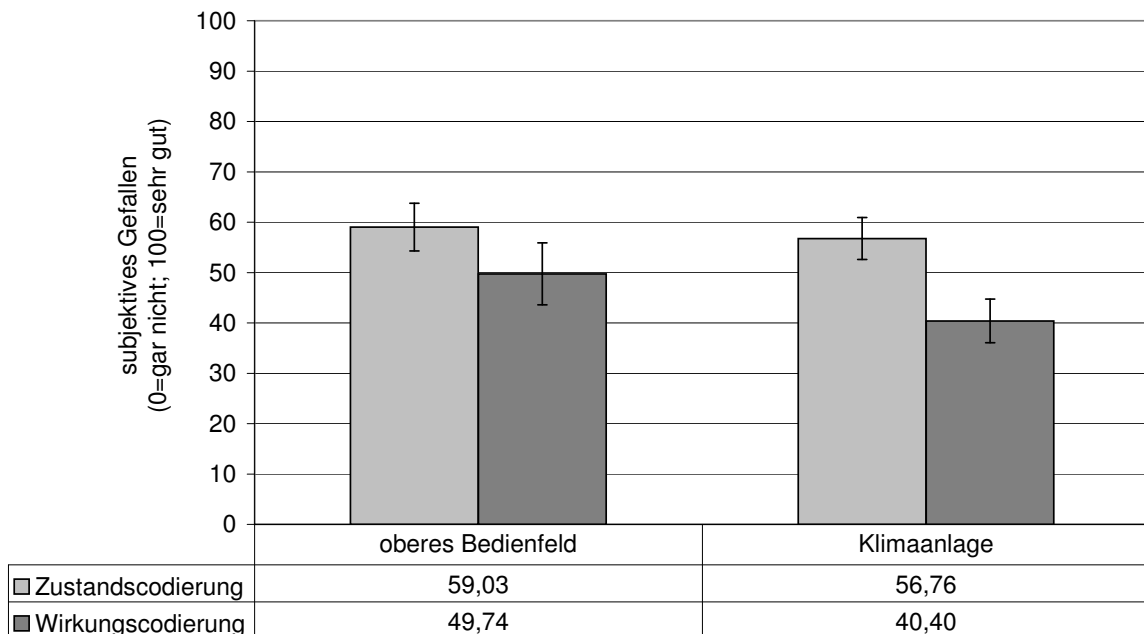


Abbildung 4.14: Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von System und Codierung (Mittelwerte und Standardfehler)

Subjektives Gefallen oberes Bedienfeld

In der anschließenden 2-faktoriellen Varianzanalyse wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Faktoren Adaption, Codierung oder deren Interaktion gefunden (Tabelle A.8 und Abbildung 4.15).

Subjektives Gefallen Klimaanlage

In der 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Adaption und Codierung konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Adaption nachgewiesen werden. Die anschließenden Paarvergleiche zeigten, dass Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung ($M=54,64$; $SE=2,09$) und reduzierte Tasten ($M=61,43$; $SE=3,78$) signifikant besser gefielen als Tasten mit statischer Beschriftung ($M=29,67$; $SE=5,05$). Die Tasten mit ausgeblendeter Beschriftung unterschieden sich nicht signifikant von den reduzierten Tasten (Tabelle A.8 und Abbildung 4.15). Auch für den Faktor Codierung konnte ein signifikanter Haupteffekt festgestellt werden, wobei die Zustandskodierung ($M=56,76$; $SE=4,17$) subjektiv besser gefiel als die Wirkungscodierung ($M=40,40$; $SE=4,32$).

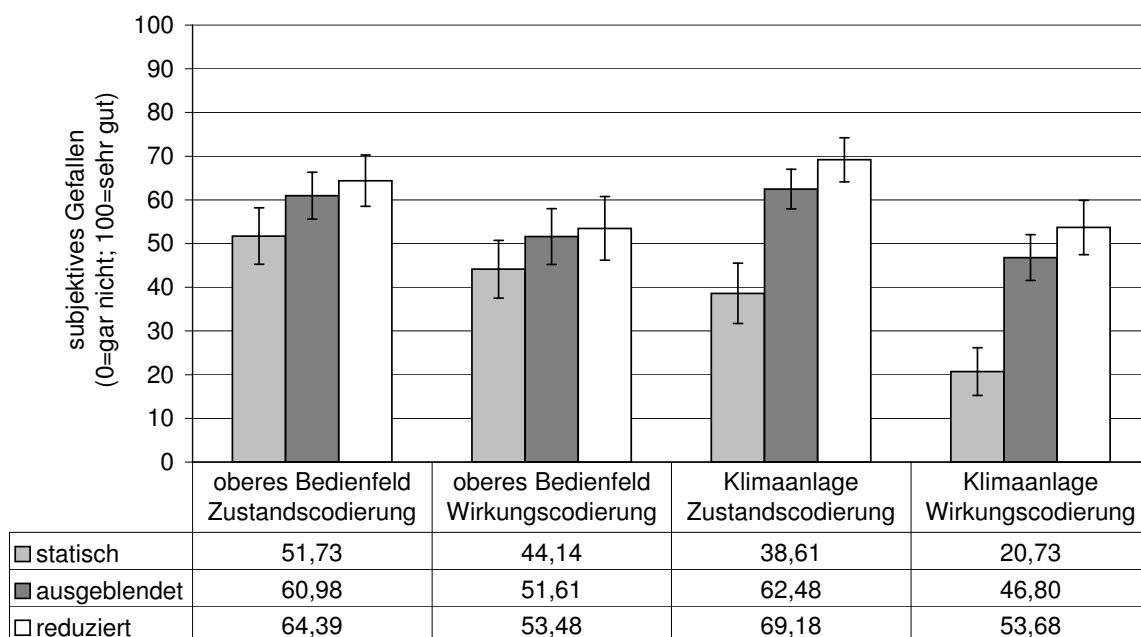


Abbildung 4.15: Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Adaption, Codierung und System (Mittelwerte und Standardfehler)

4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen

Das Ziel der Untersuchung war die Klärung der Frage, ob durch variable Beschriftung von Tasten die Bedienbarkeit verbessert, die Ablenkung von der Fahraufgabe reduziert und das subjektive Gefallen gesteigert werden kann. Außerdem sollten Einsatzmöglichkeiten für den Einsatz variabler Beschriftung in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen gefunden werden.

Das Ausblenden der Beschriftung und die Reduzierung von Tasten führt zu einer Verringerung der Bedienzeiten gegenüber den statischen Tasten um rund 24%. Dieser Effekt wird insbesondere von

den statisch, wirkungscodierten Tasten in der Klimaanlage verursacht. Die Fehlerhäufigkeit kann durch Ausblenden der Beschriftung und Reduzieren der Tasten gegenüber den statischen Tasten um rund 72% gesenkt werden. Dieser Effekt war vor allem bei der Klimaanlage zu beobachten. Durch das Ausblenden von Beschriftungen kann zudem die Ablenkung um rund 9% reduziert werden. Im Gegensatz zu den Bedienzeiten und -fehlern steigt die Ablenkung bei reduzierten Tasten tendenziell wieder an. Der Anstieg der Ablenkung bei der Reduzierung von Tasten könnte darauf zurück zu führen sein, dass die formale Ordnung des Bedienfeldes in Zeilen und Spalten verloren geht und dadurch die visuelle Orientierung für den Benutzer schwieriger wird. Subjektiv gefallen Tasten, die sich den aktuellen Bediemöglichkeiten anpassen besser als Tasten mit statischer Beschriftung. Das gilt insbesondere für die Klimaanlage. Sowohl für die Bedienzeiten, -fehler, Ablenkung als auch das Gefallen gilt, dass durch Reduktion von Tasten keine Verbesserungen gegenüber dem Ausblenden von Beschriftungen erzielt werden können. Das Ergebnis bestätigt somit die Hypothese 1.

Die Zustandscodierung ist um 20% schneller bedienbar als die Wirkungscodierung und es werden rund 32% weniger Fehler gemacht. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Wirkungscodierung im oberen Bedienfeld hinsichtlich der Bedienzeiten und -fehler besser ist als die Zustandscodierung. Jedoch ist der Vorteil bei den Bedienzeiten mit 0,2s sehr klein und Bedienfehler werden beim oberen Bedienfeld praktisch keine gemacht, weshalb die wenigen Fehler zu scheinbar großen Effekten führen. Es ist fraglich, ob der leichte Vorteil der Wirkungscodierung im oberen Bedienfeld von praktischer Bedeutung ist. Von praktischer Bedeutung ist dagegen der Effekt bei der Ablenkungsmessung. Die Zustandscodierung ist um 14% weniger ablenkend als die Wirkungscodierung. Dagegen fallen die Gefallensurteile nicht so eindeutig aus. Die Zustandscodierung gefiel nur für die Klimaanlage besser als die Wirkungscodierung. Das unterschiedliche Abschneiden der Codierungen je nach Bediensystem ist mit den funktionalen Abhängigkeiten, die es nur bei der Klimaanlage gab, erklärbar. Im oberen Bedienfeld mussten die funktional unabhängigen Funktionen einfach nur an oder ausgeschaltet werden. Die Wirkungscodierung entsprach daher genau dem Handlungsziel des Benutzers. Bei der Klimaanlage dagegen war es aufgrund der funktionalen Abhängigkeiten erforderlich den aktuellen Systemzustand zu erkennen, was eher der Zustandscodierung entgegenkommt. Trotzdem bestätigt das Ergebnis die Hypothese 2.

Alle Effekte sind wie erwartet bei dem Bediensystem mit funktionalen Abhängigkeiten (Klimaanlage) stärker aufgetreten als bei dem oberen Bedienfeld, womit auch die Hypothese 3 bestätigt werden kann. Wenn die Komplexität eines Bediensystems an den funktionalen Abhängigkeiten gemessen wird, kann das Ergebnis als Hinweis dafür gewertet werden, dass je komplexer ein Bediensystem ist, desto größer sind die Vorteile, die durch variable Tastenbeschriftungen erreicht werden können.

Aufgrund dieser Ergebnisse können folgende Empfehlungen für die Gestaltung variabel beschriftbarer Tasten abgeleitet werden:

- Die Beschriftung von Tasten sollte ausgeblendet werden, wenn sie nicht bedienbar sind. Das gilt insbesondere für Bediensysteme, deren Funktionen funktional abhängig sind.

- Auch wenn variabel beschriftbare Tasten die Möglichkeit bieten eine Wirkungscodierung zu realisieren, ist eine Zustandscodierung die bessere, insbesondere weniger ablenkende, Gestaltungsalternative.
- Da die gefundenen Vorteile vor allem beim Faktor Adaption auftraten, hat das Ausblenden der Tastenbeschriftung ein größeres Potenzial zur Verbesserung der Bedienbarkeit und Reduzierung der Ablenkung als die Art der Codierung.

Diese Gestaltungsempfehlungen lassen sich aufgrund des Versuchsaufbaus auch auf die Gestaltung grafischer Benutzeroberflächen und Touchscreens übertragen und verdeutlichen die in Sandler u. Schmauder (2006) bereits vorgestellten Ergebnisse und Empfehlungen.

5 Entwicklung eines variablen zentralen Bedienelements

Im Kapitel 3 wurde festgestellt, dass bei abgesetzten Bediensystemen am zentralen Bedienelement, abhängig von der Bedienaufgabe, vor allem die Bedienhandlungen Drehen und Schieben ausgeführt werden müssen und der Fahrer bei der Auswahl der Bedienhandlung aktiv unterstützt werden sollte. Dazu wurden sowohl bei Zeilinger (2005) als auch bei Grane u. Bengtsson (2005) haptische Codierungen in Form von Kräften und Momenten bzw. Vibrationen eingesetzt.

Da beide Untersuchungen keine klaren Vorteile für diese Arten haptischen Codierungen nachweisen konnten, ist ein alternativer Ansatz die Form des Bedienelements zu nutzen. Durch haptische Formcodierung des zentralen Bedienelements könnte einerseits ein sinnfälliger Zusammenhang zwischen Bedienelement und Anzeige hergestellt werden. Andererseits könnte der Fahrer die Bedienhandlungen anhand der Form des zentralen Bedienelements haptisch erkennen und ausführen (haptische Reiz-Reaktions-Kompatibilität). Dadurch sollen die Bedienbarkeit verbessert und die Ablenkung von der Fahraufgabe reduziert werden. Die Anpassung der Form soll dabei, nicht wie bei Michelitsch u. a. (2004) durch den Benutzer, sondern aktiv durch das Bediensystem erfolgen. In Abbildung 5.1 ist dieser Ansatz zu Verdeutlichung grafisch dargestellt.

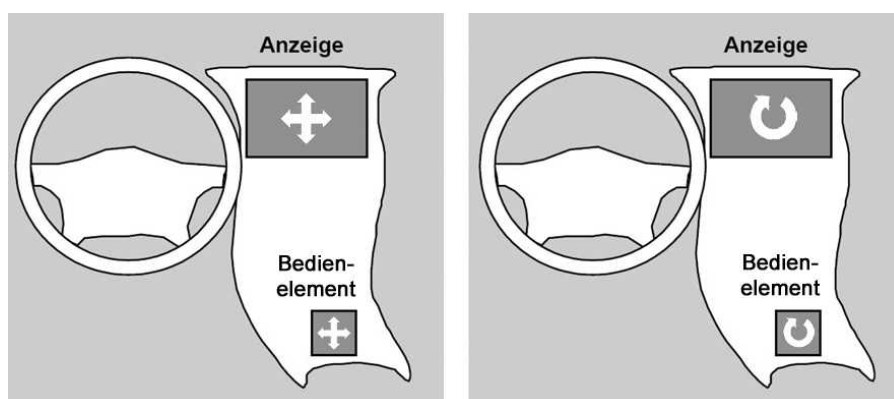


Abbildung 5.1: Das zentrale Bedienelement eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems nimmt eine zur Anzeige kompatible Form an und codiert dadurch die Bedienhandlung Schieben oder Drehen

5.1 Vorgehensweise

Unter Beachtung der in Abschnitt 2.5.3 vorgeschlagenen Vorgehensweise wird bei der Entwicklung eines zentralen Bedienelements für die Bedienaufgaben "Drehen" und "Schieben" wie in Abbildung 5.2 dargestellt vorgegangen.

5.2 Beschreibung der Bedienaufgaben

Zunächst werden, wie in Abbildung 5.2 dargestellt, die Bedienaufgaben beschrieben und daraus die Anforderungen an das Bedienelement abgeleitet. Mit dem Bedienelement sollen später repräsentative Bedienaufgaben eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem bedient werden.

5.2.1 Bedienaufgabe "Drehen"

Das Scrollen in Listen (z.B. Städte-, Namens-, Buchstaben-, Nummernlisten) und kontinuierliche Einstellungen (z.B. Temperatur) sollen durch Drehen des Bedienelements erfolgen. Folgende Anforderungen für die Bedienaufgabe "Drehen" wurden unter Zuhilfenahme der arbeitswissenschaftlichen Literatur und Normen (Schmidtke, 1993; Rühmann, 1993a; Bullinger, 1994; Bullinger u. a., 1997; DIN-EN894-3, 2000; Dangelmaier u. a., 1990) in einer Expertengruppe festgelegt und in ein Aufzeichnungsformular nach DIN-EN894-3 (2000) eingetragen (Abbildung B.1).

Allgemeine, aufgabenbezogene Anforderungen: Hohe Stellgenauigkeit und -geschwindigkeit zum Auswählen von Listeneinträgen und für kontinuierliche Einstellungen. Geringe Stellkraft für schnelle und komfortable Bedienung.

Spezifische, aufgabenbezogene Anforderungen: Hohe Anforderungen bzgl. einer kompatiblen Formcodierung zur haptischen Erkennung der Bedienhandlung Drehen (Reiz-Reaktions-Kompatibilität). Unbeabsichtigte Bedienung soll vermieden werden.

Bewegungsmerkmale: Es handelt sich um eine eindimensionale, rotatorische und kontinuierliche Bewegung in zwei Richtungen über einen Drehwinkel von 360°. Die leicht nach vorne geneigte Drehachse ist, in der für zentrale Bedienelemente typischen Position, in der Mittelkonsole angeordnet.

Greifmerkmale: Als Greifart soll ein für zentrale Bedienelemente typischer Finger-Zufassungsgriff möglich sein, der sowohl schnelles als auch genaues Einstellen ermöglicht.

5.2.2 Bedienaufgabe "Schieben"

Die Auswahl von Menüpunkten (z.B. Funktionen, Unterfunktionen) soll durch Schieben des Bedienelements erfolgen. Für die Bedienaufgabe "Schieben" wurden folgende Anforderungen festgelegt und in ein separates Aufzeichnungsformular nach DIN-EN894-3 (2000) eingetragen (Abbildung B.2).

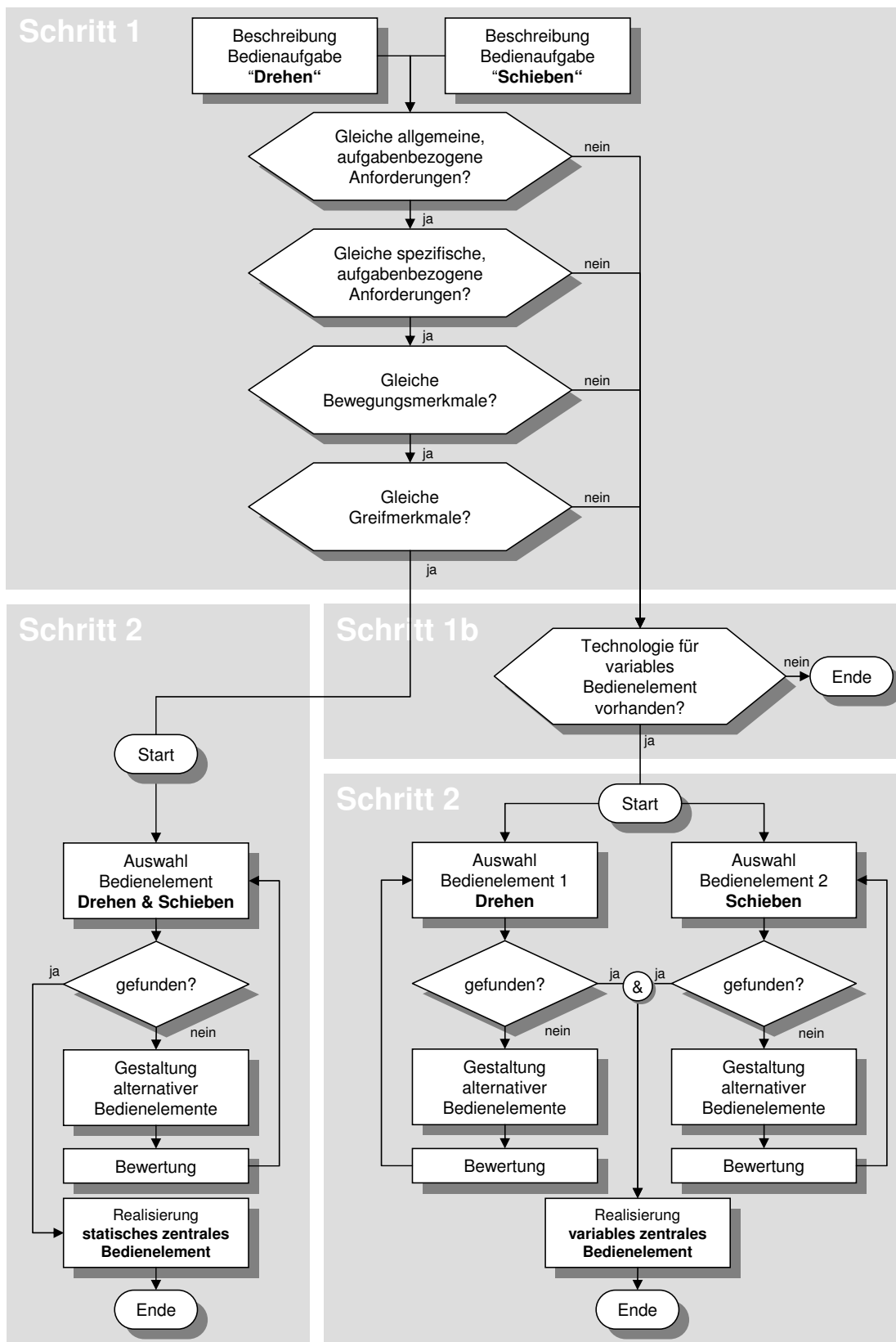


Abbildung 5.2: Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bedienelements für Drehen und Schieben

Allgemeine, aufgabenbezogene Anforderungen: Hohe Stellgenauigkeit zum Anwählen von Menüpunkten. Mittlere Stellkraft für sichere Bedienung.

Spezifische, aufgabenbezogene Anforderungen: Hohe Anforderungen bzgl. einer kompatiblen Formcodierung zur haptischen Erkennung der Bedienhandlung Schieben (Reiz-Reaktions-Kompatibilität). Unbeabsichtigte Bedienung soll vermieden werden.

Bewegungsmerkmale: Zweidimensionale, translatorische Bewegung in vier Richtungen und in diskreten Schritten.

Greifmerkmale: Als Greifart soll ein für zentrale Bedienelemente typischer Finger-Zufassungsgriff möglich sein.

5.3 Vergleich der Anforderungen

Der Vergleich der Anforderungen zeigt, dass die Bedienaufgaben unterschiedliche allgemeine und spezifische aufgabenbezogene Anforderungen an das Bedienelement stellen und sich ihre Bewegungs- und Greifmerkmale unterscheiden (Tabelle 5.1 und Abbildungen B.1, B.2).

Tabelle 5.1: Abgleich der Anforderungen der Bedienaufgaben "Drehen" und "Schieben"

Anforderung	gleich für "Drehen" und "Schieben"
Allgemeine, aufgabenbezogene Anforderungen	nein
Spezifische, aufgabenbezogene Anforderungen	nein
Bewegungsmerkmale	nein
Greifmerkmale	nein

Es muss folglich mit der Entwicklung eines variablen Bedienelements begonnen werden. Im nächsten Schritt sind nach Abbildung 5.2 die Möglichkeiten einer variablen Bedientechnologie zu prüfen.

5.4 Technologiekonzept eines variablen zentralen Bedienelements

Für ein variables Bedienelement ist eine Aktorik notwendig, die es ermöglicht, eine Veränderung der Form des Bedienelements zu bewirken. Prinzipiell sind dabei unterschiedliche Aktortechnologien denkbar. Durch pneumatische oder hydraulische Aktuatoren könnte das Volumen des Bedienelements oder seiner Teile verändert werden. Problematisch gestaltet sich bei diesen Technologien die Zuführung der Luft bzw. eines Fluids unter hohem Druck und bei Rotation des Bedienelements. Durch piezoelektrische Aktuatoren können kräftige aber nur relativ kleine Formänderungen erreicht werden. Elektromechanische Aktoren bieten im Vergleich zur Piezotechnologie die Möglichkeit, große Weg- und Längenänderungen realisieren zu können. Dies sind nur einige Beispiele möglicher Aktor-

technologien. Es gibt darüber hinaus noch andere vielversprechende Ansätze wie z.B. elektrostatische Polymeraktoren, die sich jedoch noch im Forschungsstadium befinden (Jungmann u. Schlaak, 2002; Schlaak u. a., 2006).

Abgesehen von der Aktorik für die variable Formcodierung, müssen die ausgeführten Bewegungen über eine geeignete Sensorik erfasst und an das Bedien- und Anzeigesystem zur Weiterverarbeitung übertragen werden. Mögliche Sensoren dafür sind z.B. Mikroschalter, Encoder, Lichtschranken, Joysticks oder Joystick-Encoder.

Beim Material wurde der Einsatz von Kunststoffen, Metallen und elastischen Materialien geprüft. Kunststoffe sind die bei Bedienelementen am häufigsten verwendeten Werkstoffe, weil sie ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit bieten. Metalle bieten nicht ganz so viele (Form-) Gestaltungsmöglichkeiten, haben dafür aber eine bessere Wertanmutung und Haltbarkeit als Kunststoffe. Vor dem Hintergrund der Verformbarkeit wurden auch der Einsatz elastischer Materialien geprüft. Auch wenn diese sich für verformbare Bedienelemente eignen würden, haben sie dennoch einen entscheidenden Nachteil: Praktisch alle Materialien verspröden mit der Zeit und verlieren dadurch ihre elastischen Eigenschaften. Dieser Effekt tritt insbesondere unter klimatisch wechselnden Bedingungen (Sommer/Winter) und starker Sonneneinstrahlung auf. Beides trifft in besonderem Maße für ein zentrales Bedienelement zu.

Aufgrund dieser Überlegungen ergibt sich ein morphologischer Kasten nach Tabelle 5.2 zur Lösungsauswahl.

Tabelle 5.2: Morphologischer Kasten zur Auswahl eines Technologiekonzepts

	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D	Variante E
Aktor	pneumatisch	hydraulisch	piezoelektrisch	elektromechanisch	elektrostat. Polymere
Material	Kunststoff	Metall	elast. Materialien		
Sensor	Mikroschalter	Encoder	Lichtschranke	Joystick	Dreh-Drück-Joystick

Die sich aus Tabelle 5.2 ergebenden Technologiekonzepte wurden hinsichtlich technischer, ergonomischer und wirtschaftlicher Aspekte bewertet (Petrov, 2004). Auf dieser Grundlage wurde dann in einer Expertengruppe eine Variante basierend auf einer elektromechanischen Aktortechnologie ausgewählt. Um eine geeignete Formänderung zu erreichen, soll das Bedienelement aus einem Kunststoffgehäuse bestehen, dessen Grundform der Form für "Schieben" entspricht (Abbildung 5.3). Aus diesem Gehäuse werden bewegliche Lamellen ausgefahren, durch die der Umfang der Grundform verändert wird und eine neue Form entsteht, die für "Drehen" geeignet sein soll. Als Sensor soll ein kompakter Joystick-Encoder der Fa. Grayhill (Typ 60-A) verwendet werden, bei dem alle erforderlichen Freiheitsgrade in einer kompakten, elektromechanischen Komponente integriert sind.

Nachdem somit ein Technologiekonzept vorhanden ist, müssen Bedienelemente für die Bedienaufgaben "Drehen" und "Schieben" bzw. deren Formen festgelegt werden.

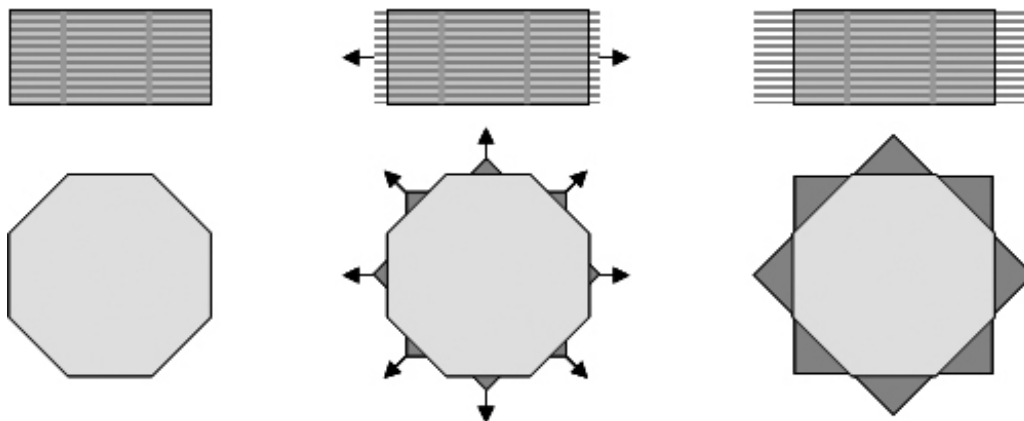


Abbildung 5.3: Technologiekonzept eines zentralen Bedienelements mit variabler Formcodierung: Grundform A mit eingefahrenen Lamellen (li.), Ausfahren von Lamellen (m.), Grundform B mit ausgefahrenen Lamellen (re.)

5.5 Auswahl eines Bedienelements für "Drehen"

Aufgrund der Anforderungen die sich aus der Aufgabe "Drehen" ergeben, findet man nach DIN-EN894-3 (2000) die Stellteilmfamilien Nr. 30 und 33, in denen je drei Bedienelemente vorgeschlagen werden (Abbildung 5.4).

Besonders geeignet ist danach ein runder Drehknopf bzw. Drehsteller mit oder ohne Rändelung. Als Durchmesser wurde unter Beachtung der in Serienfahrzeugen verwendeten zentrale Bedienelemente (Abbildungen 3.6, 3.7, 3.8, 3.9) und Empfehlungen der DIN-EN894-3 (2000) und dem Lösungskatalog von Neudörfer (1981) ein Durchmesser von 60mm und eine Höhe von 30mm ausgewählt.

Offen bleiben jedoch die Fragen, ob ein Rändel zum Einsatz kommen soll oder nicht und ob runde Formen auch wie gewünscht immer die Bedienung Drehen bei Benutzern auslösen (Reiz-Reaktions-Kompatibilität).

5.6 Auswahl eines Bedienelements für "Schieben"

Für "Schieben" konnte in der DIN-EN894-3 (2000) keine den Bewegungsmerkmalen entsprechende Stellteilmfamilie gefunden werden. Der Grund dafür war, dass im Lösungskatalog der DIN-EN894-3 (2000) keine Bedienelemente dokumentiert sind, die translatorische Bewegungen in vier Richtungen ermöglichen.

Aufgrund der offenen Fragen, welche Formen die Bedienelemente für "Drehen" und "Schieben" haben sollten, wurden zwei weitere Untersuchungen angestellt:

- Analyse von Bedienelementen technischer Geräte
- Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen

Rotatorische Stellteile – kontinuierliche Stellbewegungen										
Stellteilmfamilie		Stellteiltyp	Typische Beispiele	Merkmale (spezifische Aufgabenanforderungen)						Bemerkungen
Nr	Greifmerkmale o) Greifart p) Teil der Hand q) Art der Stellkraftaufbringung			d	e	f	g	h	i	
				Sichtkontrolle	Tastkontrolle	Unbeabsichtigtes Stellen	Reibung	Stellen mit Handschuh	Reinigungsmöglichkeit	
30	Zufassungsgriff Finger tangential	Knopf mit geriffelter Kante		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
	Mechanisch gekoppelter Knopf		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		
33	Zufassungsgriff Hand tangential	Gerändelter Handknopf		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		Sterngriff mit acht Griffmulden		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		Knopf mit Innenprofil		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	

Abbildung 5.4: Auswahl eines Bedienelements für die Bedienaufgabe "Drehen" anhand des Lösungskatalogs (Ausschnitt) nach DIN-EN894-3 (2000)

5.7 Analyse von Bedienelementen technischer Geräte

Die Analyse von Bedienelementen technischer Alltagsgeräte wie Telefon, Radio, Computer oder DVD-Player war Gegenstand der ersten Untersuchung. Dabei wurde angenommen, dass die Bedienelemente der Geräte, die von vielen Personen häufig genutzt werden, die Erwartungen an andere Bedienelemente bestimmen. Anhand eines Fragebogens wurde deshalb die Verbreitung und Nutzungshäufigkeit sowie Hersteller und Produktbezeichnung von 26 verschiedenen technischen Geräte erhoben. Im Zeitraum Februar bis Juli 2005 füllten 110 Personen den Fragebogen aus. Anschließend wurden anhand von Produktbildern und Bedienungsanleitungen die Bedienelemente analysiert und bzgl. der Kriterien Bedienaufgabe, Form, Bewegungs- und Greifmerkmale u.v.m. systematisiert.

Die Ergebnisse in Abbildung 5.5 zeigen, dass es Geräte gab, die besonders häufig von fast allen Befragten benutzt wurden: Handy, Fernseher (vor allem dessen Fernbedienung), schnurloses Telefon, Internet-Browser, Autoradio und PC bzw. Laptop. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Erwartungen der Benutzer an Bedienelemente besonders von diesen Geräten geprägt werden. Aufgrund der hohen Varianz der Hersteller und deren Produkte, konnten jedoch keine ausreichenden Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Formen für die Bedienaufgabe "Schieben" besonders geeignet sind.

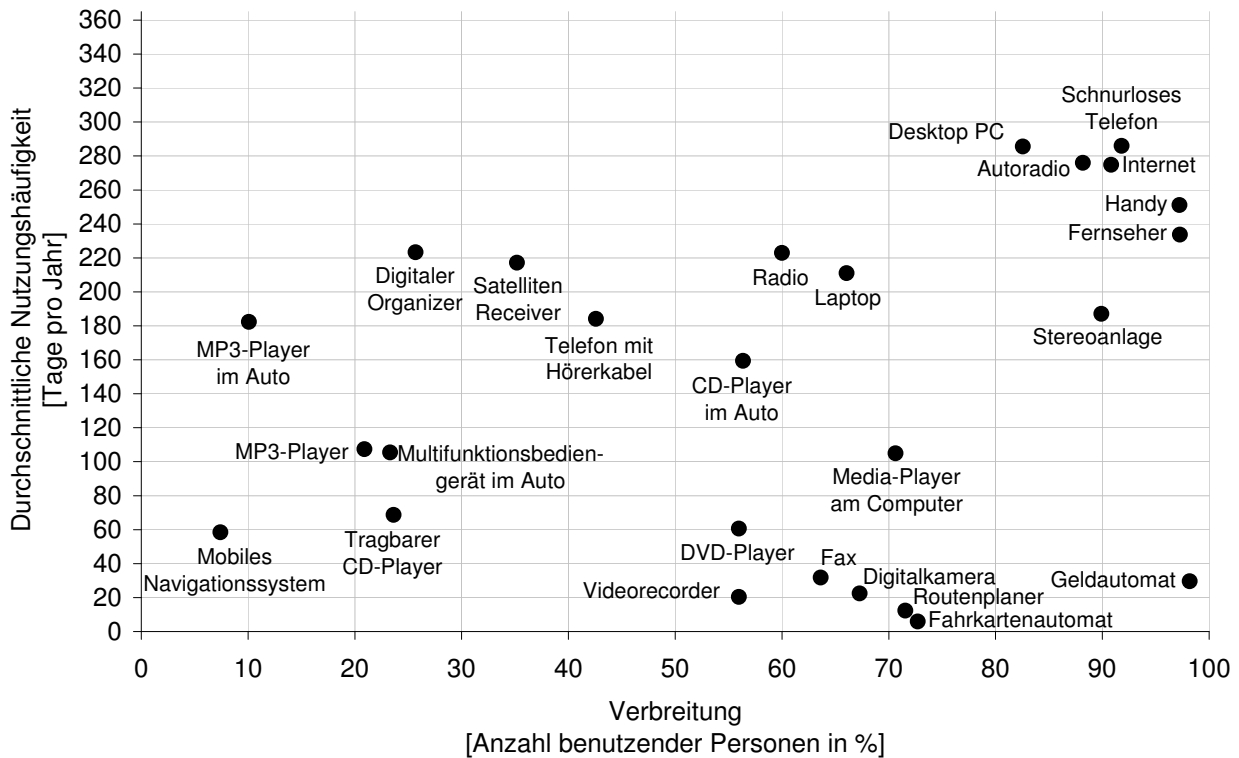


Abbildung 5.5: Verbreitung und Nutzungshäufigkeit ausgewählter technischer Geräte. Ergebnis der durchgeführten Fragebogenbefragung (n=110 Personen)

Ein Hinweis, der jedoch aus den Daten gewonnen werden konnte war, dass Bedienelemente zur Bedienung in vier Richtungen mehrheitlich vertikal und horizontal symmetrisch ausgeführt waren. Sie bestanden häufig aus vier symmetrisch angeordneten Tasten (Fernbedienungen, Cursortasten), einer viereckigen Taste mit vier Druckpunkten (Handy) oder kleinen Finger-Joysticks (Handy, Fernbedienungen). Häufig wurden diese Bedienelemente mit einem Daumen-Kontaktgriff bedient. Es blieb jedoch unklar, wie ein Bedienelement für Schieben bei einem Finger-Zufassungsgriff aussehen sollte. Des weiteren wurde festgestellt, dass Bedienelemente zum Drehen in der Mehrzahl rund waren und sowohl glatte als auch gerändelte Oberflächen hatten.

In Anbetracht der noch offenen Fragen bzgl. der Form zum Schieben und des Rändel, wurde in einer weiteren Untersuchung nach Formen und Formeigenschaften gesucht, die haptisch reiz-reaktionskompatibel zu den Bedienhandlungen Drehen und Schieben sind.

5.8 Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen

Gegenstand dieser Untersuchung ist die Bestimmung von haptischen Eigenschaften (haptische Reize), die kompatibel zu den Bedienhandlungen (Reaktionen) Drehen bzw. Schieben sind. Die untersuchten Gestaltungsparameter sind in Abbildung 5.6 gekennzeichnet.

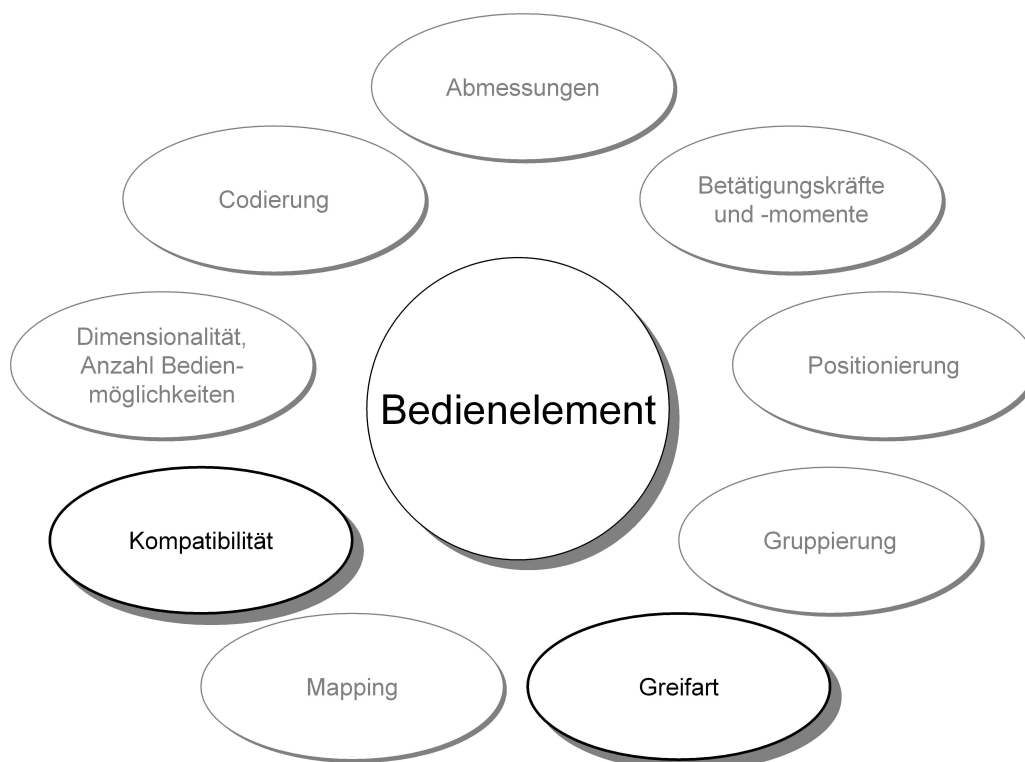


Abbildung 5.6: Im Zusammenhang mit der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen untersuchte Gestaltungsparameter

5.8.1 Hypothesen

Aus der Vielzahl möglicher haptischer Eigenschaften wurden in einer Expertenrunde, unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Porter u. a. (2005), Zeilinger (2005), Tille u. Krüger (2004), Lomas u. a. (2003), Lederman u. Klatzky (2002), Muntzinger (1986) u.a., folgende Eigenschaften von Bedienelementen ausgewählt, die in der Untersuchung variiert wurden.

- Globale Form (rund, quaderförmig, rund konvex, rund konkav, maus-ähnlich)
- Lokales Merkmal Rändel (ohne Rändel, leichter Rändel, starker Rändel)
- Lokales Merkmal Fase (ohne Fase, kleine Fase, große Fase)

Durch Kombination dieser Eigenschaften ergeben sich unterschiedliche Formen als Grundlage für diesen Versuch. Außerdem wurden weitere Faktoren identifiziert, von denen vermutet wurde, dass sie die Reiz-Reaktions-Kompatibilität beeinflussen.

- Art der Wahrnehmung (taktile, haptisch, haptisch-visuell)
- Wahl der Greifart (frei wählbar, konstruktiv vorgegeben)

Grundsätzlich wurde angenommen, dass sich verschiedene Formen hinsichtlich ihrer Reiz-Reaktions-Kompatibilität unterscheiden (H1).

Darüber hinaus stellte sich die Frage, ob verschiedene Formen unterschiedlich wahrgenommen werden, wenn sie nur berührt (taktile Wahrnehmung der Reize), berührt und bewegt (haptische Wahrnehmung der Reize) oder berührt, bewegt und angesehen (haptische u. visuelle Wahrnehmung der Reize) werden. Es wurde angenommen, dass sich die Reiz-Reaktions-Kompatibilität der Formen zwischen den Wahrnehmungsmodi unterscheidet (H2).

Es wurde auch angenommen, dass die Greifart die Kompatibilität der Formen beeinflusst, wenn man den Probanden die Wahl der Greifart überlässt oder wenn man diese durch eine entsprechend geformte Handauflage (Abbildung 5.9) standardisiert (H3).

Bezüglich der globalen Form wurde insbesondere angenommen, dass eine runde Form kompatibel zur Bedienhandlung Drehen und eine quaderförmige Form zur Bedienhandlung Schieben ist (H4).

Aufgrund der steigenden Kippneigung wurde außerdem angenommen, dass eine Fase an der unteren Kante der Form die Kompatibilität für Schieben erhöht (H5).

Da im Alltag (vgl. Abschnitt 5.7) eine Vielzahl von Drehstellern gerändelt sind, wurde angenommen, dass ein Rändel die Kompatibilität einer Form für Drehen erhöht (H6).

5.8.2 Methode und Stichprobe

Versuchsdesign

Zur Überprüfung dieser Hypothesen wurde ein dreiteiliger Versuch konzipiert. Der erste Teil diente zur Untersuchung der Faktoren Handauflage, Wahrnehmungsmodus und Form (Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3: Versuchsdesign zur Untersuchung von Handauflage, Modus und Form

Faktor	Faktorstufen					
	mit Handauflage			ohne Handauflage		
Handauflage						
Modus	taktile	haptisch	visuell-haptisch	taktile	haptisch	visuell-haptisch
Form	BE1 ... 14	BE1 ... 14	BE1 ... 14	BE1 ... 14	BE1 ... 14	BE1 ... 14

Der zweite Versuchsteil diente zur Untersuchung der Faktoren globale Form und lokales Merkmal Fase (Tabelle 5.4).

Tabelle 5.4: Versuchsdesign zur Untersuchung von globaler Form und Fase

Faktor	Faktorstufen					
globale Form	rund			quaderförmig		
lokales Merkmal Fase	ohne	klein	groß	ohne	klein	groß

Im dritten Teil des Versuchs wurde der Zusammenhang der Faktoren globale Form und lokales Merkmal Rändel untersucht (Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5: Versuchsdesign zur Untersuchung von globaler Form und Rändel

Faktor	Faktorstufen					
globale Form	rund			quaderförmig		
lokale Merkmal Rändel	ohne	leicht	stark	ohne	leicht	stark

Zur Messung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität wurden verschiedene abhängige Variablen per Fragebogen erfasst (Anhang B). Zunächst die von den Probanden bevorzugte Bedienhandlung, wobei sie sich für eine bevorzugte Bedienhandlung entscheiden mussten - entweder für Drehen oder Schieben. Anschließend wurde differenzierter nach der Eignung einer Form für die Bedienhandlungen Drehen, der Eignung für Schieben nach links und rechts sowie nach der Eignung für Schieben nach vorne und hinten gefragt. Die Bewertungen wurden anhand einer Rating-Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) abgegeben (Anhang B). Nachdem die Probanden alle Formen im Versuch einzeln bewertet hatten, sollten sie die Formen aufgrund ihrer Eignung für eine Bedienhandlung auf einer Visuell-Analog Skala mit den Polen Drehen und Schieben anordnen (Abbildung 5.10 und vgl. Kapitel 3.23). Von einer guten Reiz-Reaktions-Kompatibilität einer Form wurde ausgegangen, wenn alle drei Bewertungen (Bedienhandlung, Eignungen und Anordnung auf Visuell-Analog-Skala) entweder der Bedienhandlung Drehen oder der Bedienhandlung Schieben zugeordnet wurden.

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 15 Mitarbeiter und Studenten der DaimlerChrysler AG freiwillig während der Arbeitszeit teil (Tabelle 5.6).

Tabelle 5.6: Stichprobe zur Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen

Probanden	Männer	Frauen	Mittleres Alter	Jüngste Vp	Älteste Vp
15	11	4	31 Jahre	23 Jahre	52 Jahre

Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden insgesamt 14 Formen aus Kunststoff hergestellt, die entsprechend der oben genannten Kriterien gestaltet wurden (Abbildung 5.7, Tabelle 5.7 und Anhang B).

Der Versuch wurde in einer Sitzkiste (1) durchgeführt (Abbildung 5.8), in der die Formen und die Handauflage mit Hilfe von Magneten an der typischen Position eines zentralen Bedienelements auf einer Metallplatte fixiert werden konnten. Durch die Magnete wurden die Formen für die taktile Bewertung einerseits fixiert, andererseits war es für die haptischen Bewertungen dennoch möglich, sie in alle Richtungen zu bewegen. Zwischen Fahrersitz und Greifraum war ein Vorhang (2), um für die taktile und haptische Bewertung die Sicht auf die Formen (3) zu verdecken.

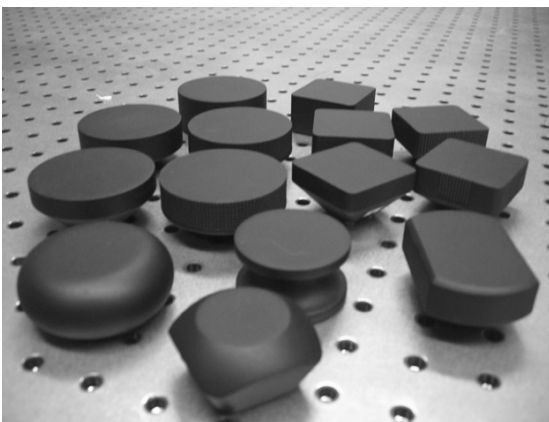


Abbildung 5.7: Kunststoffmodelle der Formen für die Untersuchung der haptischen Reiz-Reaktions-Kompatibilität

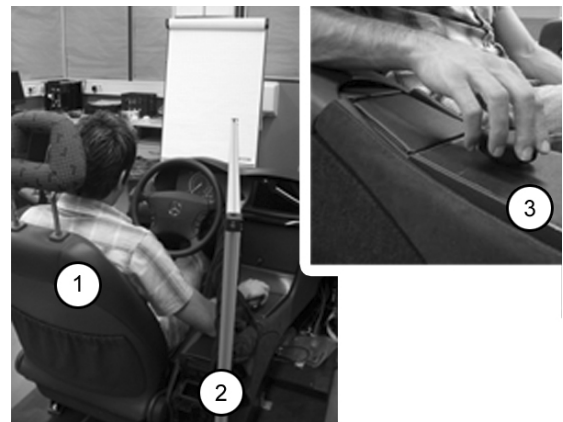


Abbildung 5.8: Sitzkiste (1) zur Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität mit Vorhang (2) und Formen (3)

Tabelle 5.7: Formen für die Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen

BE 1	BE 2	BE 3	BE 4	BE 5	BE 6	BE 7
BE 8	BE 9	BE 10	BE 11	BE 12	BE 13	BE 14

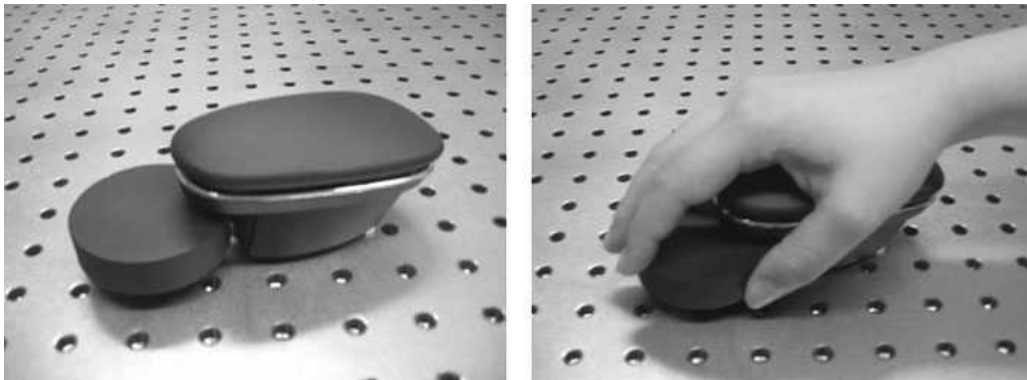


Abbildung 5.9: Handauflage zur Untersuchung des Einflusses der Greifart auf die Bewertungen

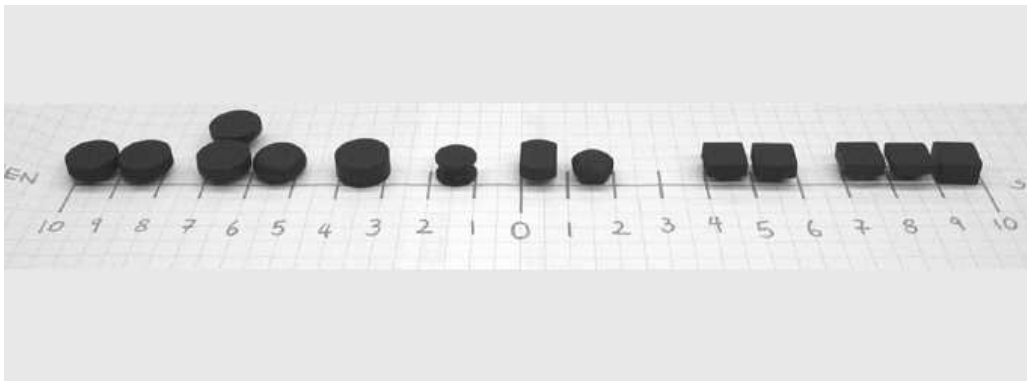


Abbildung 5.10: Visuell-Analog-Skala zur Bewertung der Eignung der Formen für Drehen (li.) und Schieben (re.)

Versuchsablauf und -auswertung

Nach Ausfüllen eines demographischen Fragebogens, wurde den Probanden an einer Form, die nicht Teil der eigentlichen Untersuchung war, der Versuchsablauf erklärt (Abbildung 5.11). Jeder Proband beurteilte dann alle 14 Formen in randomisierter Reihenfolge zunächst taktil, dann haptisch und abschließend haptisch-visuell. Dieser Ablauf wiederholte sich zweimal - einmal mit und einmal ohne Handauflage. Die Bewertungen der Probanden wurden vom Versuchsleiter in einen Fragebogen eingetragen (Anhang B). Abschließend erfolgte die Anordnung der Formen auf der visuell-analog Skala. Die Datenauswertung erfolgte mit 3- und 2-faktoriellen Varianzanalysen und anschließenden paarweisen Vergleichen.

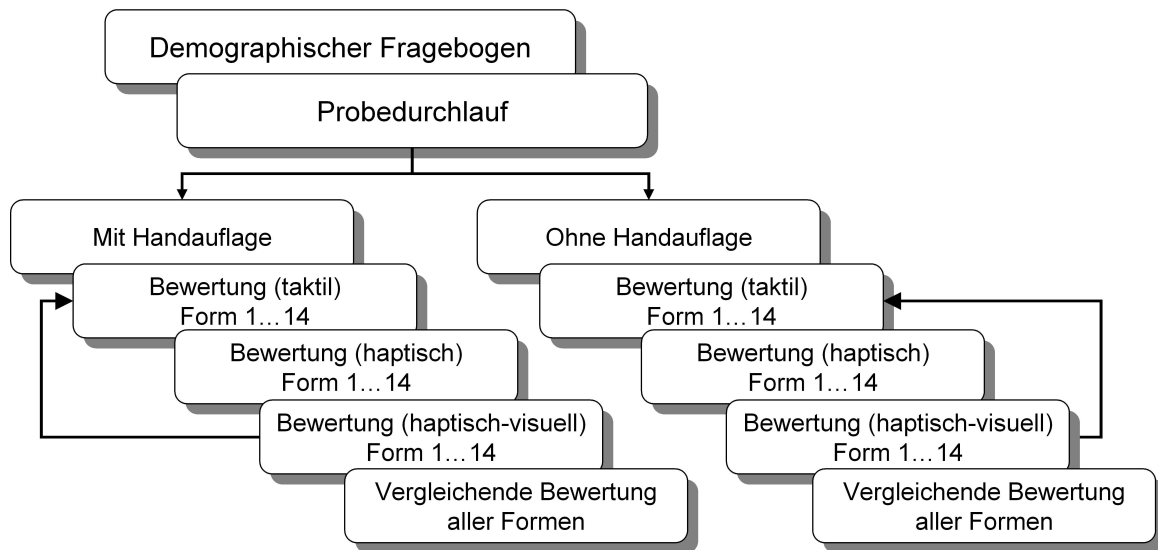


Abbildung 5.11: Versuchsablauf bei der Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität von Bedienelementformen

5.8.3 Ergebnisse

Handauflage, Modus und Form

Die 3-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Handauflage, Modus und Form ergab, dass sich die Formen nach Tabelle 5.7 bzgl. der bevorzugten Bedienhandlung signifikant voneinander unterscheiden. Anschließende paarweise Vergleiche zeigten, dass die Formen BE 1,2,3,4,5,11 und 14 gedreht und die Formen BE 6,7,8,9,10,12 und 13 bevorzugt geschoben wurden (Abbildung 5.12 und Tabelle B.1). In Bezug auf die Eignung für Drehen unterschieden sich die Formen ebenfalls signifikant (Tabelle B.2). Das Ergebnis der paarweisen Vergleiche zeigte, dass sich die Formen BE 1,2,3,4,5 und 11 sich gut bis sehr gut zum Drehen eignen. Form BE 14 ist tendenziell weniger gut zum Drehen geeignet. (Abbildung 5.13).

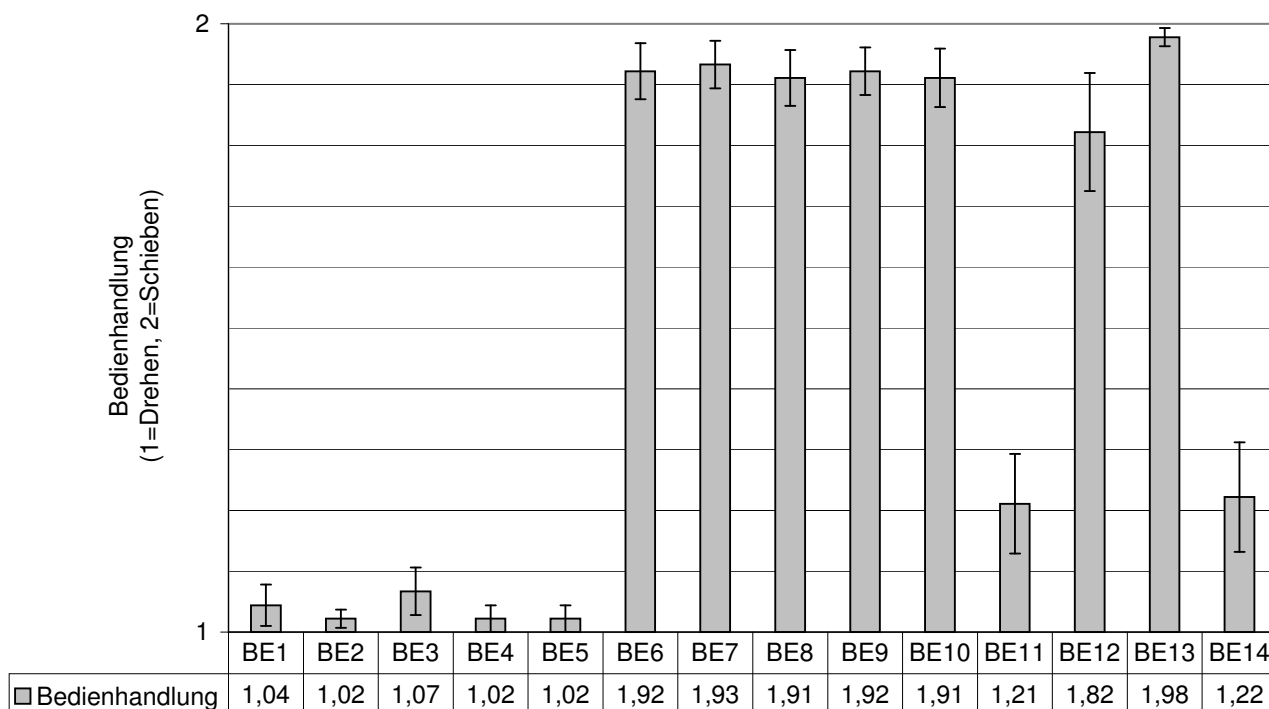


Abbildung 5.12: Bevorzugte Bedienhandlung für die Formen nach Tabelle 5.7 (Mittelwerte und Standardfehler)

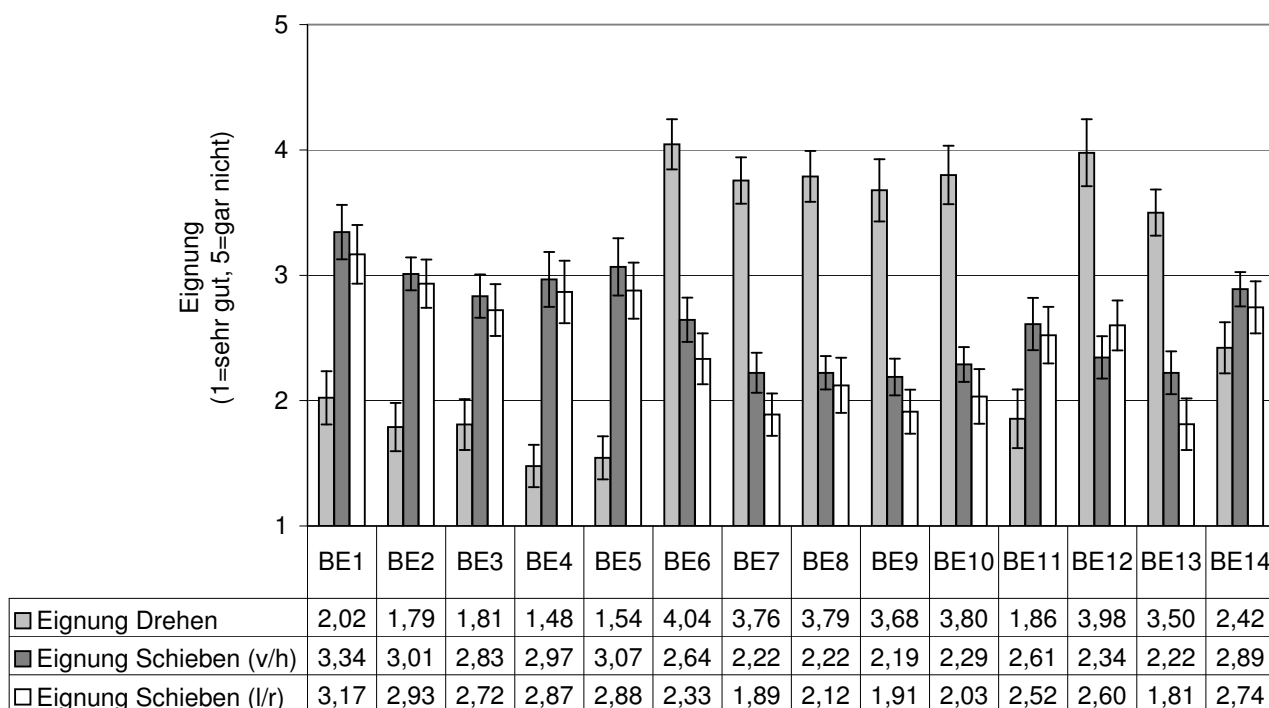


Abbildung 5.13: Eignung der Formen nach Tabelle 5.7 für Drehen und Schieben (Mittelwerte und Standardfehler)

Hinsichtlich der Eignung für Schieben nach vorne und hinten hat die Form und die Handauflage einen signifikanten Einfluss. Mit Handauflage eignen sich die Formen nicht so gut zum Schieben nach vorne und hinten wie ohne Handauflage (Abbildung 5.14 und Tabelle B.3). Der Wahrnehmungsmodus spielte dabei keine Rolle. Die Formen BE 6,7,8,9,10,12, und 13 eignen sich gut zum Schieben nach vorne und hinten (Abbildung 5.13).

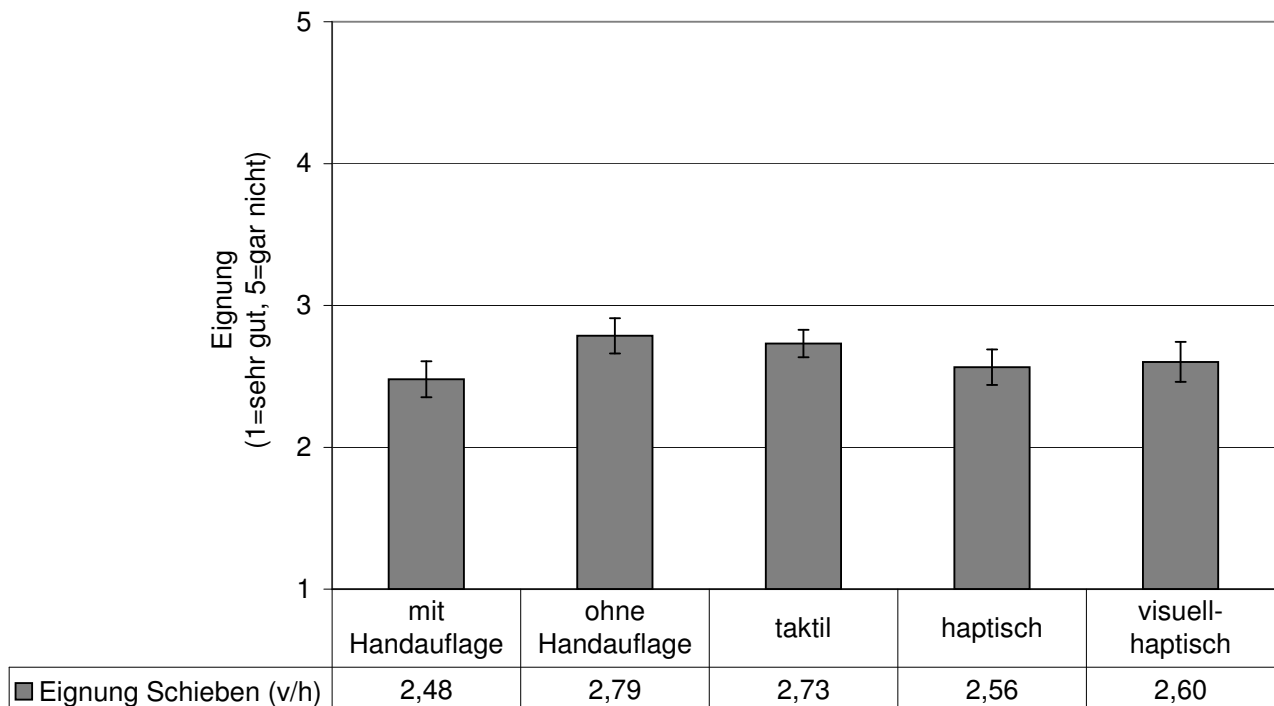


Abbildung 5.14: Eignung für Schieben (vorne/hinten) in Abhängigkeit von Handauflage und Wahrnehmungsmodus (Mittelwerte und Standardfehler)

Hinsichtlich der Eignung für Schieben nach links und rechts unterschieden sich die Formen erneut signifikant voneinander. Die Formen BE 7,8,9,10,12, und 13 eigneten sich gut zum Schieben nach links und rechts (Abbildung 5.13 und Tabelle B.4).

Globale Form und Fase

2-faktorielle Varianzanalysen hinsichtlich der globalen Form und der Fase ergaben, dass bei runden Formen Drehen und bei quaderförmigen Formen Schieben die bevorzugte Bedienung war (Abbildung 5.15 und Tabelle B.5). Die Fase hatte lediglich einen tendenziellen Einfluss auf die Bedienung. In Bezug darauf, wie gut sich eine Form für die Bedienung Drehen eignet, haben sowohl globale Form als auch die Fase einen signifikanten Einfluss. Runde Formen ($M=1,87$; $SE=0,19$) eignen sich gut zum Drehen, quaderförmige ($M=3,86$; $SE=0,19$) dagegen nicht so gut. Formen mit kleiner ($M=2,772$; $SE=0,173$) und großer Fase ($M=2,80$; $SE=0,18$) eignen sich tendenziell besser zum Drehen als Formen ohne Fase ($M=3,03$; $SE=0,17$) (Abbildung 5.16).

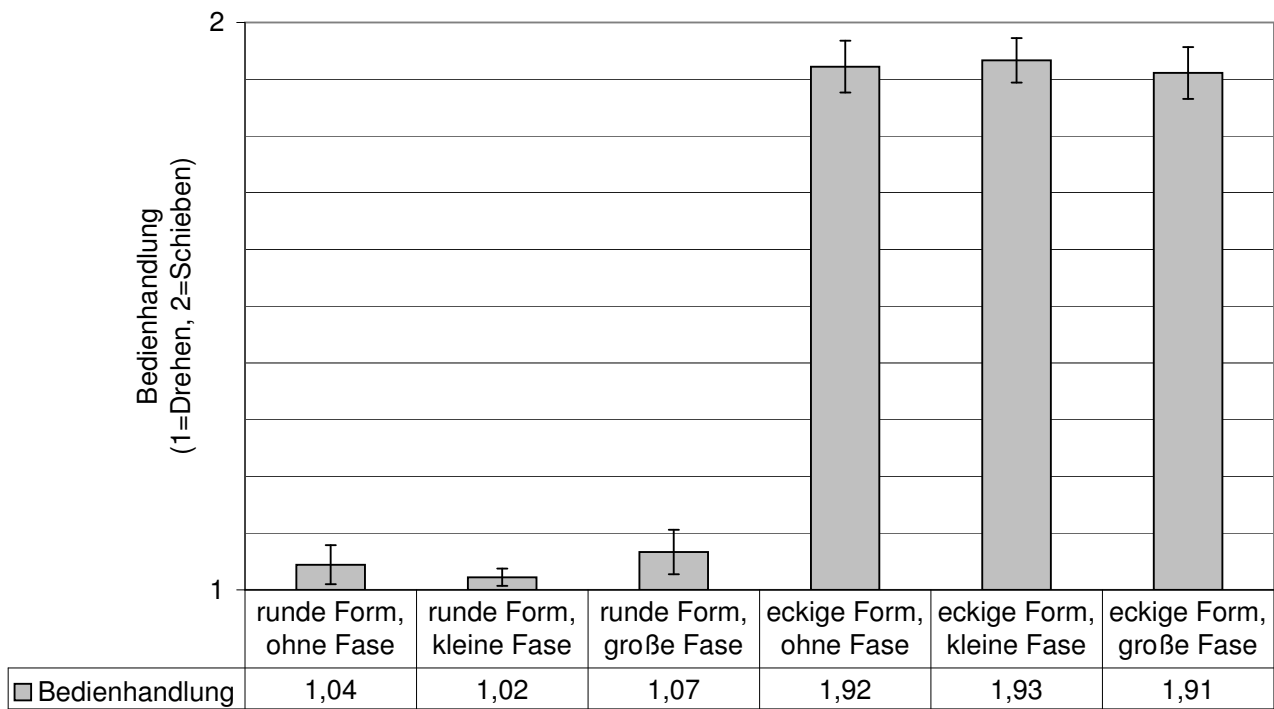


Abbildung 5.15: Bevorzugte Bedienhandlung in Abhängigkeit von globaler Form und Fase (Mittelwerte und Standardfehler)

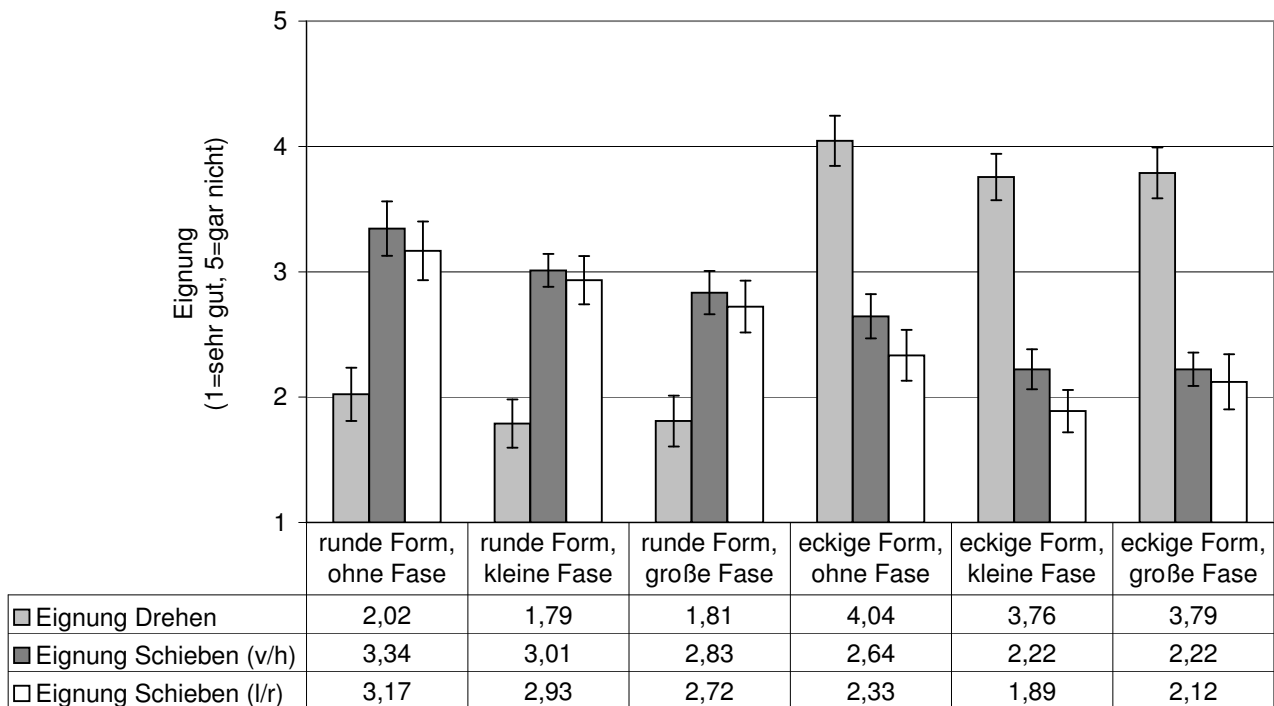


Abbildung 5.16: Eignung der Formen in Abhängigkeit von globaler Form und Fase (Mittelwerte und Standardfehler)

Hinsichtlich der Eignung für Schieben nach vorne und hinten hat die globale Form einen signifikanten Einfluss. Quaderförmige Formen ($M=2,36$; $SE=0,112$) eigneten sich besser zum Schieben nach vorne und hinten als runde Formen ($M=3,06$; $SE=0,15$). Auch die Ausprägung der Fase hatte einen signifikanten Einfluss. Durch eine kleine Fase ($M=2,62$; $SE=0,11$) konnte die Eignung für Schieben nach vorne und hinten gegenüber Formen ohne Fase ($M=2,99$; $SE=0,17$) verbessert werden. Eine große Fase ($M=2,53$; $SE=0,13$) führte tendenziell auch zu einer Verbesserung gegenüber Formen ohne Fase. Zwischen Formen mit kleiner und großer Fase gab es keine Unterschiede (Abbildung 5.16).

Bezüglich der Eignung für Schieben nach links und rechts ist die globale Form eine signifikante Einflussgröße. Quaderförmige Formen eignen sich gut ($M=2,12$; $SE=0,17$) zum Schieben nach links und rechts, runde Formen ($M=2,96$; $SE=0,19$) eignen sich dafür nicht so gut. Die Fase hat wieder einen signifikanten Einfluss. Gegenüber den Formen ohne Fase ($M=2,75$; $SE=0,19$) eignen sich die Formen mit kleiner ($M=2,41$ $SE=0,16$) und großer Fase ($M=2,42$ $SE=0,19$) besser zum Schieben nach links und rechts. Zwischen kleiner und großer Fase gab es erneut keine Unterschiede (Abbildung 5.16).

Globale Form und Rändel

Die Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen mit den Faktoren globale Form und Rändel sind in Tabelle B.6 dargestellt. Wie in Abbildung 5.17 zu erkennen, gibt es signifikante Unterschiede zwischen den globalen Formen, aber keine Unterschiede zwischen den Ausprägungen der unterschiedlichen Rändel. Es bestätigt sich erneut, dass runde Formen gedreht, quaderförmige geschoben werden.

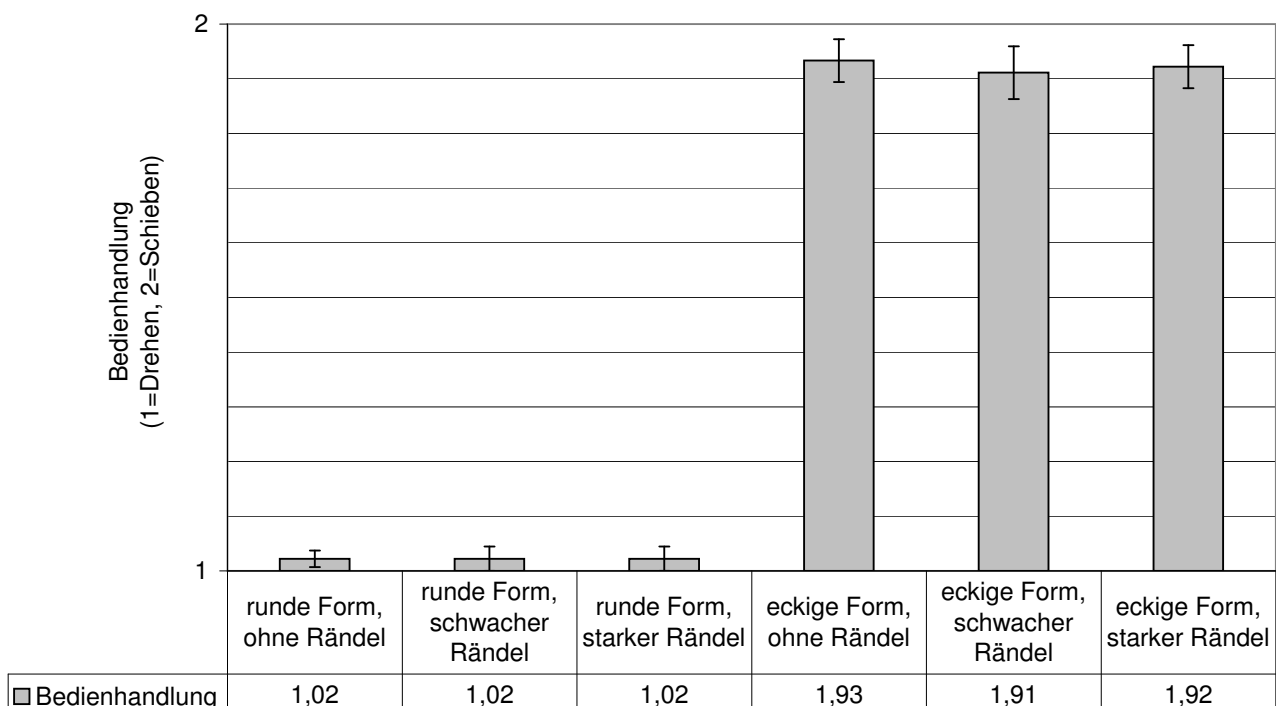


Abbildung 5.17: Bevorzugte Bedienhandlung in Abhängigkeit von globaler Form und Rändel (Mittelwerte und Standardfehler)

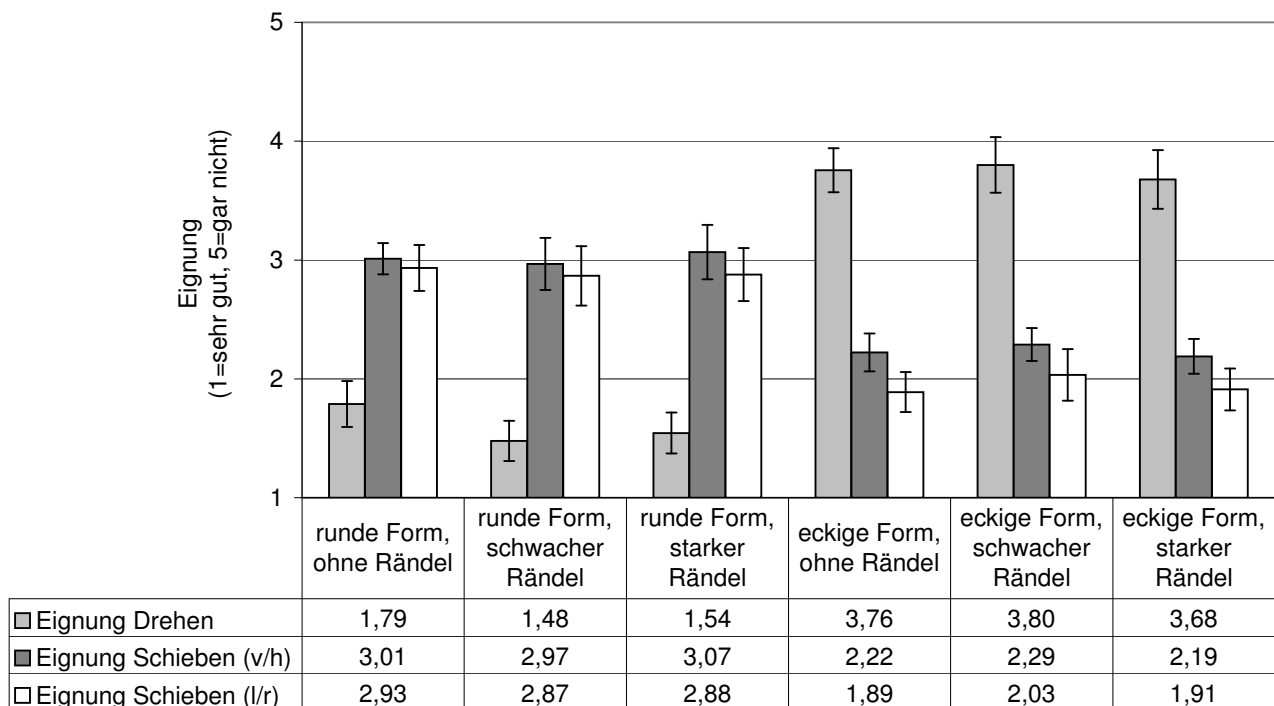


Abbildung 5.18: Eignungen der Formen in Abhängigkeit von globaler Form und Rändel (Mittelwerte und Standardfehler)

Auch bzgl. der Eignung für die Drehen, Schieben vorne/hinten und Schieben links/rechts hat nur die globale Form einen signifikanten Einfluss (Abbildungen 5.18). Ob sich ein Form gut oder schlecht zum Drehen oder Schieben eignet, wird nicht von der Art des Rändel beeinflusst.

Abschließende Bewertung

Die Ergebnisse aus der Visuell-Analog-Skala zeigten ebenfalls, dass die meisten Formen von den Probanden anhand ihrer globalen Form als Dreh- oder als Schiebeformen eingeordnet wurden, die Formen BE 11, 13 und 14 wurden jedoch zwischen Drehen und Schieben eingestuft (Abbildung 5.19). Insbesondere die Form BE 14 unterscheidet sich von allen Formen bis auf Form 11 signifikant.

5.8.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass die untersuchten Formen zu unterschiedlichen Bedienhandlungen führen, also unterschiedliche Reiz-Reaktions-Kompatibilitäten besitzen. Das bestätigt die Hypothese 1. Die Faktoren Wahrnehmungsmodus und Handauflage (Wahl der Greifart) wirkten sich nicht auf die Reiz-Reaktions-Kompatibilität der Formen aus. Die Hypothesen 2 und 3 konnten somit nicht bestätigt werden.

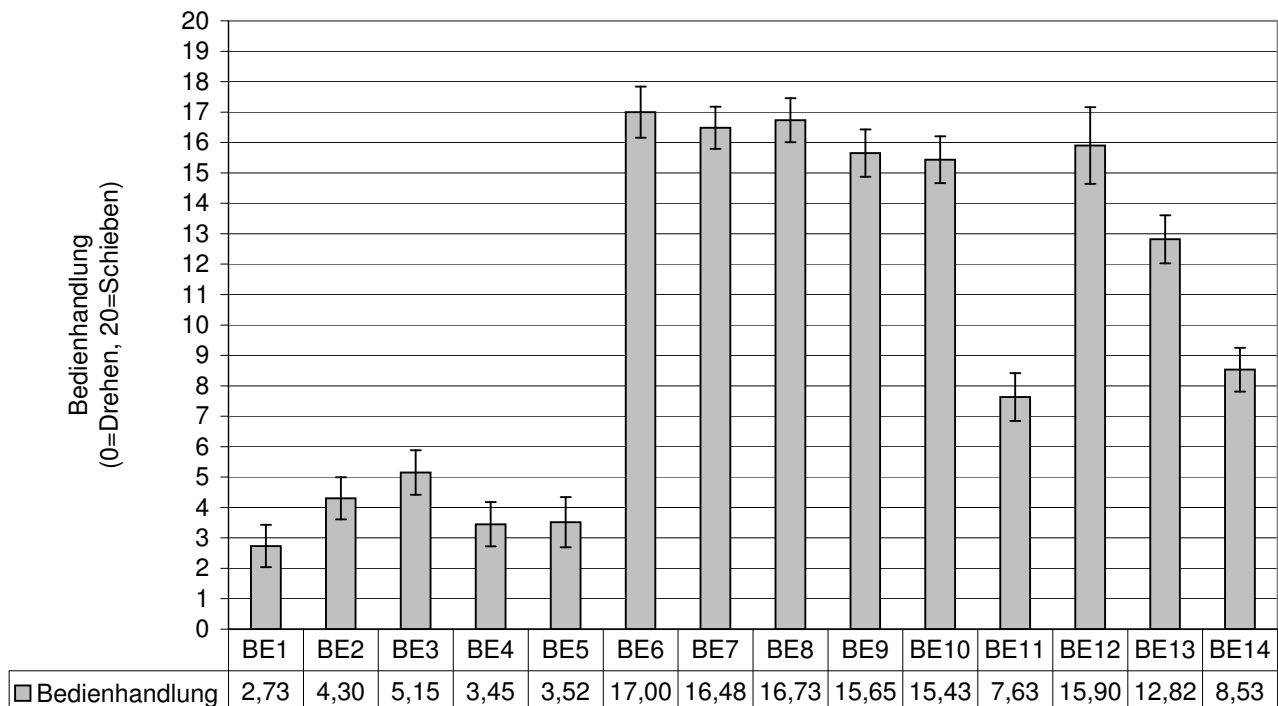


Abbildung 5.19: Einordnung der Formen nach Tabelle 5.7 zwischen Drehen und Schieben (Mittelwerte und Standardfehler)

Die Frage, ob die globale Form oder die lokalen Merkmale Fase und Rändel zur haptischen Reiz-Reaktions-Kompatibilität beitragen, kann damit beantwortet werden, dass es vor allem die globale Form ist. Runde Formen werden gedreht, quaderförmige Formen werden geschoben. Dieses Ergebnis bestätigt Hypothese 4.

Bei der Fase zeigten sich zwar keine Unterschiede bzgl. der bevorzugten Bedienhandlung, aber hinsichtlich der Eignung für Drehen und Schieben. Eine kleine Fase konnte sowohl die Eignung für Drehen als auch für Schieben erhöhen. Eine zu große Fase erhöht die Reiz-Reaktions-Kompatibilität zu Schieben. Dies kann dazu führen, dass bei zu großer Fase auch eine runde Form geschoben wird. Hypothese 5 konnte also nicht für die bevorzugte Bedienhandlung, aber für die Eignung der Formen für Drehen und Schieben bestätigt werden.

Ein Rändel beeinflusst die Reiz-Reaktions-Kompatibilität nicht, was zur Ablehnung von Hypothese 6 führt. Weder bei der Bedienhandlung noch bei der Eignung für Drehen und Schieben und auch nicht in der abschließenden Bewertung konnten signifikante Effekte für den Rändel nachgewiesen werden.

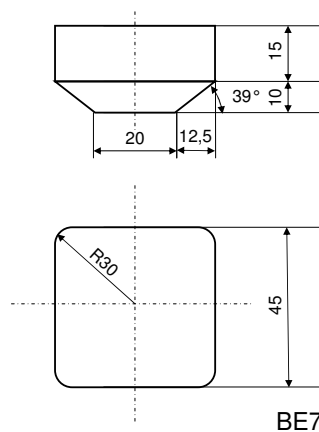
In Bezug auf die untersuchten Formen bedeuten die Ergebnisse konkret, dass die Formen BE 1,2,3,4 und 5 zur Bedienhandlung Drehen und die Formen BE 6,7,8,9,10 und 12 zur Bedienhandlung Schieben kompatibel sind. Die Formen BE 11, 13 und 14 verfügen insbesondere unter Berücksichtigung der abschließenden Bewertung über eine eher schwache Reiz-Reaktions-Kompatibilität. Insbesondere die Form BE 14 ist über alle Bewertungen die Form mit der schwächsten Reiz-Reaktions-Kompatibilität.

Aufgrund dieser Ergebnisse können folgende Empfehlungen für die Gestaltung zentraler Bedienelemente formuliert werden:

- Wenn das Bedienelement gedreht werden soll, runde Formen verwenden.
- Wenn das Bedienelement geschoben werden soll, quaderförmige Formen verwenden.
- Ein Fase an der Unterseite unterstützt sowohl Drehen als auch Schieben, allerdings kann eine zu große Fase dazu führen, dass eher geschoben wird und sollte deshalb für Bedienelemente zum Drehen vermieden werden.
- Ein Rändel kann wahlweise eingesetzt werden, wenn er z.B. aus Gründen des Designs oder der Drainage gefordert ist. Er beeinflusst die Kompatibilität zu Drehen oder Schieben nicht.
- Für zukünftige Untersuchungen wird außerdem empfohlen nur eine haptisch-visuelle Bewertung vorzunehmen. Das reduziert den Untersuchungsaufwand bei gleichen Ergebnissen und entspricht außerdem der realistischen Situation in einem Fahrzeug, in dem das zentrale Bedienelement für den Fahrer auch sichtbar wäre.

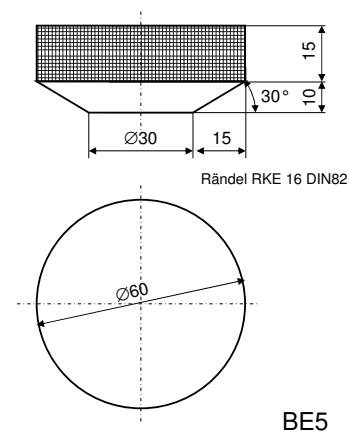
5.9 Auswahl der Bedienelementformen für "Drehen" und "Schieben"

Für die Bedienaufgabe "Schieben" wurde aufgrund dieser Empfehlungen eine quaderförmige Form mit kleiner Fase (Abbildung 5.20) ausgewählt. Für die Bedienaufgabe "Drehen" wurde eine runde Form ebenfalls mit kleiner Fase ausgewählt. Um die Unterscheidbarkeit der Formen für "Drehen" und "Schieben" zu erhöhen, wurde außerdem für "Drehen" eine gerändelte Form gewählt (Abbildung 5.21). Nachdem die Formen der Bedienelemente für die Aufgaben "Drehen" und "Schieben" festgelegt werden konnten, wird in den nächsten Abschnitten die Realisierung des variablen zentralen Bedienelementes beschrieben.



BE7

Abbildung 5.20: Ausgewählte Form für die Bedienaufgabe "Schieben"



BE5

Abbildung 5.21: Ausgewählte Form für die Bedienaufgabe "Drehen"

5.10 Realisierung des variablen zentralen Bedienelements

Entsprechend des in Abschnitt 5.4 vorgestellten Technologiekonzepts besteht das Bedienelement aus einem Kunststoffgehäuse, dessen Grundform der Form für Schieben entspricht. Aus dem Gehäuse werden durch eine Aktorik gerändelte Lamellen ausgefahren. Die Lamellen bilden zusammen mit dem Gehäuse eine runde Form, die der Form für Drehen entspricht (Abbildung 5.22). Die Bewegung der Lamellen erfolgt über einen Schrittmotor im Bedienelement, der die Lamellen bei einer Drehung um 45° aus dem Gehäuse heraus schiebt. Bei einer Drehung um weitere 45° werden die Lamellen über eine Feder wieder ins Gehäuse zurückgezogen. (Abbildung 5.23).

Während der späteren Bedienung eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems wird je nach aktueller Aufgabe zwischen den Formen für "Drehen" und "Schieben" gewechselt werden. Weil beim kontinuierlichen "Drehen" das Bedienelement in eine beliebige Stellung gedreht werden kann, kann es vorkommen, dass die Dreh-Form nicht in den Hauptrichtungen ausgerichtet ist. Wenn dann die Lamellen eingezogen werden, steht die Form zum "Schieben" verdreht. Dies könnte die Kompatibilität des Bedienelements negativ beeinflussen. Deshalb wird das Bedienelement mit einer zweiten Aktorik so ausgerichtet, dass die Seitenflächen der Schiebe-Form immer senkrecht zu den Bedienrichtungen für Schieben stehen. (Abbildung 5.24).

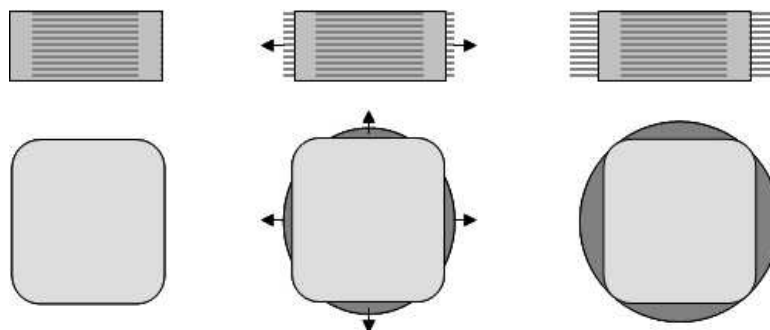


Abbildung 5.22: Grundformen des variablen zentralen Bedienelements: (li.) quaderförmig, eingefahrene Lamellen, (re.) rund, ausgefahrene Lamellen

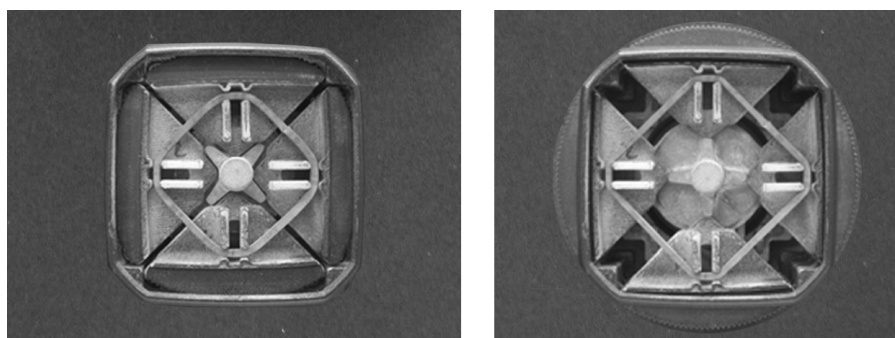


Abbildung 5.23: Mechanische Steuerung der Lamellen über Steuerkreuz und Schrittmotor: Eingefahrene Lamellen (li.) und ausgefahrene Lamellen (re.)

Dazu ist ein in vertikal beweglicher Querträger mit vier um 90° zueinander verdrehten Dreiecksprofilen versehen. Das Gehäuse des Bedienelements ist an seiner Innenseite mit dem gleichen Profil versehen. Beim Zustandswechsel von Drehen nach Schieben wird durch einen Servomotor der Querträger nach oben geschoben. Dabei greifen die Profile des Querträgers und des Kunststoffgehäuses wie eine Verzahnung ineinander, so dass sich das Bedienelement in die Hauptrichtungen ausrichtet. Das Bedienelement ist auf einem Kardangelenk drehbar und schwenkbar gelagert. Die Bewegungen werden auf einen Joystick-Encoder vom Typ Grayhill 60A18-4 übertragen, dessen Signale über eine entsprechende Messkarte ausgewertet werden.

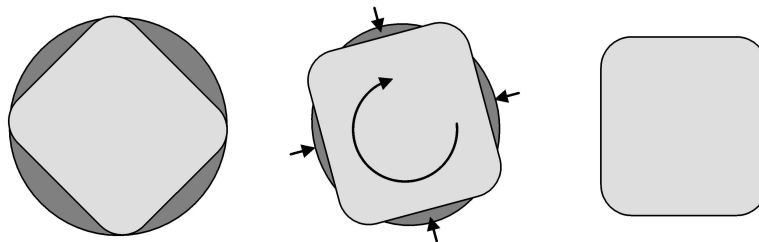


Abbildung 5.24: Ausrichtung des variablen zentralen Bedienelements: Bei verdrehter Stellung des Drehstellers (li.) werden die Lamellen eingefahren und das Bedienelement gleichzeitig gedreht (m.), damit es zum Schieben horizontal und vertikal ausgerichtet ist (re.).

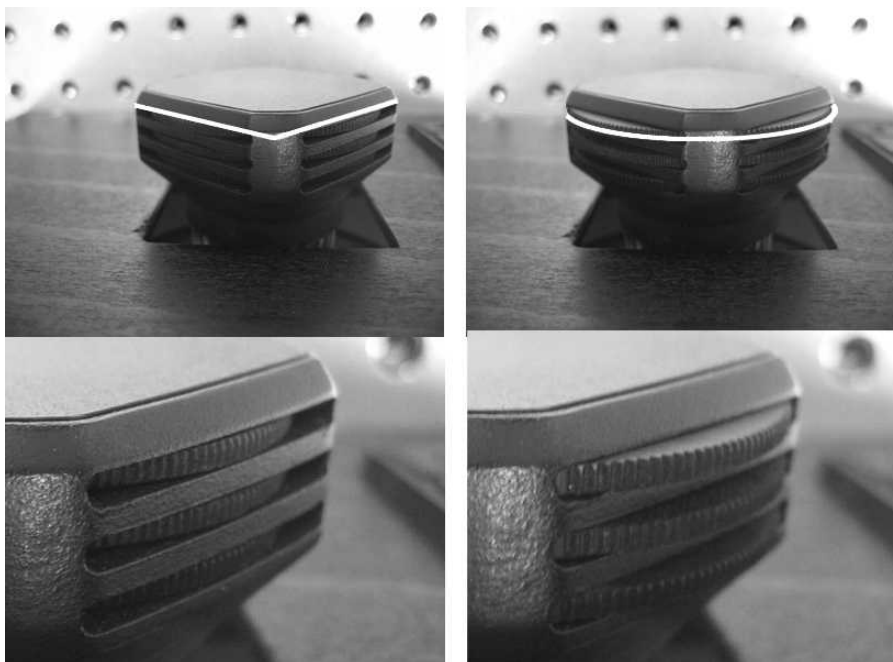


Abbildung 5.25: Das variable zentrale Bedienelement für "Schieben" (li.) und "Drehen" (re.)

Es ist nun zu klären, ob sich die erwarteten Vorteile des variablen zentralen Bedienelements (vgl. Abbildung 5.25) hinsichtlich Bedienbarkeit und Ablenkung in einem abgesetzten Bedien- und Anzeigesystem nachweisen lassen.

6 Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Das variable zentrale Bedienelement wurde entwickelt, um eine optimale haptische Reiz-Reaktions-Kompatibilität, kurz haptische Kompatibilität, für die Bedienhandlungen Drehen und Schieben zu erreichen. Gegenstand der abschließenden Untersuchung ist daher zunächst die Bewertung der haptischen Kompatibilität des variablen zentralen Bedienelements. Darüber hinaus wird die Bedienbarkeit und die Ablenkung von der Fahraufgabe eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems mit dem variablen zentralen Bedienelement bewertet. Außerdem soll der Frage nachgegangen werden, wie gut das variable zentrale Bedienelement Benutzern subjektiv gefällt und ob die aktive Anpassung der Form als hilfreich oder störend empfunden wird.

Bezogen auf die Gestaltungsparameter von Bedienelementen aus Abschnitt 2.11 werden durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements die Parameter (Form-) Codierung und Kompatibilität variiert (Abbildung 6.1).

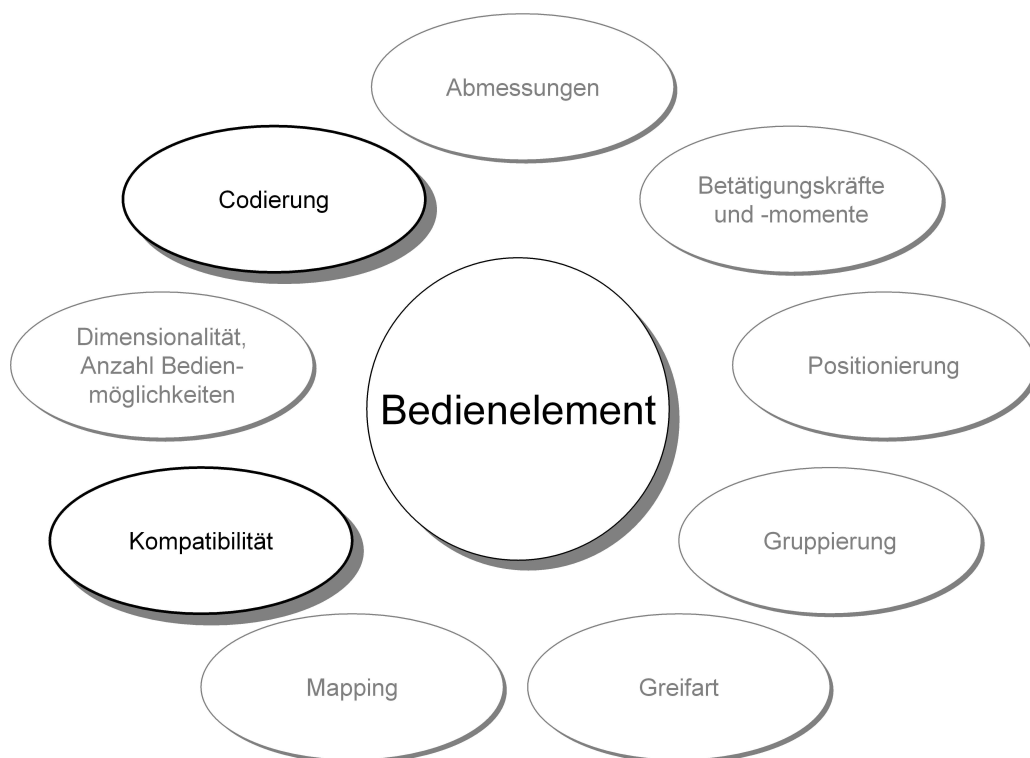


Abbildung 6.1: Bei der Bewertung des variablen zentralen Bedienelements untersuchte Gestaltungsparameter

6.1 Hypothesen

Aufgrund der guten haptischen Kompatibilität des variablen zentralen Bedienelements wird angenommen, dass damit häufiger die vorgesehene Bedienhandlung ausgeführt wird, als mit einem statischen zentralen Bedienelement, dessen Form keine eindeutige haptische Kompatibilität zu den Bedienhandlungen aufweist (H1).

Im Kontext eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems ist zu bedenken, dass auch die Gestaltung der Anzeige, d.h. das Screendesign, mehr oder weniger gut visuell kompatibel zu den Bedienhandlungen Drehen und Schieben sein kann (sog. visuelle Reiz-Reaktions-Kompatibilität). Eine weitere Frage ist daher, wie sich die haptische Kompatibilität des Bedienelements und die visuelle Kompatibilität des Screendesigns auf die Bedienhandlungen auswirken. Es wird angenommen, dass bei geringer visueller Kompatibilität des Screendesigns die vorgesehene Bedienhandlung erkannt und ausgeführt wird, wenn das Bedienelement dazu haptisch kompatibel ist (H2). Da der Mensch sich in seiner Umwelt überwiegend visuell orientiert, wird jedoch erwartet, dass bei guter visueller Kompatibilität des Screendesigns die haptische Kompatibilität des Bedienelements eine untergeordnete Rolle spielt (H3).

Wenn die haptische Kompatibilität des variablen zentralen Bedienelements die Auswahl einer bestimmten Bedienhandlung unterstützt, kann der Fahrer der Fahraufgabe mehr Aufmerksamkeit schenken. Es wird daher angenommen, dass mit dem variablen zentralen Bedienelement die Ablenkung geringer ist als mit einem statischen zentralen Bedienelement ohne aktive Formveränderung (H4).

6.2 Material und Methode

6.2.1 Versuchsdesign

Zur Überprüfung dieser Hypothesen wurde der Versuch zweigeteilt. Das Versuchsdesign des ersten Teils diente zur Bewertung der haptischen Kompatibilität des variablen zentralen Bedienelements und ihrer Wechselwirkung mit der visuellen Kompatibilität des Screendesigns (Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Versuchsdesign zur Bewertung der haptischen und visuellen Kompatibilität

Faktor	Faktorstufen			
	variabel		statisch	
Bedienelement (haptisch)				
Screendesign (visuell)	eindeutig	uneindeutig	eindeutig	uneindeutig
Screenotyp	1 ... n	1 ... n	1 ... n	1 ... n

Der Faktor Bedienelement war zweifach gestuft. Aufgrund der gewählten Vorgehensweise bei der Entwicklung des variablen zentralen Bedienelements sollte dieses über eine gute haptische Kompatibilität verfügen, und ein statisches dagegen nur wenig haptisch kompatibel sein.

Der Faktor Screendesign war ebenfalls zweifach gestuft. Die eindeutige Variante sollte eine gute visuelle Kompatibilität, die uneindeutige Variante eine geringe visuelle Kompatibilität haben.

Als dritter Faktor wurde der Screentyp gewählt. Ein Screentyp ist die Darstellung einer repräsentativen Bedienaufgabe. Jedem Screentyp kann entweder die Bedienhandlung Drehen oder Schieben zugeordnet werden (Abbildung 6.2).

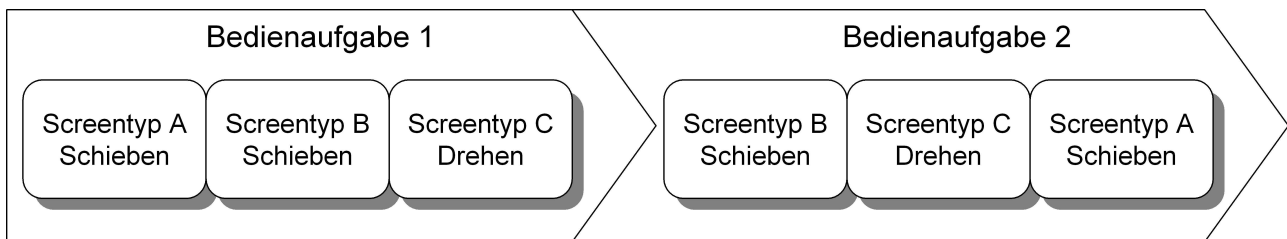


Abbildung 6.2: Abgrenzung der Faktoren Screentyp und Bedienaufgabe

Als abhängige Variable sollte die Reiz-Reaktions-Kompatibilität gemessen werden. Dazu wurden alle am Bedienelement ausgeführten Bedienhandlung erfasst und die Häufigkeit von Drehen und Schieben für jeden Screentyp bestimmt. Ähnlich wie in den Untersuchungen von Spanner (1993) und Vogel (2001) wurden Handlungen, die nicht der vorgesehenen Handlung entsprachen, als Kompatibilitätsfehler bezeichnet. Je weniger Kompatibilitätsfehler in einer Versuchsbedingung gemacht wurden, desto besser war deren Reiz-Reaktions-Kompatibilität. Zur besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Screentypen war es zweckmäßig einen prozentualen Kompatibilitätsfehler wie folgt zu definieren:

$$\text{Kompatibilitätsfehler [\%]} = \frac{\sum \text{falsche Bedienhandlungen}}{\sum \text{ausgeführte Bedienhandlungen}} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

Das zweite Versuchsdesign diente der Bewertung von Bedienbarkeit, Ablenkung und des subjektiven Gefallens sowie der Bewertung der aktiven Formveränderung. Im Unterschied zum ersten Versuchsdesign war der dritte Faktor die Bedienaufgabe. Eine Bedienaufgabe setzt sich aus einer logischen Abfolge verschiedener Screentypen zusammen (Abbildung 6.2).

Als abhängige Variablen dienten die durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe und die relative Fehlerhäufigkeit. Zur Ablenkungsmessung kam der Lane-Change-Test zum Einsatz (vgl. Abschnitt 3). Das subjektive Gefallen wurde wieder anhand einer visuell-analog Skala bewertet. Anhand einer 5-stufigen, bipolaren Skala wurde außerdem bewertet, wie hilfreich oder störend die aktive Anpassung der Form empfunden wurde.

Tabelle 6.2: Versuchsdesign zur Bewertung der Ablenkung und Bedienbarkeit

Faktor	Faktorstufen			
	statisch		variabel	
Bedienelement (haptisch)	statisch		variabel	
Screendesign (visuell)	eindeutig	uneindeutig	eindeutig	uneindeutig
Bedienaufgabe	1 ... n	1 ... n	1 ... n	1 ... n

Aufgrund des Versuchsdesigns ergaben sich vier Versuchsbedingungen (Tabelle 6.3), die zur optimalen Absicherung der Ergebnisse von jedem Probanden in randomisierter Reihenfolge bearbeitet wurden.

Tabelle 6.3: Versuchsbedingungen bei der Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

	Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign
Statisches zentrales Bedienelement	1	2
Variables zentrales Bedienelement	3	4

6.2.2 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 30 Mitarbeiter der DaimlerChrysler AG freiwillig während der Arbeitszeit teil (Tabelle 6.4). Bei der Auswahl der Versuchsteilnehmer wurde darauf geachtet, dass sie wenig bis keine Erfahrung mit abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen oder ähnlichen Systemen hatten. Zur Berücksichtigung des typischen Kundenverhaltens wurde auch darauf geachtet, dass der überwiegende Teil der Versuchsteilnehmer aktuell Mercedes-Benz-Fahrzeuge fahren.

Tabelle 6.4: Stichprobe für die Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

n	Männer	Frauen	mittleres Alter	Jüngste Vp	Älteste Vp	Mercedes-Benz Fahrer
30	18	12	37 Jahre	23 Jahre	49 Jahre	20 (=66%)

6.2.3 Versuchsaufbau

Um einen hohen Realitätsbezug herzustellen, wurde eine Sitzkiste (Abbildung 6.3) aus Originalteilen wie Instrumententafel, Lenkrad, Pedalerie, Mittelkonsole und einem 8"-Zentraldisplay sowie Fahrer und Beifahrersitz aufgebaut. Die Sitze waren elektrisch verstellbar, so dass sowohl für kleine als auch für große Probanden eine optimale Sitzposition einstellbar war.

Mit Hilfe einer Simulationssoftware wurden Funktionen und Bedienabläufe eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems auf dem Zentraldisplay (2) dargestellt. Das System wurde mit einem zentralen

Bedienelement (3) in der Mittelkonsole bedient. Als Fahrsimulation wurde der Lane-Change-Test verwendet, der auf eine Leinwand (1) vor der Sitzkiste projiziert und über Lenkrad und Pedalerie gesteuert wurde. Ein PC diente zur Simulation des Fahrerinformationssystems sowie zur Versuchssteuerung und Datenaufzeichnung. Ein zweiter PC war für den Lane-Change-Test notwendig. Über TCP/IP konnte dieser die Messdaten des Lane-Change-Tests an den Simulationsrechner übertragen, wo sie für die spätere Auswertung gespeichert wurden.

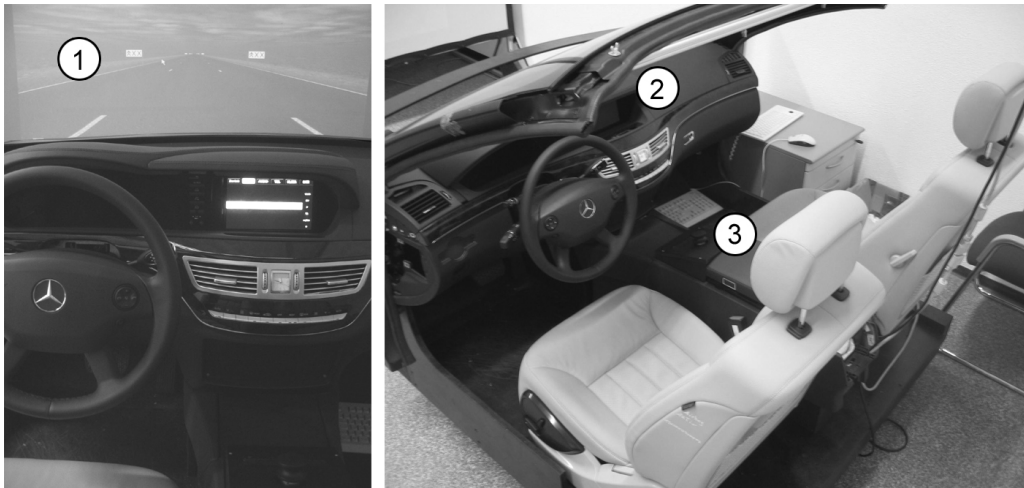


Abbildung 6.3: Sitzkiste zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements mit Lane-Change-Test (1), Display (2) und zentralem Bedienelement (3)

Bedienelemente

Zum Vergleich mit dem variablen zentralen Bedienelement wurde ein statisches Bedienelement entwickelt, das sich hinsichtlich seiner Form nicht verändern konnte. Die Entwicklung erfolgte wieder nach der in Abbildung 5.2 dargestellten Vorgehensweise.

Allerdings sollte trotz ungleicher Anforderungen diesmal ein Bedienelement bzw. eine Form gefunden werden, die sich sowohl für Drehen und Schieben eignet. Bei der Auswahl wurde auf die Ergebnisse der Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität aus Abschnitt 5.8 zurückgegriffen, weil in der DIN-EN894-3 (2000) keine geeigneten Bedienelemente gefunden wurden. Insbesondere die Formen BE 11 und 14 aus Tabelle 5.7 kamen in die engere Auswahl, weil sie sich weder klar zum Schieben noch klar zum Drehen eignen. Bei der Bewertung und Auswahl der endgültigen Form wurden die in Tabelle 6.5 dargestellten Kriterien berücksichtigt. Die gesuchte Form sollte bei der bevorzugten Bedienung zwischen Drehen (1) und Schieben (2) liegen (Sollwert 1,5). Bzgl. der Eignung für Drehen und Schieben (sehr gut=1, sehr schlecht=5) sowie der Anordnung auf der visuell-analog-Skala (0=Drehen, 20=Schieben) sollte die Form jeweils eine mittlere Bewertung bekommen haben (Sollwerte 2,5 bzw. 10). Die Form BE 14 erfüllte diese Kriterien am besten und wurde deshalb als Form für das statische Bedienelement festgelegt (vgl. auch Abbildungen 5.12, 5.13 und 5.19).

Tabelle 6.5: Kriterien zur Auswahl einer Form für das statische Bedienelement sowie Erfüllungsgrade ausgewählter Formen

Kriterium	Soll	Form BE 14	Form BE 11
Spontan ausgeführte Bedienhandlung sowohl Drehen und Schieben	1,5	1,22*	1,21
Mittlere Eignung für Drehen	2,5	2,42*	1,86
Mittlere Eignung für Schieben (vor/zurück)	2,5	2,89	2,61*
Mittlere Eignung für Schieben (links/rechts)	2,5	2,74	2,52*
Anordnung auf visuell-analog-Skala zwischen Drehen und Schieben	10	8,53*	7,63

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde das statische zentrale Bedienelement mit Ausnahme der Aktorik mechanisch gleich aufgebaut wie das variable zentrale Bedienelement. Dadurch waren Betätigungswege, -kräfte und -momente sowie Materialien beider Bedienelemente identisch (Abbildung 6.4). Die Tasten vor dem Bedienelement dienen zur Auswahl von Funktionen, auf die an späterer Stelle noch eingegangen wird.

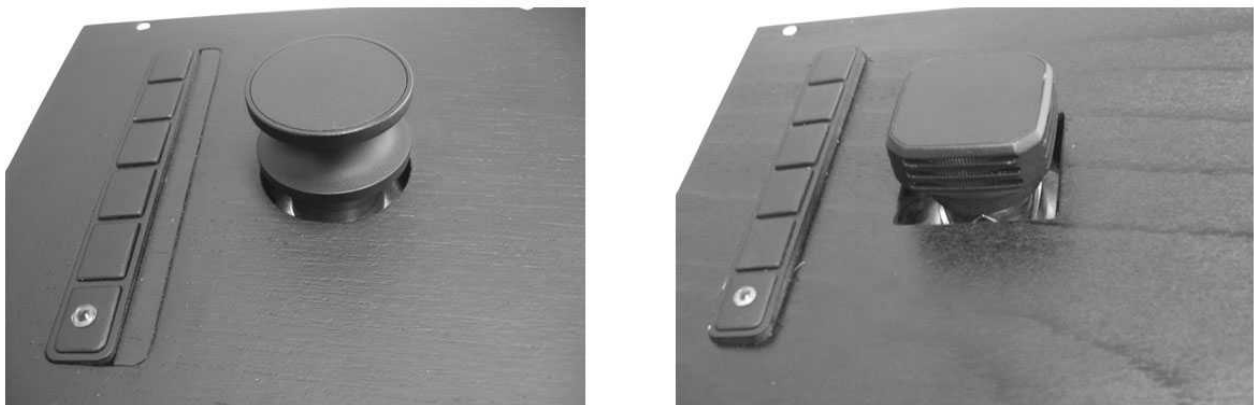


Abbildung 6.4: Statisches zentrales Bedienelement (li.) und variables zentrales Bedienelement (re.)

Screendesigns

Es mussten analog zu den Bedienelementen zwei Screendesigns entwickelt werden. Die uneindeutige Variante sollte eine geringe visuelle Kompatibilität, die eindeutige Variante eine gute visuelle Kompatibilität bzgl. der Bedienhandlungen aufweisen. Dazu wurden 180 verschiedene Screens entworfen, auf denen Elemente (Schaltflächen) in Anlehnung an die Gestaltgesetze (vgl. Abbildung 2.8) nach folgenden Faktoren gestaltet waren:

- Ausrichtung der Elemente
- Verbindungslinien zwischen den Elementen
- Repräsentativer Aufgabentyp

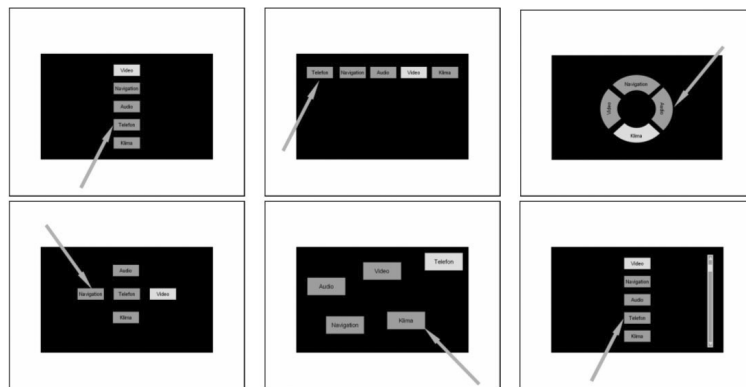


Abbildung 6.5: Faktor Ausrichtung (von oben links nach unten rechts): vertikal, horizontal, kreisförmig, symmetrisch, asymmetrisch, vertikal mit Scrollbalken

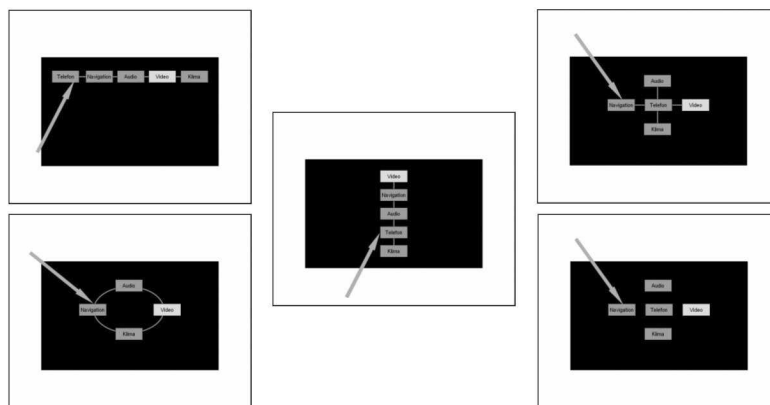


Abbildung 6.6: Faktor Verbindungslinien (von oben links nach unten rechts): horizontal, vertikal, horizontal und vertikal, kreisförmig, ohne

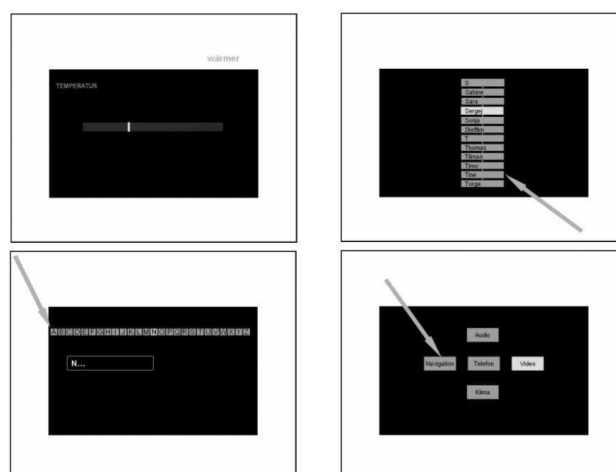


Abbildung 6.7: Faktor Repräsentativer Aufgabentyp (von oben links nach unten rechts): kontinuierliche Eingabe, Liste, Speller, Menüauswahl

Anschließend wurden die Screenentwürfe von 15 Probanden in einem Laborexperiment bzgl. ihrer Reiz-Reaktions-Kompatibilität für Drehen oder Schieben bewertet (Mackensen, 2006). Die Probanden wurden zu jedem Screen gefragt, ob sie aufgrund der Gestaltung an einem nicht näher beschriebenen Bedienelement schieben oder drehen würden.

Hinsichtlich der Ausrichtung wurde festgestellt, dass Probanden am Bedienelement drehen wollen, wenn die Screenelemente kreisförmig angeordnet sind. Wenn die Screenelemente achssymmetrisch angeordnet waren, wollten sie dagegen überwiegend schieben. Waren die Elemente der Screenelemente horizontal, vertikal oder asymmetrisch ausgerichtet, würden sie sowohl drehen als auch schieben. In Bezug auf die Verbindungslinien wurde festgestellt, dass die Probanden bei kreisförmig verbundenen Screenelementen ein Bedienelement drehen und bei horizontal und/oder vertikal miteinander verbundenen Screenelementen schieben wollen. Für kontinuierliche Einstellungen, Listen und Speller wird Drehen bevorzugt. Für Aufgaben, bei denen Einträge in Menüs ausgewählt werden sollten, wurden dagegen Schieben bevorzugt.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse war es möglich, sowohl Screentypen zu entwerfen, die visuell gut kompatibel zu Schieben oder Drehen waren, als auch Screentypen zu entwerfen, die visuell wenig kompatibel zu Drehen und Schieben waren. Die eindeutige Variante war so gestaltet, dass die Bedienhandlung Drehen anhand von kreisförmig-verbundener Elemente erkennbar war. Für Screens, bei denen Schieben erwünscht war, wurde die gute visuelle Kompatibilität durch symmetrische Anordnung der Elemente und kreuzförmigen Verbindungslinien sichergestellt.

In der zweiten Variante wurden entweder horizontale oder vertikale Listen verwendet, die sich nach den Ergebnissen des Vorversuchs sowohl zum Drehen als auch zum Schieben eignen.





In beiden Screendesigns waren am oberen Rand jedes Screens Schaltflächen dargestellt, mit denen die Funktionen Zurück, Navi, Audio, Telefon, Klima und Car (Fahrzeugeinstellungen) aufgerufen werden konnten. Um ein optimales Mapping zwischen Anzeige und Bedienelement zu erzielen, entsprachen die Funktionstasten an den zentralen Bedienelementen (Abbildung 6.4) in Anzahl und Größe den Schaltflächen auf den Screens. Die aktuell ausgewählte Funktion wurde durch ein Highlight angezeigt. Die Zurück-Taste verfügte zur besseren Unterscheidbarkeit von den anderen Tasten über eine punktförmige, taktil wahrnehmbare Markierung.

In folgender Tabelle 6.6 sind alle Screentypen mit den zugehörigen Bedienhandlungen sowohl als eindeutiges als auch als uneindeutiges Screendesign dargestellt.

Tabelle 6.6: Screentypen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Screenotyp	Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Bedien- handlung
4-Buttonmenü			Schieben
5-Buttonmenü			Schieben
Entscheidung			Schieben
Liste			Drehen
Buchstabenspeller			Drehen
Nummernspeller			Drehen

Tabelle 6.6: Screentypen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Screentyp	Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Bedien- handlung
Kontinuierliche Eingabe			Drehen
Cursor-positionierung			Schieben

6.2.4 Bedienaufgaben




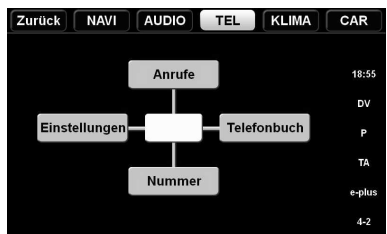
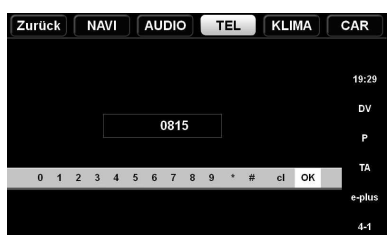


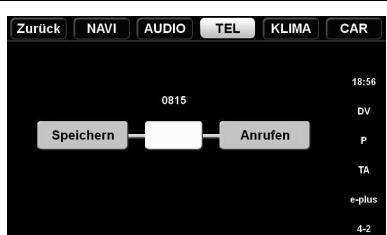


Als Bedienaufgaben wurden folgende, typische sekundäre Bedienaufgaben verwendet:

Tabelle 6.7: Bedienaufgaben zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Kontext	Bedienaufgabe
Navigationssystem	Zieleingabe durch Adresseingabe
	Zieleingabe über Karte
Telefon	Anruf aus Telefonbuch
	Anruf durch Nummernwahl
Radio	Auswahl eines Radiosenders aus der Senderliste
Klimaanlage	Temperatureinstellung

Die Probanden mussten zu Beginn jeder Aufgabe eine Funktionstaste betätigen, um in das Hauptmenü der gewünschten Funktion zu gelangen. Anschließend mussten sie durch Drehen und Schieben des zentralen Bedienelements zu der gewünschten Stelle im Menü navigieren, um bestimmte Einstellungen vorzunehmen. Nach Abschluss der Aufgabe bekamen sie ein Feedback, dass die Aufgabe erfolgreich abgeschlossen wurde. Am Beispiel "Anruf durch Nummernwahl" ist in Tabelle 6.8 eine komplette Versuchsaufgabe mit den einzelnen Screentypen und den Zustände des variablen zentralen Bedienelements dargestellt (die übrigen Aufgaben sind in Anhang C aufgeführt).

Tabelle 6.8: Ablauf der Bedienaufgabe "Anruf durch Nummerwahl"

Instruktion: "Bitte rufen Sie die Nummer 0815 an."			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Zustand des Bedienelementes	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	-

6.2.5 Versuchsablauf

Nach dem Ausfüllen eines Fragebogens zur Erfassung demographischer Daten wurden die Probanden mit dem Lane-Change-Test vertraut gemacht, eine Baseline aufgenommen und die Funktionsweise des abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems ausführlich erklärt (Abbildung 6.8). Um zu gewährleisten, dass alle Probanden eine ähnliche Kenntnis des Systems hatten, wurde ihnen die Möglichkeit gegeben, sich vor Versuchsbeginn selbstständig einige Minuten damit vertraut zu machen.

Den Probanden wurden die Bedienaufgaben anschließend in randomisierter Reihenfolge vom Versuchsleiter gestellt. Die Probanden sollten diese so gut und so schnell wie möglich während der Fahrt im Lane-Change-Test erfüllen. Jede der 6 Aufgaben wurde einmal wiederholt, d.h. insgesamt 12 Aufgaben je Versuchsbedingung bearbeitet.

Nachdem die Probanden alle Versuchsbedingungen durchlaufen hatten, wurde nochmals eine Baseline aufgezeichnet, um ggf. Trainigseffekte in den Fahrleistungen berücksichtigen zu können. Abschließend wurde das subjektive Gefallen und die Anpassung der Form bewertet.

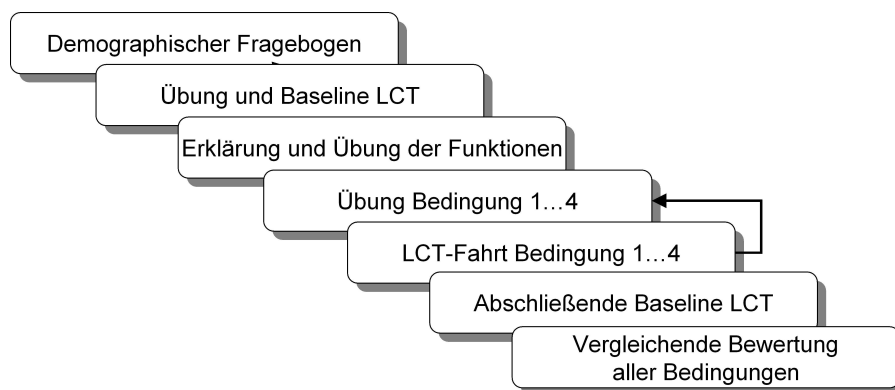


Abbildung 6.8: Versuchsablauf zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

6.2.6 Vorgehen bei der Datenauswertung

Die in Log-files und Fragebögen erfassten Daten wurden mit T-Tests und Varianzanalysen im Statistikprogramm SPSS ausgewertet. Zunächst wurde der Einfluss der Faktoren Bedienelement, Screendesign und Screentyp in einer 3-faktorielle Varianzanalyse bzgl. der Kompatibilitätsfehler untersucht. Anschließend wurden 2-faktorielle Varianzanalysen mit den Faktoren Bedienelement und Screendesign durchgeführt, um die Kompatibilitätsfehler je Screentyp zu analysieren. Die Bedienbarkeit, Ablenkung und die subjektiven Kriterien wurde ebenfalls mit 3-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. den Faktoren Bedienelement, Screendesign und Bedienaufgabe analysiert. Anschließend wurden in 2-faktoriellen Varianzanalysen mit den Faktoren Bedienelement und Screendesign die Bedienbarkeits- und Ablenkungseffekte je Bedienaufgabe untersucht.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Kompatibilitätsfehler

Die Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Bedienelement, Screendesign und Screentyp ergaben signifikante Haupteffekte für alle drei Faktoren (Abbildung 6.9 und 6.10 sowie Tabelle C.6). Mit dem variablen Bedienelement wurden signifikant weniger Kompatibilitätsfehler ($M=0,10$; $SE=0,01$) gemacht als mit dem statischen Bedienelement ($M=0,15$; $SE=0,01$). Auch mit dem eindeutigen Screendesign ($M=0,04$; $SE=0,01$) wurden deutlich weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,22$; $SE=0,02$). Bei den Screentypen Buchstabenspeller, kontinuierliche Eingabe und Nummernspeller wurden nur wenige Kompatibilitätsfehler gemacht, bei den Screens vom Typ Liste, 5-Buttonmenü, 4-Buttonmenü, Entscheidung und Cursor dagegen vergleichsweise viele. Dass die Interaktionen Screendesign \times Screentyp und Bedienelement \times Screentyp signifikant waren, zeigt, dass die Effekte der Bedienelemente und Screendesigns je nach Screentyp unterschiedliche waren.

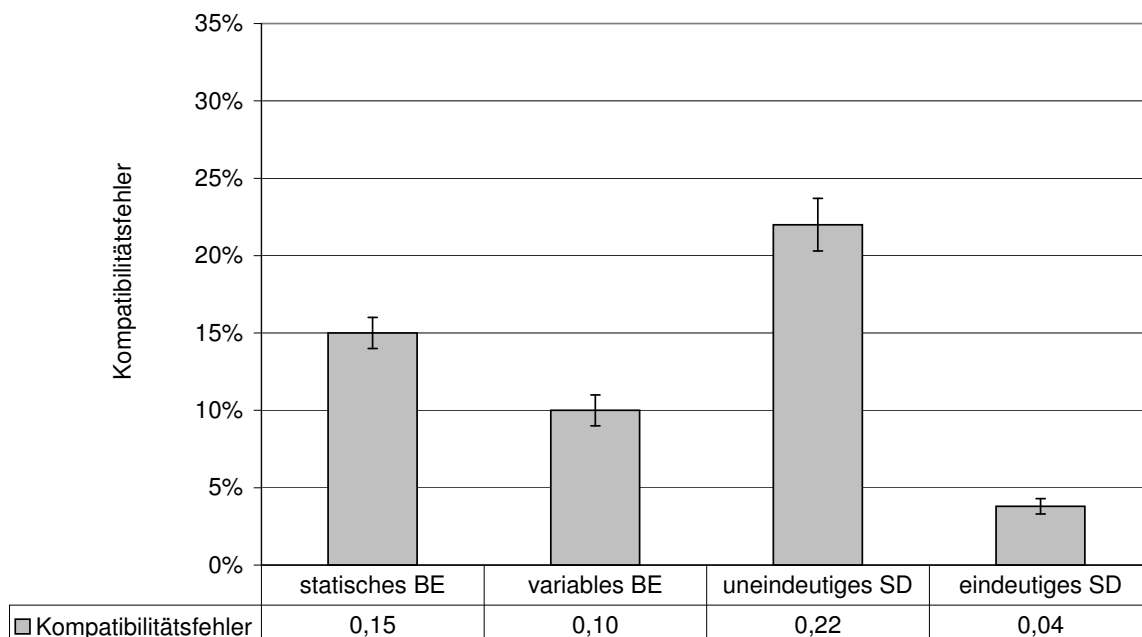


Abbildung 6.9: Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

Diese Unterschiede wurden mit 2-faktoriellen Varianzanalysen aufgeklärt, deren Ergebnisse in Abbildung 6.11 und Tabelle C.7 dargestellt sind.

Beim Buchstabenspeller hatte demnach das Screendesign einen signifikanten Einfluss. Mit dem eindeutigen Screendesign ($M=0,006$ $SE=0,002$) wurden weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,05$ $SE=0,01$). Die Bedienelemente unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

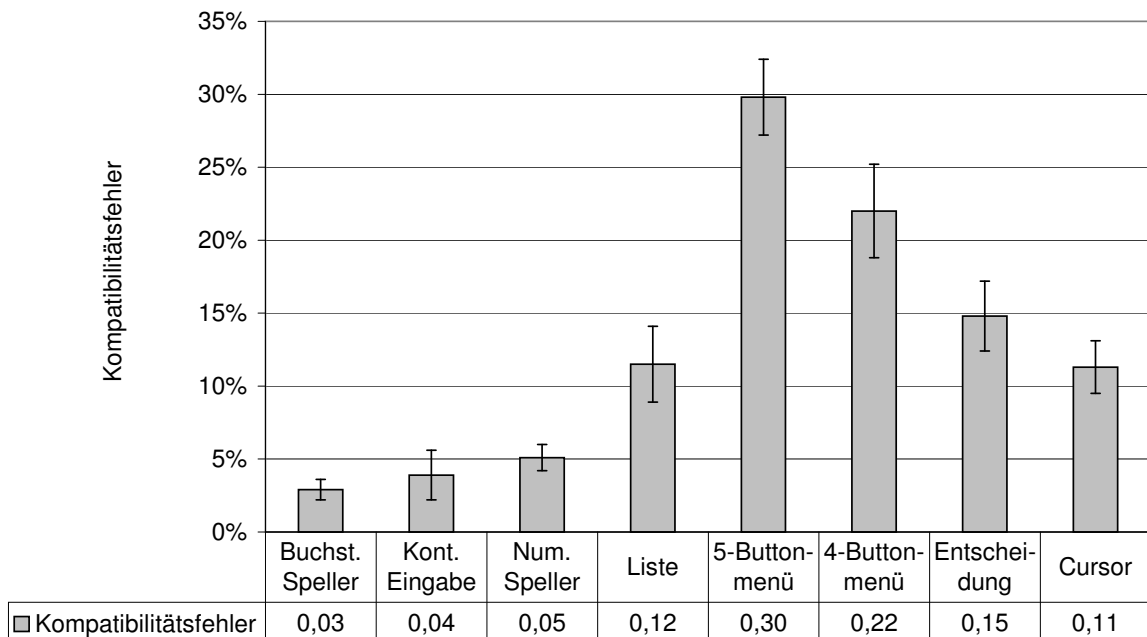


Abbildung 6.10: Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit des Screentyps (Mittelwerte und Standardfehler)

Wie bei den Buchstabenspeller hatte auch beim Nummernspeller das Screendesign einen signifikanten Einfluss, wobei mit eindeutigem Screendesign ($M=0,006$; $SE=0,001$) erneut weniger Kompatibilitätsfehler gemacht wurden als mit den uneindeutigen Screendesign ($M=0,1$; $SE=0,02$). Die Bedienelemente unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Beim Screentyp kontinuierliche Eingabe hatte das Screendesign erneut einen signifikanten Einfluss. Es wurden mit dem eindeutigem Screendesign ($M=0,006$; $SE=0,003$) weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,07$; $SE=0,03$). Die Bedienelemente unterschieden sich erneut nicht signifikant.

Auch bei den Listen hatte das Screendesign einen signifikanten Einfluss. Mit dem eindeutigem Screendesign ($M=0,04$; $SE=0,01$) wurden wieder weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,19$; $SE=0,05$). Es gab auch bei diesem Screentyp keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedienelementen.

Beim Screentyp 5-Button-Menü konnten sowohl zwischen den Bedienelementen als auch zwischen den Screendesigns signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Mit dem variablen Bedienelement ($M=0,24$; $SE=0,03$) wurden, insbesondere in Kombination mit dem uneindeutigen Screendesign, weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem statischen Bedienelement ($M=0,35$; $SE=0,03$). Generell wurden mit dem eindeutigem Screendesign ($M=0,07$; $SE=0,02$) wieder weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,52$; $SE=0,05$).

Auch beim Screentyp 4-Button-Menü konnten zwischen den Bedienelementen und den Screendesigns signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Erneut wurden mit dem variablen Bedienelement ($M=0,18$; $SE=0,03$), insbesondere in Kombination mit dem uneindeutigen Screendesign, weni-

ger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem statischen Bedienelement ($M=0,26$; $SE=0,04$). Mit dem eindeutigen Screendesign ($M=0,03$; $SE=0,01$) wurden wieder weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem uneindeutigen Screendesign ($M=0,41$; $SE=0,06$).

Beim Screentyp Entscheidung wurden sowohl für das Bedienelement als auch für das Screendesign signifikante Effekte gefunden. Mit dem variablen Bedienelement ($M=0,11$; $SE=0,03$) wurden, vor allem beim uneindeutigen Screendesign, wieder weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als mit dem statischen Bedienelement ($M=0,19$; $SE=0,03$). Wie zuvor wurden mit dem eindeutigen Screendesign ($M=0,03$; $SE=0,01$) weniger Kompatibilitätsfehler gemacht als beim uneindeutigen Screendesign ($M=0,26$; $SE=0,05$).

Beim Screentyp Cursor konnten weder zwischen den Bedienelementen noch zwischen den Screendesigns signifikante Unterschiede festgestellt werden.

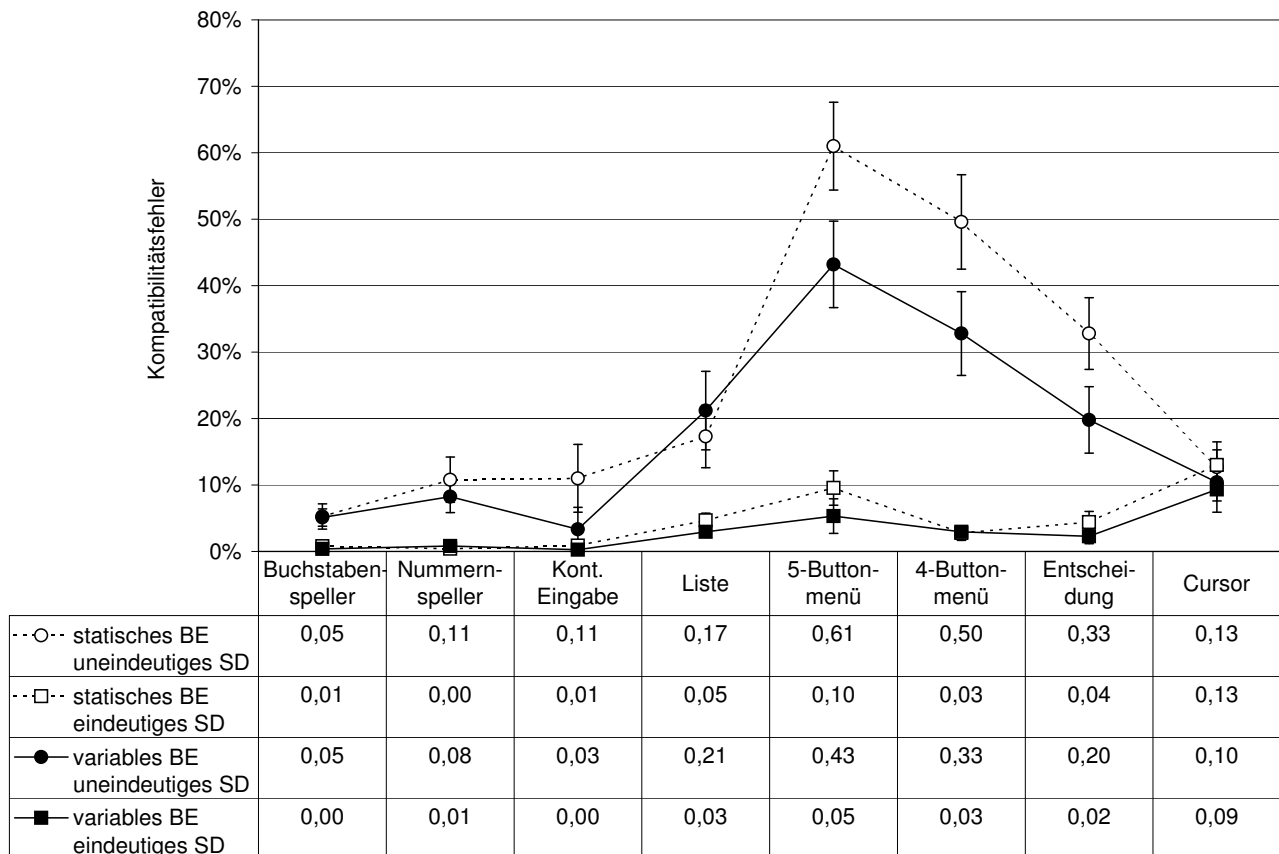


Abbildung 6.11: Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit von Screentyp, Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

6.3.2 Bedienzeiten

In einer 3-faktoriellen Varianzanalyse bezüglich der Faktoren Bedienelement, Screendesign und Aufgabentyp konnten signifikante Haupteffekte für das Screendesign und den Aufgabentyp nachgewiesen werden (Tabellen C.8). Wie in Abbildungen 6.12 und 6.13 dargestellt, war das eindeutige Screendesign ($M=22,53$; $SE=0,88$) schneller bedienbar als das uneindeutige ($M=24,99$; $SE=1,08$). Das Bedienelement hatte keinen signifikanten Einfluss. Die Aufgabentypen unterschieden sich alle signifikant voneinander, wobei die Bedienzeit bei der Adresseingabe am längsten und bei der Temperatureinstellung am kürzesten war. Die Interaktion Screendesign \times Aufgabe war signifikant. 2-faktorielle

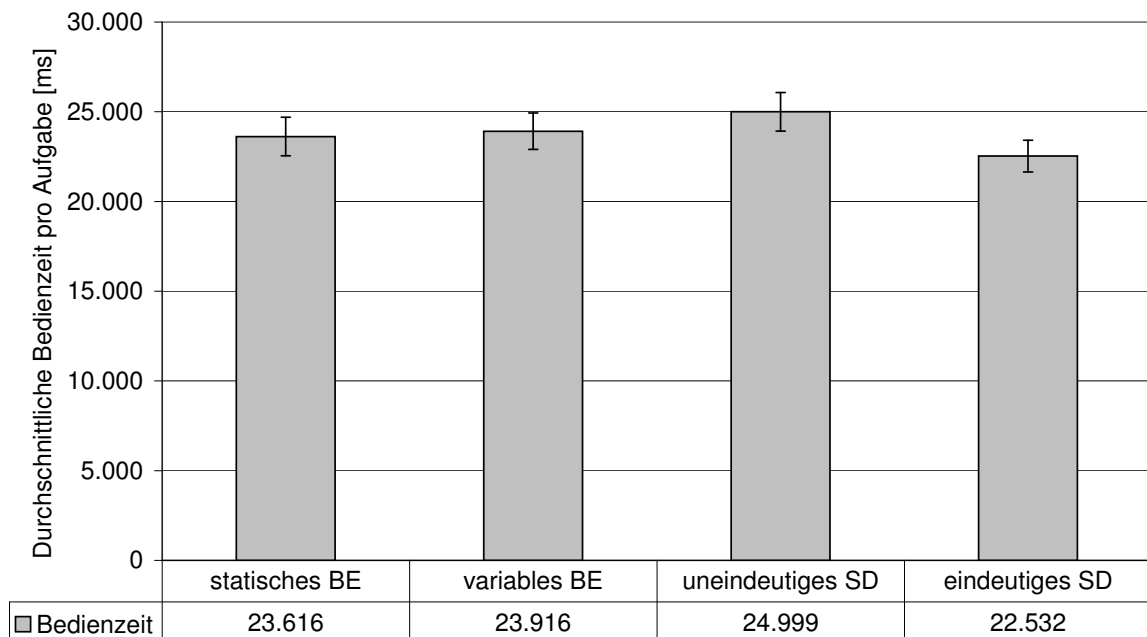


Abbildung 6.12: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

Varianzanalysen sollten anschließend klären, in welchen Bedienaufgaben sich die Unterschiede zwischen den Screendesigns am stärksten zeigten (Abbildung 6.14 und Tabelle C.9).

Für die Aufgaben Adresseingabe, Ziel über Karte, Nummernwahl und Temperatureinstellung ergaben sich signifikante Haupteffekte für den Faktor Screendesign. Bei diesen Aufgaben war die Bedienzeit mit dem eindeutigen Screendesign kürzer als mit dem uneindeutigen Screendesign. Für das Bedienelement konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Auch gab es keine signifikante Interaktionen.

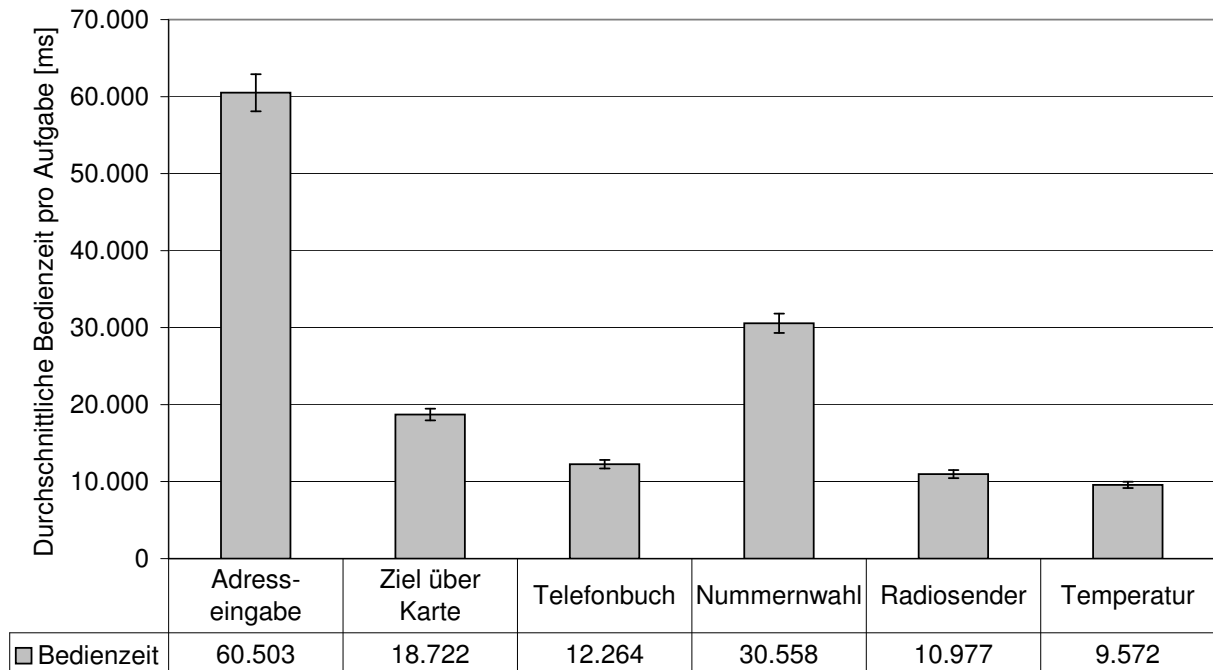


Abbildung 6.13: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe (Mittelwerte und Standardfehler)

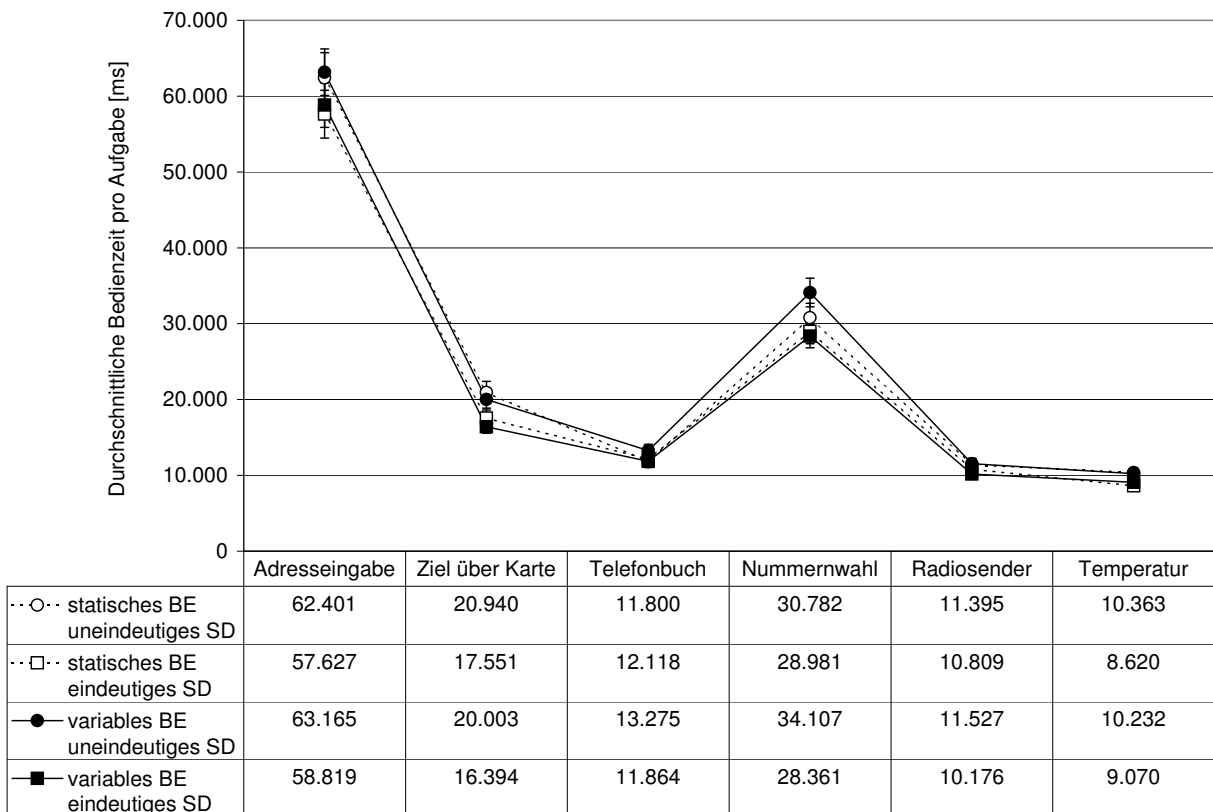


Abbildung 6.14: Durchschnittliche Bedienzeit pro Aufgabe in Abhängigkeit von Bedienaufgabe, Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

6.3.3 Bedienfehler

In der 3-faktoriellen Varianzanalyse bezüglich der Faktoren Bedienelement, Screendesign und Aufgabentyp konnte bezüglich der Bedienfehler ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Aufgabentyp nachgewiesen werden (Abbildungen 6.15 und 6.16 sowie Tabelle C.10). Das Bedienelement und das Screendesign hatten keinen signifikanten Einfluss und es gab keine signifikanten Interaktionen.

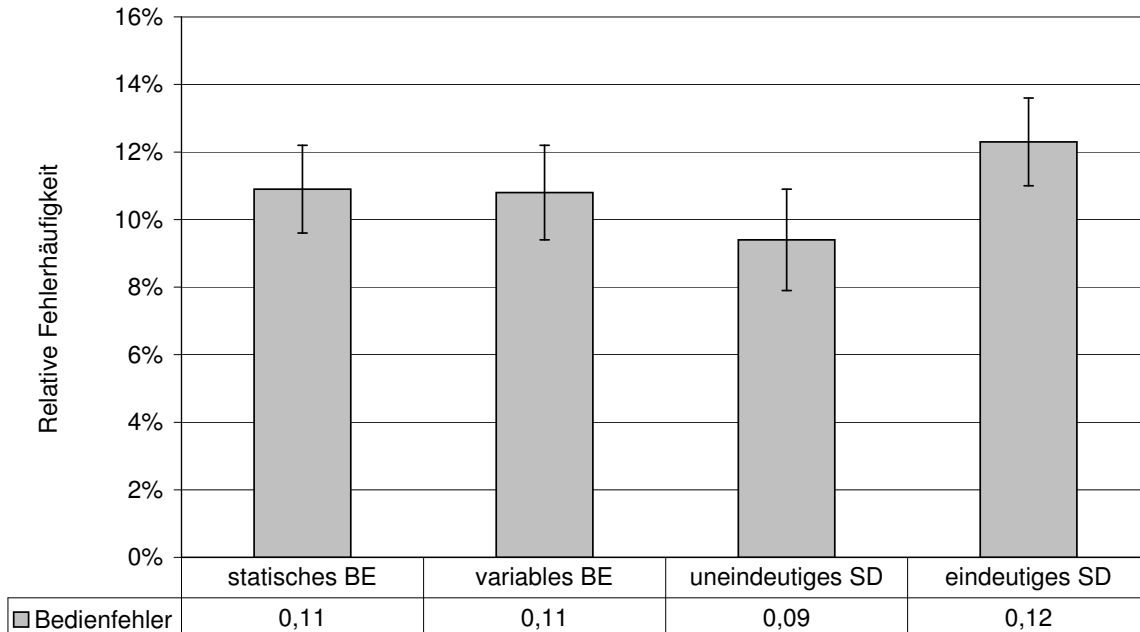


Abbildung 6.15: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

Anschließende 2-faktorielle Varianzanalysen mit den Faktoren Bedienelement und Screendesign ergaben einen signifikanten Unterschied für den Faktor Screendesign bei der Aufgabe Telefonbuch (Abbildung 6.17 und Tabelle C.11). Dabei wurden mit dem uneindeutigen ($M=0,02$; $SE=0,01$) Screendesign weniger Fehler gemacht als mit dem eindeutigen Screendesign ($M=0,08$; $SE=0,02$). Mit dem variablen Bedienelement wurden bei der Aufgabe Adresseingabe tendenziell weniger Fehler gemacht als mit dem statischen ($p=0,09$).

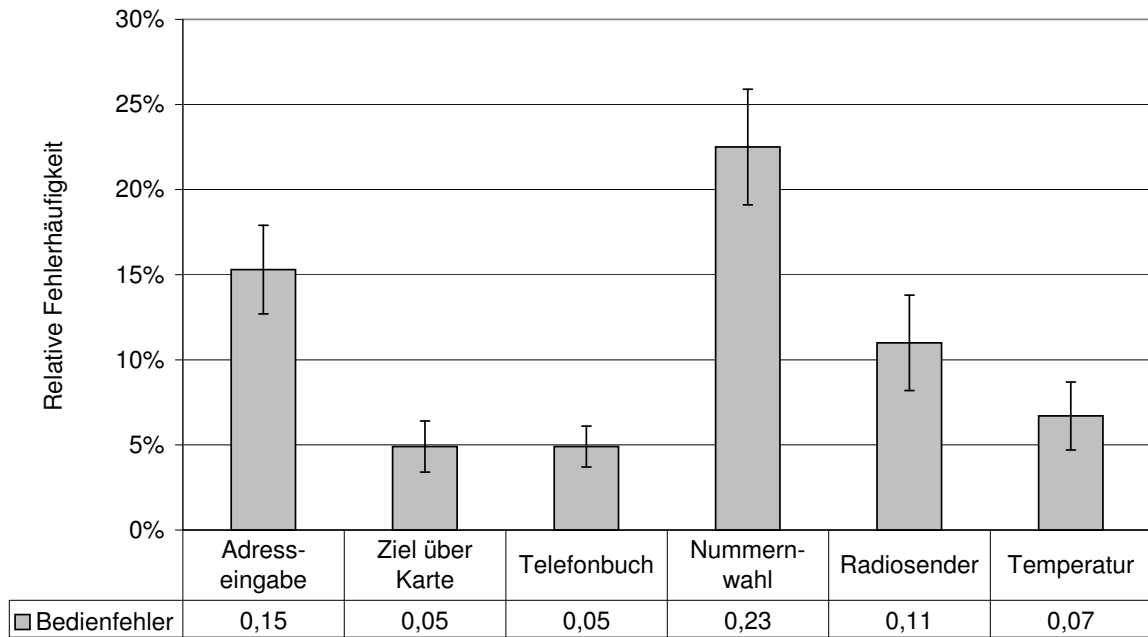


Abbildung 6.16: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe (Mittelwerte und Standardfehler)

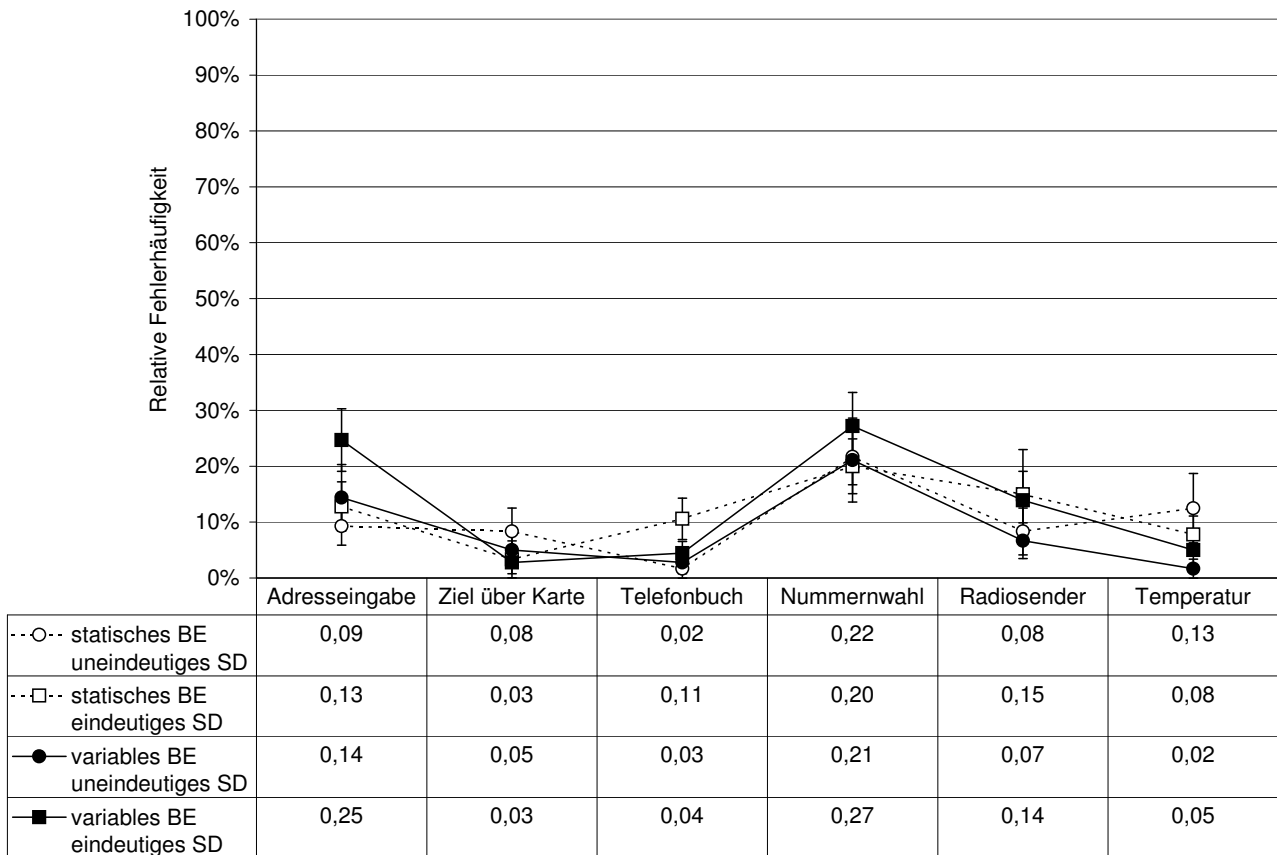


Abbildung 6.17: Relative Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Bedienaufgabe, Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

6.3.4 Ablenkung

Zunächst wurde überprüft, ob sich die mittlere Spurabweichung vom vorgegebenen normativem Modell als Maß für die Ablenkung durch die Bedienung nutzen lässt. Die Mittelwerte der Baselines zu Beginn ($M=1,23$, $StD=0,14$) und am Ende ($M=1,25$, $StD=0,16$) des Versuchs unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($t=-1,305$, $p=0,202$). Es kann daher von einer konstanten Fahrleistung der Probanden ausgegangen werden. Anschließend wurde ein Mittelwert über die beiden Baselines gebildet ($M=1,24$, $StD=0,15$) und mit den Versuchsfahrten ($M=1,67$, $StD=0,28$) in einem T-Test verglichen. Das Ergebnis zeigte, dass sich die Baselines von den Versuchsfahrten signifikant unterschieden ($t=-10,181$, $p<0,001$). Somit kann die mittlere Spurabweichung als Maß für die Ablenkung durch die Bedienung des abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems benutzt werden.

In Bezug auf die Ablenkung wurde in der 3-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Bedienelement, Screendesign und Bedienaufgabe ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Screendesign festgestellt (Tabelle C.12). Danach war das uneindeutige Screendesign ($M=1,63$; $SE=0,05$) weniger ablenkend als das eindeutige ($M=1,72$; $SE=0,06$). Die Faktoren Bedienelement und Aufgabentyp hatten keinen signifikanten Einfluss.

Die Interaktionen Bedienelement \times Screen und Screen \times Aufgabe waren nicht signifikant (Abbildung 6.18). Die Interaktion Bedienelement \times Aufgabe war jedoch signifikant, d.h., dass der Faktor Bedienelement bei bestimmten Aufgaben einen Einfluss auf die Ablenkung hatte (Abbildung 6.19).

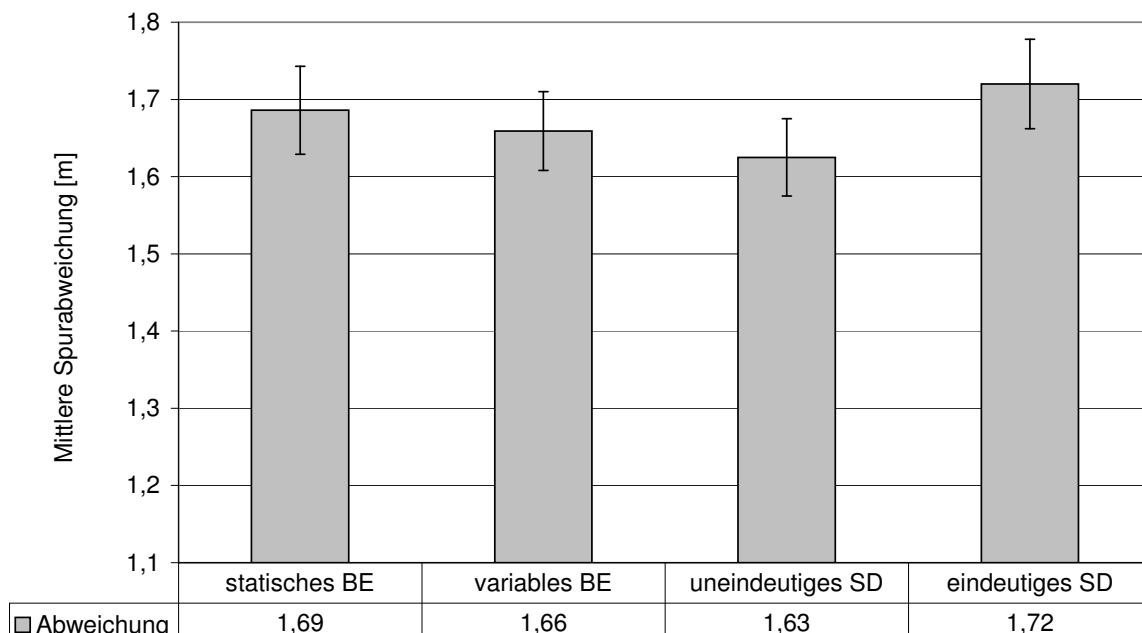


Abbildung 6.18: Mittlere Spurabweichung im Lane-Change-Test in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

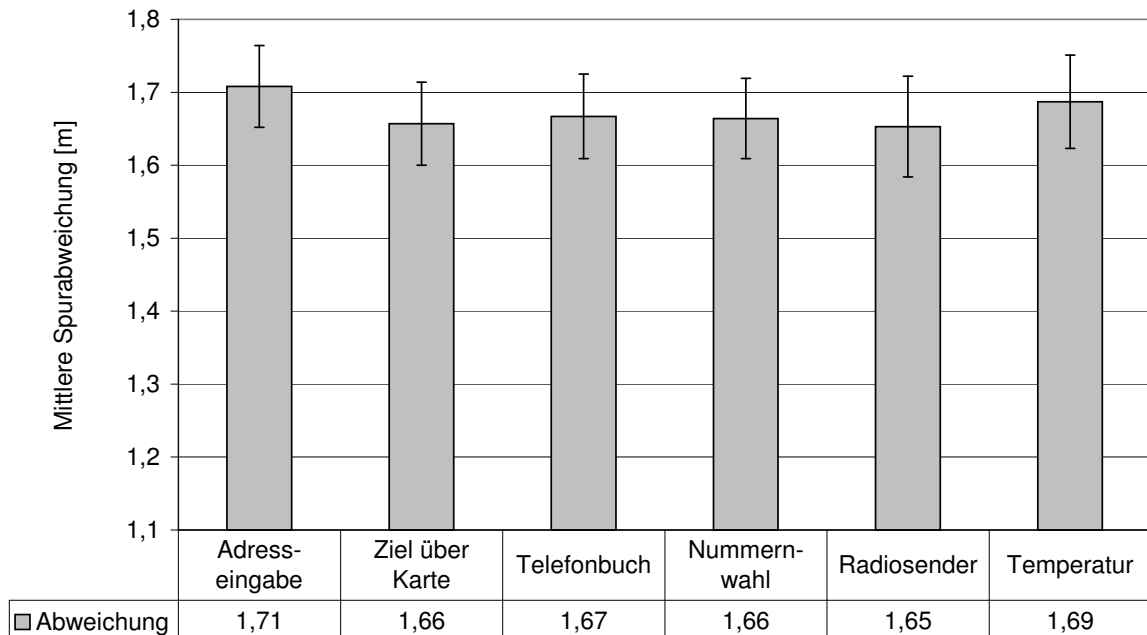


Abbildung 6.19: Mittlere Spurabweichung im Lane-Change-Test in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe (Mittelwerte und Standardfehler)

Bei welchen Aufgaben die Faktoren Bedienelement und Screendesign im Einzelnen Ablenkungsunterschiede verursachten, konnte mit 2-faktoriellen Varianzanalysen geklärt werden (Abbildung 6.20 und Tabelle C.13).

Für die Aufgabe Adresseingabe konnte weder für den Faktor Screendesign noch für den Faktor Bedienelement ein signifikanter Ablenkungsunterschied gefunden werden. Auch die Interaktion der Faktoren war nicht signifikant.

Bei der Aufgabe Ziel über Karte war die Ablenkung mit dem variablen Bedienelement ($M=1,75$; $SE=0,05$) höher als mit dem statischen Bedienelement ($M=1,57$; $SE=0,08$). Insbesondere die Kombination aus statischem Bedienelement und uneindeutigem Screendesign erwies sich für diese Aufgabe als wenig ablenkend. Dieser Effekt wird durch die signifikante Interaktion Bedienelement \times Screendesign bekräftigt. Die Screendesigns unterschieden sich jedoch nicht signifikant.

Beim Anruf aus dem Telefonbuch hatte das Screendesign einen signifikanten Einfluss, wobei das uneindeutige Screendesign ($M=1,58$; $SE=0,05$) weniger ablenkend war als das eindeutige ($M=1,75$; $SE=0,08$). Die Bedienelemente unterschieden sich nicht signifikant. Die Interaktion Bedienelement \times Screendesign war nicht signifikant.

Bei der Aufgabe Nummernwahl wurde für das variable Bedienelement ($M=1,60$; $SE=0,05$) eine geringere Ablenkung festgestellt als für das statische Bedienelement ($M=1,73$; $SE=0,07$). Die Screendesigns unterschieden sich nicht signifikant. Die Interaktion Bedienelement \times Screendesign war nicht signifikant.

Ein ähnliches Ergebnis ergab sich hinsichtlich der Bedienung der Senderliste. Auch hier konnte durch das variable Bedienelement ($M=1,55$; $SE=0,07$) eine signifikante Reduzierung der Ablenkung gegenüber dem statischen Bedienelement ($M=1,76$; $SE=0,09$) erzielt werden. Die Screendesigns unterschieden sich nicht signifikant und die Interaktion Bedienelement \times Screendesign war nicht signifikant. Bei der Aufgabe Temperatureinstellung verursachten die Bedienelemente und die Screendesigns keine signifikanten Ablenkungsunterschiede.

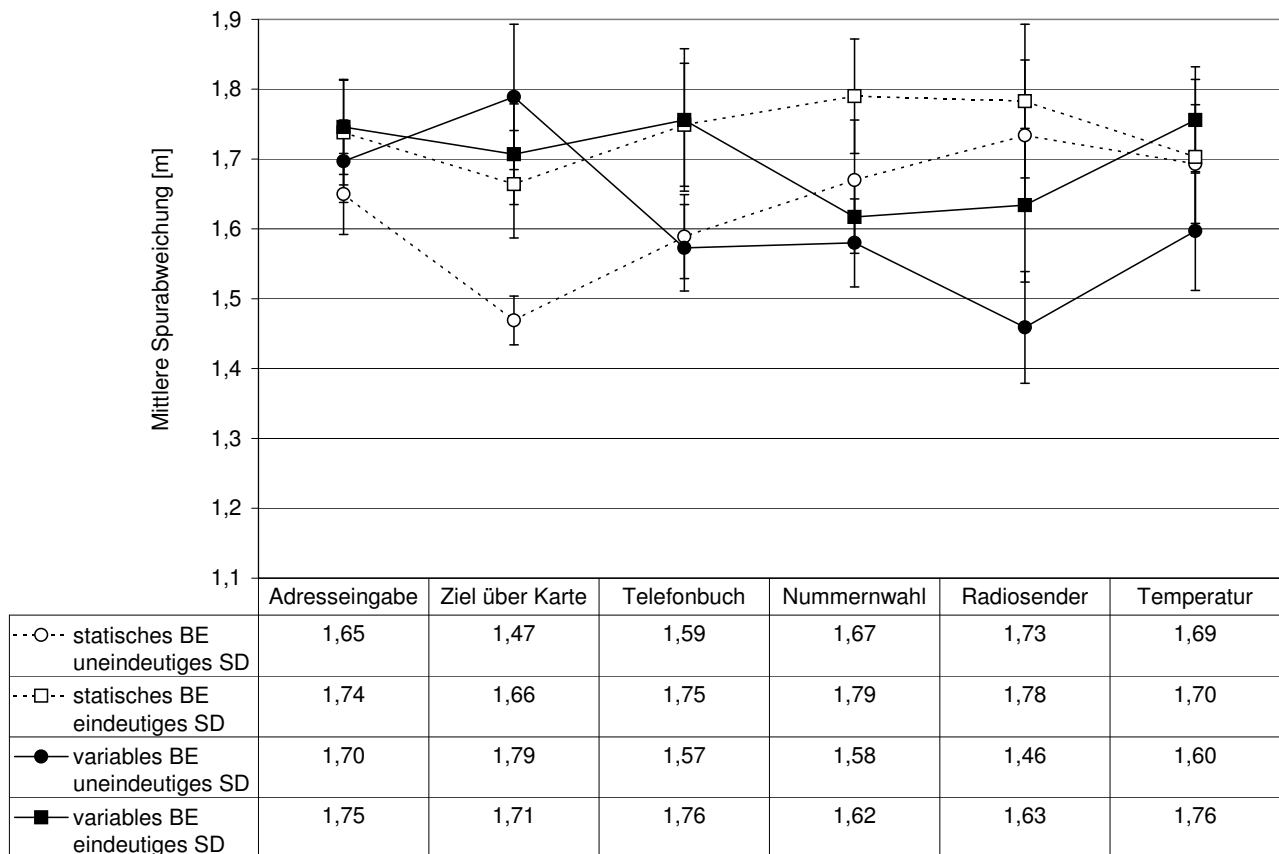


Abbildung 6.20: Mittlere Spurabweichung im Lane-Change-Test in Abhängigkeit von Bedienaufgabe, Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

6.3.5 Subjektive Bewertungen

In einer 2-faktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Bedienelement und Screendesign konnten bzgl. des Gefallens weder für den Faktor Bedienelement noch für den Faktor Screendesign signifikante Unterschiede gefunden werden (Abbildung 6.21) und Tabelle C.14).

Die Anpassung des Bedienelements an die Aufgabe wurde von der Mehrheit der Probanden als eher hilfreich (13 Nennungen) bis sehr hilfreich (7 Nennungen) empfunden (Abbildung 6.22). Für 7 Probanden war die Anpassung weder hilfreich noch störend und für weitere 3 Probanden eher störend. Kein Proband empfand die Anpassung als sehr störend. T-Tests sollten die exakte Lage

des Mittelwerts ($M=2,37$; $SE=0,17$) dieser Bewertung klären. Der Wert unterscheidet sich danach signifikant vom Wert "3" ($t=-3,816$; $p=0,001$) und dem Wert "2" ($t=2,21$; $p=0,035$). Er liegt damit - wenn auch knapp - auf der "hilfreich"-Seite der Skala zwischen den Werten "2" und "3" und wird daher sicher nicht als störend empfunden.

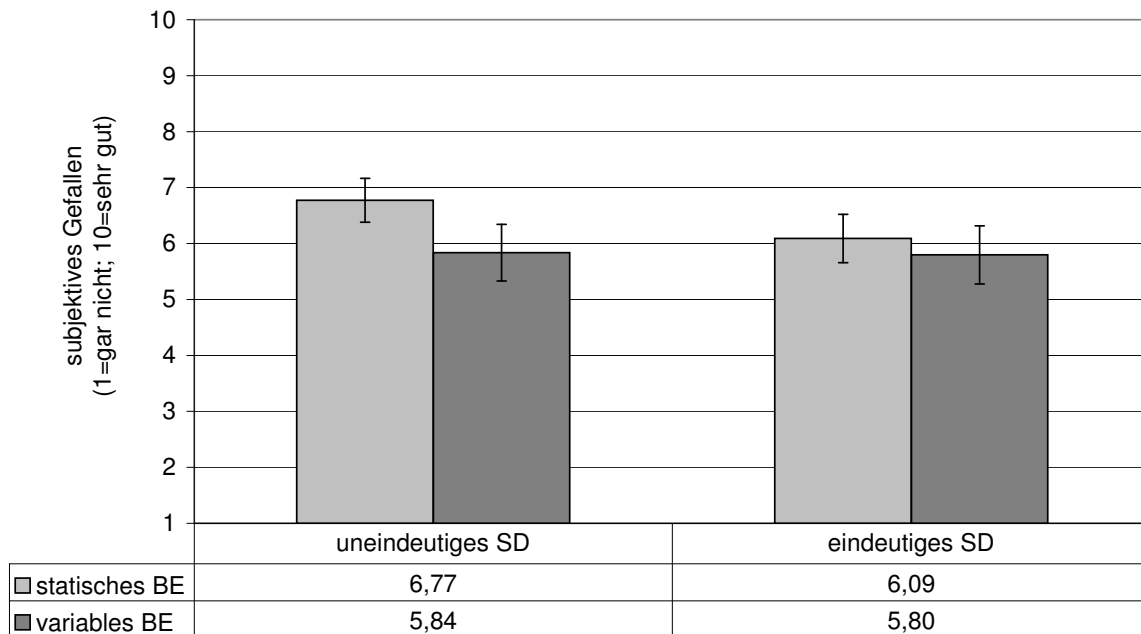


Abbildung 6.21: Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign (Mittelwerte und Standardfehler)

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Gestaltungsempfehlungen

Kompatibilitätsfehler

Durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements konnte die haptische Reiz-Reaktions-Kompatibilität des abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems verbessert werden, denn die Anzahl der Kompatibilitätsfehler konnte um 5% reduziert werden. Damit kann Hypothese 1 bestätigt werden.

Insbesondere bei den Screentypen mit horizontaler und vertikaler Ausrichtung der Schaltflächen (Entscheidung, 4- und 5-Buttonmenü) und bei schwacher visueller Kompatibilität des uneindeutigen Screendesigns konnten durch die haptische Kompatibilität des zentralen variablen Bedienelements die Kompatibilitätsfehler um durchschnittlich 16% reduziert werden. Die Hypothese 2 kann somit für die Screentypen 4-, 5-Buttonmenü und Entscheidung bestätigt werden.

Bei eindeutigem Screendesign können Kompatibilitätsfehler fast ausgeschlossen werden. Ihr Anteil konnte von 22% mit uneindeutigem Screendesign auf 4% mit eindeutigem Screendesign um durch-

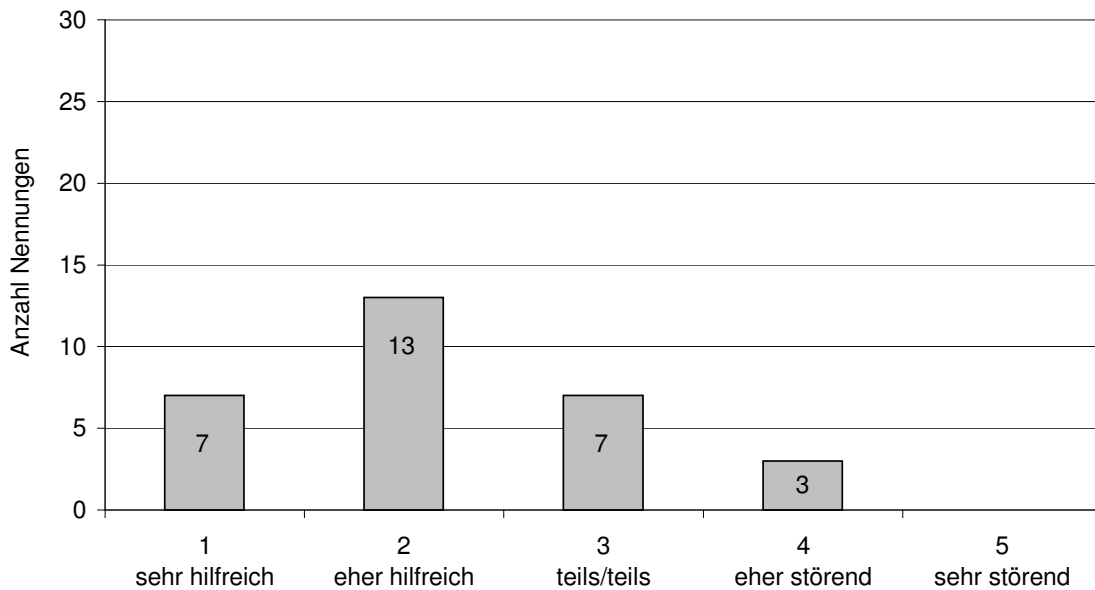


Abbildung 6.22: Subjektives Empfinden der Anpassung des Bedienelements an die Bedienaufgabe

schnittlich 18% reduziert werden. Bei den Screentypen Entscheidung, 4- und 5-Buttonmenü konnte der Anteil der Kompatibilitätsfehler dadurch sogar um durchschnittlich 31% reduziert werden. Das bedeutet, dass die visuelle Reiz-Reaktions-Kompatibilität des Bediensystems durch das eindeutige Screendesign deutlich verbessert wird.

Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass bei guter visueller Kompatibilität des Screendesigns (eindeutiges Screendesign) die haptische Kompatibilität des Bedienelements nur noch einen schwachen, nicht signifikanten Einfluss auf die Bedienhandlungen hat. Dieses Ergebnis bestätigt Hypothese 3.

Bei den Screentypen kontinuierliche Eingabe, Liste, Buchstaben- und Nummernspeller, für die die Bedienhandlung Drehen erwartet wurde, konnten keine Unterschiede zwischen den Bedienelementen gefunden werden. Das zeigt, dass die Screentypen selbst bei haptisch und visuell nicht optimaler Gestaltung schon zur Auswahl einer bestimmten Bedienhandlung führen. Der Grund dafür könnten mentale Modelle oder Erfahrungen der Benutzer aus der Bedienung anderer Geräte sein, die bestimmte Bedienhandlungen mit bestimmten Aufgabenstellungen inhaltlich verknüpfen. Bei Listen könnten Benutzer über ein solches mentales Modell aufgrund der Erfahrungen mit dem Scroll-Rad der PC-Maus verfügen.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse bzgl. der Kompatibilitätsfehler, dass die visuelle Kompatibilität für die Kompatibilität eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems eine größere Rolle spielt als die haptische Kompatibilität. Haptische Kompatibilität kann jedoch Fehlhandlungen aufgrund geringer visueller Kompatibilität zum Teil kompensieren. Es ist außerdem nicht auszuschließen, dass sich bei besserer Systemkenntnis die Benutzer zunehmend an der Formveränderung des Bedienelements orientieren könnten. Es wäre dann denkbar, dass sich haptische mentale Modelle bilden,

aufgrund derer sie "blind" im Menü navigieren, ohne den Blick von der Straße abzuwenden. In dem durchgeführten Versuch wurde jedoch eine Erstbedienung zu Grunde gelegt und die Probanden hatten vor Beginn des Versuchs nur kurz die Gelegenheit sich mit dem System vertraut zu machen. Es müsste in Langzeitstudien untersucht werden, ob sich diese haptischen mentalen Modelle bei längerer Systemnutzung bilden und nachweisen lassen.

Bedienzeiten

Durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements konnten keine Vorteile hinsichtlich der Bedienzeiten erzielt werden. Das eindeutige Screendesign war schneller bedienbar als das uneindeutige Screendesign. Der Grund dafür ist neben der guten visuellen Kompatibilität auch die im Vergleich zum uneindeutigen Screendesign geringere Anzahl von Bedienschritten. Die geringere Anzahl von Bedienschritten kommt dadurch zustande, dass beim eindeutigen Screendesign Funktionen durch Schieben in eine Richtung direkt ausgewählt werden.

Bedienfehler

Wie bei den Bedienzeiten konnten durch den Einsatz des variablen Bedienelements auch keine Vorteile hinsichtlich der Bedienfehler erzielt werden. Mit dem uneindeutigen Screendesign wurden nur bei der Aufgabe Telefonbuch weniger Bedienfehler gemacht als mit dem eindeutigen Screendesign, so dass dessen Einfluss auch vernachlässigt werden darf.

Ablenkung

Auch bei der Ablenkung konnten zwischen den Screendesigns signifikante Unterschiede festgestellt werden. Zwischen den Bedienelementen konnte bei den Aufgaben Nummernwahl und Senderliste die Ablenkung durch das variable zentrale Bedienelement signifikant, um durchschnittlich 10% reduziert werden. Bei der Aufgabe Ziel über Karte lenkte dagegen das statische Bedienelement um durchschnittlich 10% weniger ab als das variable. Für die Aufgaben Adresseingabe, Telefonbuch und Temperatur gab es durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements weder Vor- noch Nachteile in Bezug auf die Ablenkungswirkung. Die Hypothese 4 kann aufgrund dieser Ergebnisse nur für die Aufgaben Nummernwahl und Senderliste bestätigt werden.

Unerwartet ist, dass bei der Aufgabe Ziel über Karte das variable zentrale Bedienelement signifikant mehr ablenkt als das statische zentrale Bedienelement. Da bei diesem Aufgabentyp das variable Bedienelement seine Form nicht verändert und die Interaktion Screendesign \times Bedienelement signifikant war, kann man das Ergebnis nur so interpretieren, dass sich das statische Bedienelement in Kombination mit dem uneindeutigen Screendesign besonders gut für die Zieleingabe über die Karte eignet.

Dass das uneindeutige Screendesign weniger ablenkend ist als das eindeutige Screendesign mag im ersten Moment überraschen, denn es ist visuell weniger kompatibel zu den Bedienhandlungen als das eindeutige Screendesign. Dafür ist es aber besser unterbrechbar, wodurch der Fahrer seine Ressourcen besser auf die Fahr- und Bedienaufgaben verteilen kann. Hinsichtlich der Unterbrechbarkeit ist beim uneindeutigen Screendesign vorteilhaft, dass in den Menü-Screens ein Highlight erst auf die gewünschte Funktion positioniert und dann erst durch Drücken bestätigt wird. Der Benutzer kann sich so Schritt-für-Schritt seinem Ziel nähern und wenn nötig, z.B. für einen Kontrollblick auf die Straße, die Bedienung kurzzeitig unterbrechen und später an der gleichen Stelle wieder aufnehmen. Beim eindeutigen Screendesign erkennt er die erforderliche Bedienhandlung aufgrund der kompatiblen Gestaltung besser, aber er muss sich vor Ausführung seiner Handlung sicher sein, die richtige Richtung ausgewählt zu haben. Es ist denkbar, dass dies mehr kognitive Ressourcen bindet und daher die Ablenkung trotz besserer Kompatibilität höher ist. Eine interessante Frage in diesem Zusammenhang ist, ob sich bei einem gut unterbrechbaren und kompatiblen Screendesign die Vorteile ergänzen und die Ablenkung noch weiter reduziert werden kann.

Subjektive Bewertungen

Als positiv ist zu werten, dass die Anpassung des variablen zentralen Bedienelements an die Bedienungsaufgabe als eher hilfreich bewertet wurde. Das zeigt, dass die Formveränderung erstens wahrgenommen und zweitens als unterstützend empfunden wurde. Subjektiv wurden weder die Bedienelemente noch die Screendesigns signifikant unterschiedlich bewertet. Es gab allerdings eine Tendenz ($p=0,07$) dahingehend, dass das statische Bedienelement besser gefiel. Dass sich weder Screendesign noch Bedienelement hinsichtlich des Gefallens signifikant unterscheiden, kann darauf zurückgeführt werden, dass die Gestaltung der Screendesigns und Bedienelemente aus Gründen der Vergleichbarkeit sehr ähnlich gehalten war. Es kann aber aufgrund der subjektiven Bewertungen bereits mit diesem frühen Prototypen ausgeschlossen werden, dass Benutzer sich von der Formänderung gestört fühlen oder diese gar nicht wünschen. Durch eine gut gestaltete "Inszenierung" der Formänderung könnten in Zukunft vielleicht sogar Gefallensvorteile gegenüber einem statischen zentralen Bedienelement erreicht werden.

Gestaltungsempfehlungen

Aufgrund dieser Ergebnisse können folgende Empfehlungen für die Gestaltung eines abgesetzten Bediensystems mit einem variablen zentralen Bedienelement abgeleitet werden:

- Der Einsatz eines variablen zentralen Bedienelements zur Verbesserung der Kompatibilität und Reduzierung der Ablenkungswirkung eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems wird empfohlen. Das gilt insbesondere, wenn keine optimale visuelle Kompatibilität des Screendesigns erreicht werden kann. Das variable zentrale Bedienelement kann aber auch bei guter visueller Kompatibilität des Screendesigns eingesetzt werden, allerdings ist der Kompatibilitätszugewinn eher gering.

- Beim Einsatz eines variablen Bedienelements sollte schon in einem frühen Entwicklungsstadium überprüft werden, ob der Aufwand hinsichtlich technischer Komplexität und Kosten in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen, d.h. besserer Bedienbarkeit, Ablenkungsminimierung und Gefallen, steht.
- Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass beim Screendesign abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme nicht nur für eine gute Kompatibilität, sondern immer auch für eine möglichst gute Unterbrechbarkeit der Bedienabläufe gesorgt werden sollte, um die Ablenkungswirkung zu minimieren.
- Des Weiteren sollten u.a. Normen wie die DIN-EN-ISO15008 (2003) und Hinweise zur Gestaltung von Bedienabläufen, z.B. von Rassl (2004), berücksichtigt werden, um ein optimales und wenig ablenkendes Screendesign zu gestalten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Anzahl von Funktionen in Fahrzeugen nimmt aufgrund der technologischen Weiterentwicklung rasant zu. Dies gilt insbesondere für Informations-, Kommunikations- und Navigationssysteme in Pkw. Um der Vielzahl neuer Funktionen zu begegnen, werden immer neue Bedien- und Anzeigesysteme entwickelt, die eine optimale Bedienbarkeit sicherstellen und die Ablenkung reduzieren sollen. Eine Analyse des Standes der Technik aktueller Fahrzeuge zeigt, dass sog. abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme an Bedeutung gewinnen. Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme bestehen aus einem Display im Sichtfeld des Fahrers und einem davon räumlich abgesetzten zentralen Bedienelement im Greifraum des Fahrers. Mit dem zentralen Bedienelement wird vom Fahrer ein menübasiertes System bedient, dessen Funktionen auf dem Display dargestellt werden. Über das zentrale Bedienelement hinaus gibt es separate Bedienelemente, insbesondere Tasten, zur Bedienung häufig genutzter Funktionen, wie z.B. der Klimaanlage.

Abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme sind hinsichtlich der Positionierung von zentralem Bedienelement und Display bereits optimal gestaltet. Allerdings bieten ihre multifunktionalen zentralen Bedienelemente eine Vielzahl von Bedienmöglichkeiten. Dabei ist die haptische und visuelle Reiz-Reaktions-Kompatibilität, d.h. der Zusammenhang zwischen Bedienelement (haptische Reize), Anzeige (visuelle Reize) und der Handlung des Fahrers (Reaktion) nicht immer optimal. Auch im Bereich der Tasten muss der Fahrer aus einer Vielzahl von Möglichkeiten auswählen. Mitunter sind dabei Tasten für Funktionen vorhanden, die gar nicht bedienbar sind, oder die Tasten sind nicht optimal beschriftet.

Zu viele Tasten oder ein nicht kompatibel gestaltetes zentrales Bedienelement können dazu führen, dass dem Fahrer die Bedienung eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems erschwert und er dadurch während der Bedienung von der Fahraufgabe abgelenkt wird. Deshalb sollten zentrale Bedienelemente und Tasten in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen weiterentwickelt werden.

So verspricht man sich u.a. vom Einsatz haptischer Codierungen am zentralen Bedienelement Vorteile hinsichtlich der Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung. Aktive Haptik, d.h. der Einsatz variabler Betätigungskräfte und -momente, wurde dazu bereits vielfach untersucht. Neben der aktiven Haptik wird auch der Einsatz von Formcodierungen für zentrale Bedienelemente zur Verbesserung der Kompatibilität von Bedien- und Anzeigesystemen diskutiert. Auch Technologien für variable Formcodierungen sind bereits bekannt. Allerdings sind keine Arbeiten bekannt, die formcodierte variable Bedienelemente für den Einsatz in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen bewertet haben und deren Zweckmäßigkeit nachweisen konnten. Darüber hinaus ist nicht dokumentiert, wie bei der Entwicklung eines zentralen Bedienelements mit variabler Formcodierung vorzugehen ist. Auch die

bekanntem Vorgehensweisen und Lösungskataloge versagen, wenn mit einem Bedienelement mehr als eine Bedienaufgabe ausgeführt werden soll.

Auch für Tasten und insbesondere deren Beschriftung sind variable Technologien sog. Displaytasten bekannt. Obwohl dadurch Verbesserungen hinsichtlich der Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung erwartet werden, sind diese weder wissenschaftlich bestätigt noch sind Gestaltungshinweise für variable Beschriftung bekannt.

Das Ziel dieser Arbeit war es daher, die Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems durch den Einsatz variabler Tastenbeschriftung und einem zentralen Bedienelement mit variabler haptischer Formcodierung zu verbessern. Dazu wurden Vorgehensweisen und Gestaltungsempfehlungen für variable Beschriftung von Tasten und zentrale Bedienelemente mit variabler Formcodierung für abgesetzte Bedien- und Anzeigesysteme erarbeitet.

Aufbauend auf den Entwicklungs- und Auswahlverfahren für Bedienelemente, die aus der Normung und der Literatur bekannt sind, wurde zunächst eine Vorgehensweise zur Entwicklung eines variablen Bedienelements vorgeschlagen. Bei dieser Vorgehensweise folgt nach der Beschreibung der Bedienaufgaben ein Vergleich ihrer Anforderungen. Stellen die Bedienaufgaben unterschiedliche Anforderungen an das Bedienelement, werden für jede Bedienaufgabe zunächst zwei optimale Bedienelemente ausgewählt. Diese beiden Bedienelemente werden dann unter Verwendung einer geeigneten Technologie in einem variablen Bedienelement integriert. Stellen beide Aufgaben die gleichen Anforderungen, kann ein Bedienelement entsprechend den bekannten Vorgehensweisen und Lösungskatalogen entwickelt werden.

Entsprechend der vorgeschlagenen Vorgehensweise wurde ein variables zentrales Bedienelement entwickelt, das auf Grundlage einer elektromechanischen Technologie, seine Form den in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen weit verbreiteten Bedienaufgaben "Drehen" und "Schieben" anpassen kann. Aufgrund der erfolgreichen Entwicklung dieses Bedienelements konnte die Zweckmäßigkeit der Vorgehensweise bestätigt werden. Im Rahmen dieser Entwicklung ergab eine Untersuchung mit 15 Versuchspersonen, dass runde Formen haptisch kompatibel zur Bedienhandlung Drehen und quaderförmige Formen haptisch kompatibel zur Bedienhandlung Schieben sind. Eine Fase an der Unterseite der Formen kann die Kompatibilität für Schieben erhöhen, wohingegen ein Rändel die Kompatibilität der Form nicht beeinflusst.

In dem anschließenden Simulatorversuch mit 30 Versuchspersonen wurde das variable zentrale Bedienelement mit einem statischen zentralen Bedienelement in Kombination mit einem visuell kompatiblen und einem visuell weniger kompatiblen Screendesign verglichen und bewertet. Es zeigte sich, dass die Kompatibilität eines abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements verbessert werden kann. Durch eine visuell kompatible Gestaltung des Screendesigns kann die Kompatibilität des abgesetzten Bedien- und Anzeigesystems deutlich verbessert werden. Darüber hinaus konnte durch den Einsatz des variablen zentralen Bedienelements die Ablenkung bei bestimmten Bedienaufgaben signifikant reduziert werden. Subjektiv empfanden die Versuchspersonen die formveränderliche Technologie des variablen zentralen Bedienelements als

hilfreich. Obwohl das variable zentrale Bedienelement ein erster Prototyp einer neuen Technologie ist, mit der die Versuchspersonen keine Vorerfahrung hatten, gefiel es subjektiv bereits genauso gut wie das vertrautere statische Bedienelement. Aufgrund der Ergebnisse kann der Einsatz des variablen zentralen Bedienelements empfohlen und Nachteile weitestgehend ausgeschlossen werden. Allerdings sollte bedacht werden, dass mit vergleichsweise hohem technischen Aufwand nur relativ kleine Vorteile hinsichtlich der Kompatibilität und der Ablenkung erreicht werden können.

Die Ergebnisse der Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten mit 22 Versuchspersonen zeigten, dass durch variable Tastenbeschriftung die Bedienbarkeit gegenüber einer statischen Beschriftung verbessert und die Ablenkung reduziert werden kann. Des Weiteren machen die Ergebnisse deutlich, dass eine zustandscodierte Beschriftung auf Tasten hinsichtlich Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung besser ist als eine wirkungscodierte Beschriftung. Die Kombination aus zustandscodierter Beschriftung und variabel ausgeblendeter Beschriftung zeigte die besten Ergebnisse und wird deshalb für den Einsatz in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen, z.B. im Bereich der Klimaanlage, empfohlen.

Aufgrund der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Vorgehensweise, der Versuchsergebnisse und den daraus abgeleiteten Gestaltungsempfehlungen konnten wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung und Gestaltung variabler Bedienelemente in abgesetzten Bedien- und Anzeigesystemen gewonnen werden. Aufgrund des methodischen Vorgehens und der Bewertung mittels Probandenstudien liegen erstmals empirisch abgesicherte Ergebnisse zu variabler Tastenbeschriftung und einem variablen zentralen Bedienelement vor. Dabei zeigt ein Vergleich der Ergebnisse, dass die variable Beschriftung von Tasten ein größeres Potenzial zur Verbesserung der Bedienbarkeit und Ablenkungswirkung besitzt als das variable zentrale Bedienelement, für das jedoch ebenfalls Vorteile hinsichtlich der Ablenkungswirkung nachgewiesen werden konnten.

Deshalb sollte einerseits weiter untersucht werden, ob sich die Vorteile z.B. durch eine optimierte Gestaltung oder bei längerer Nutzung des zentralen variablen Bedienelements verstärken oder weitere Vorteile ergeben. Andererseits sollten Technologien entwickelt werden, die die Komplexität und Kosten eines variablen zentralen Bedienelements reduzieren können. Bezogen auf das vorgestellte Technologiekonzept, sollte insbesondere die Steuerung der Lamellen durch eine sowohl mechanisch als auch elektronisch möglichst einfache Aktorik sichergestellt werden. Im Kontext zentraler Bedienelemente wäre außerdem eine Untersuchung zur Kompatibilität von Bedienelementformen zur Bedienhandlung Drücken sinnvoll. Dann wären, unter Berücksichtigung der vorgestellten Ergebnisse zu Drehen und Schieben sowie den Ergebnissen von Tille u. Krüger (2004), kompatible Bedienelementformen zu allen sechs Freiheitsgraden eines zentralen Bedienelements bekannt. Im Kontext der Tastenbeschriftung wäre es dagegen sinnvoll, unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten einer Zustandscodierung zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag zur Entwicklung zukünftiger abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme und geben insbesondere Entwicklern und Gestaltern eine Hilfestellung beim Einsatz variabler Bedienelemente. In Bedien- und Anzeigesystemen der Zukunft könnten zunehmend variable Bedienelemente eingesetzt werden, um die Bedienbarkeit, die Ablenkungswirkung und nicht

zuletzt die Verkehrssicherheit zur verbessern. Eine besondere Rolle wird dabei einerseits der Gestaltung der Form von Bedienelementen und der Wechselwirkung zwischen Bedienelementen und Anzeigen zukommen. Im Falle der variablen Beschriftung werden Anzeige und Bedienelement immer häufiger in einem Element verschmelzen. Für den Erfolg abgesetzter Bedien- und Anzeigesysteme wird dagegen zukünftig der kompatible und ggf. variable Zusammenhang zwischen zentralem Bedienelement und abgesetzter Anzeige für den weiteren Erfolg dieser Systeme von entscheidender Bedeutung sein.

8 Literaturverzeichnis

- [AAM 2003] AAM ; ALLIANCE OF AUTOMOBILE MANUFACTURERS - DRIVER FOCUS TELEMATICS WORKING GROUP (Hrsg.): *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems (idF. v. 30.09.2003)*. 2003
- [Abel u. a. 2005] ABEL, Heinz B. ; MEIER-ARENDDT, Guido ; WILLNAUER, Bernhard: Ergonomische Bedienelemente für elektronische Fahrzeugsysteme. In: *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift* 107 (2005), Nr. 5
- [Acura 2006] ACURA: *Produktinformation zum Acura RL*. Version: Oktober 2006. <http://www.acura.com>, Abruf: 25.10.2006
- [Akyol u. a. 2001] AKYOL, Suat ; LIBUDA, Lars ; KRAISS, Karl-Friedrich: Multimodale Bedienung adaptiver Kfz-Bordsysteme. In: JÜRGENSOHN, Thomas (Hrsg.) ; TIMPE, Klaus-Peter (Hrsg.): *Kraftfahrzeugführung*. Berlin : Springer, 2001, S. 137–155
- [ALPS Electric Co. Ltd. 2006] ALPS ELECTRIC CO. LTD.: *The Haptic Commander*. Version: Juni 2006. http://www.alps.com/life/car_haptic.html, Abruf: 16.06.2006
- [Anguelov u. Schmauder 2006] ANGUELOV, N. ; SCHMAUDER, M.: Steigerung der Wertanmutung von Bedienteilen im Kfz-Innenraum durch psychohaptische Kenngrößen. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Dokumentation des 52. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses: Innovationen für Arbeit und Organisation (Stuttgart)*. Dortmund : GfA-Press, 2006. – ISBN 3-936804-03-6
- [Audi AG 2006] AUDI AG: *Produktinformation zum Audi A8*. Version: Oktober 2006. <http://www.audi.de>, Abruf: 25.10.2006
- [Badescu u. a. 2002] BADESCU, Mircea ; WAMPLER, Charles ; MAVROIDIS, Constantinos: Rotary Haptic Knob for Vehicular Instrument Controls. In: IEEE COMPUTER SOCIETY (Hrsg.): *HAPTICS '02 - Proceedings of the 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (Washington)*, 2002
- [BMW AG 2006] BMW AG: *Produktinformation zum BMW- "iDrive"*. Version: Oktober 2006. <http://www.bmw.de>, Abruf: 25.10.2006
- [bmworld 2006] BMWORLD: *BMW 7er*. Version: August 2006. <http://www.bmwworld.com>, Abruf: 5.8.2006

- [Bortz u. Döring 2002] BORTZ, Jürgen ; DÖRING, Nicola: *Forschungsmethoden und Evaluation*. 3. überarb. Aufl. Berlin : Springer, 2002. – ISBN 3-540-41940-3
- [Branke 2006] BRANKE, Dirk: Der alles entscheidende Augen-Blick. In: *Auto Bild* (2006), Nr. 43
- [Bubb 1993a] BUBB, Heiner: Informationswandel durch das System. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 333–390. – ISBN 3-446-16440-5
- [Bubb 1993b] BUBB, Heiner: Systemergonomische Gestaltung. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 390–420. – ISBN 3-446-16440-5
- [Bubb 2001] BUBB, Heiner: Haptik im Kraftfahrzeug. In: JÜRGENSOHN, Thomas (Hrsg.) ; TIMPE, Klaus-Peter (Hrsg.): *Kraftfahrzeugführung*. Berlin : Springer, 2001, S. 155–177. – ISBN 3-540-42012-6
- [Bullinger 1994] BULLINGER, Hans-Jörg: *Ergonomie*. Stuttgart : Teubner, 1994. – ISBN 3-519-06366-2
- [Bullinger u. a. 1997] BULLINGER, Hans-Jörg ; KERN, Peter ; BRAUN, Martin: Controls. In: SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons, 1997, S. 697–728. – ISBN 0-471-11690-4
- [Burdea 1996] BURDEA, G.: *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. New York : John Wiley and Sons, 1996. – ISBN 10158-0012
- [DaimlerChrysler AG 2005] DAIMLERCHRYSLER AG: *Betriebsanleitung S-Klasse*. 2005. – Redaktionsschluss: 02.12.2005
- [DaimlerChrysler AG 2006a] DAIMLERCHRYSLER AG: *Comand Controller*. Version: Oktober 2006. <http://intra.daimlerchrysler.com>, Abruf: 25.10.2006. – interne Quelle
- [DaimlerChrysler AG 2006b] DAIMLERCHRYSLER AG: *Ein Gespür für Qualität - Forscher untersuchen den "Wohlfühlfaktor"*. <http://www.daimlerchrysler.com/dccom>. Version: Oktober 2006, Abruf: 10.12.2006
- [DaimlerChrysler AG 2006c] DAIMLERCHRYSLER AG: *Mercedes-Benz S-Klasse*. Version: August 2006. <http://www.mercedes-benz.de>, Abruf: 5.8.2006
- [Dangelmaier u. a. 1990] DANGELMAIER, M. ; MUNTZINGER, W.F. ; SOLF, J.J. ; BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ (Hrsg.): *Eignung von handbetätigten Stellteilen für translatorische und rotatorische Stellbewegungen*. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1990 (Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse 83)

- [DIN-EN-ISO13407 2000] Norm DIN EN ISO 13407 November 2000. *Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme*
- [DIN-EN-ISO15005 2002] Norm DIN EN ISO 15005 Juli 2002. *Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Dialogue Management Principles*
- [DIN-EN-ISO15006 2002] Norm (Entwurf) DIN EN ISO 15006 Oktober 2002. *Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Auditory Presentation of Information*
- [DIN-EN-ISO15007-1 2002] Norm DIN EN ISO 15007-1 März 2002. *Road Vehicles - Measurement of driver visual behavior with respect to transport information and control systems*
- [DIN-EN-ISO15008 2003] Norm DIN EN ISO 15008 Oktober 2003. *Road Vehicles - Traffic Information and Control Systems (TICS) Ergonomic aspects of In-Vehicle Information Presentation*
- [DIN-EN-ISO9241-1 2002] Norm DIN EN ISO 9241 Teil 1 Februar 2002. *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 1: Allgemeine Einführung*
- [DIN-EN-ISO9241-10 1996] Norm DIN EN ISO 9241 Teil 10 Juli 1996. *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmsystemen - Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung*
- [DIN-EN-ISO9241-11 1999] Norm DIN EN ISO 9241 Teil 11 Januar 1999. *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmsystemen - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze*
- [DIN-EN-ISO9241-400 2005] Norm (Entwurf) DIN EN ISO 9241 Teil 400 August 2005. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Physikalische Eingabegeräte - Teil 400: Ergonomische Grundlagen: Einleitung und Anforderungen*
- [DIN-EN-ISO9241-9 2000] Norm DIN EN ISO 9241 Teil 9 Februar 2000. *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmsystemen - Teil 9: Anforderungen an Eingabemittel ausgenommen Tastaturen*
- [DIN-EN60073 2003] Norm DIN EN 60073 Mai 2003. *Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung und Codierungsgrundsätze für Anzeigengeräte und Bedienteile*
- [DIN-EN60447 2004] Norm DIN EN 60447 Dezember 2004. *Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung - Bedienungsgrundsätze*
- [DIN-EN894-1 1997] Norm DIN EN 894 Teil 1 April 1997. *Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 1: Allgemeine Leitsätze für die Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen*
- [DIN-EN894-2 1997] Norm DIN EN 894 Teil 2 April 1997. *Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 2: Anzeigen*

- [DIN-EN894-3 2000] Norm DIN EN 894 Teil 3 Juni 2000. *Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile*
- [DIN-EN894-4 2004] Norm (Entwurf) DIN EN 894 Teil 4 Juli 2004. *Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen. Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen*
- [DIN-ISO3958 1978] Norm DIN ISO 3958 November 1978. *Straßenfahrzeuge - Personenkraftwagen - Handreichweiten des Fahrzeugführers*
- [DIN33402-2 1986] Norm DIN 33402 Teil 2 Oktober 1986. *Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte*
- [DIN33411-1 1982] Norm DIN 33411 Teil 1 September 1982. *Körperkräfte des Menschen - Teil1: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen*
- [DIN33411-4 1987] Norm DIN 33411 Teil 4 Mai 1987. *Körperkräfte des Menschen - Teil 4: Maximale statische Aktionskräfte (Isodynien)*
- [DIN614-1 2003] Norm (Entwurf) DIN 614 Teil 1 April 2003. *Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze*
- [Doerrer u. Werthschützky 2001] DOERRER, C. ; WERTSCHÜTZKY, R.: A New Approach to Operating Machines with High Functionality. In: BARBER, C. (Hrsg.) ; FAINT, M. (Hrsg.) ; WALL, S. (Hrsg.) ; WING, A. M. (Hrsg.): *Conference Proceedings of Eurohaptics (Birmingham)*, 2001
- [Doerrer 2002] DOERRER, Cristoph: *Entwurf eines elektromechanischen Systems für flexibel konfigurierbare Eingabefelder mit haptischer Rückmeldung*, Universität Darmstadt, Diss., 2002
- [ESoP 1999] ESoP ; EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): *Empfehlung der Europäischen Kommission an die Mitgliedstaaten und die Industrie über sichere und effiziente On-board-Informationssysteme und -Kommunikationssysteme: Europäischer Grundsatzkatalog zur Mensch-Maschine-Schnittstelle (idF v. 21.12.1999)*. 1999. – (L19/64)
- [EU 1977] EU ; EUROPÄISCHE UNION (Hrsg.): *Council directive on the approximation of the laws of the Member States relating to the field of vision of motor vehicle drivers (idF v. 27.09.1977)*. 1977. – 77/649/EEC
- [Faerber 2006] FAERBER, Berthold: Cockpitgestaltung im Spannungsfeld von Design, Branding und Ergonomie. In: *Automobiltechnische Zeitung ATZ* 108 (2006), Nr. 09
- [Fitts u. Seeger 1953] FITTS, P. M. ; SEEGER, C. M.: S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes. In: *Journal of Experimental Psychology* 46 (1953), Nr. 3

- [Färber u. Färber 1987] FÄRBER, B. ; FÄRBER, B.: *Sicherheitsorientierte Bewertung von Anzeige- und Bedienelementen in Kraftfahrzeugen: Grundlagen*. 1987 (FAT-Schriftenreihe Nr. 64)
- [Fuchs u. a. 2001] FUCHS, Dietmar ; HERRLER, Michael ; PETERS, Mike ; SPRENG, Manfred ; ZELLER, Armin: iDrive - das neuartige Anzeige- und Bedienkonzept. In: *BMW 7er - Sonderausgabe ATZ und MTZ* (2001)
- [Geiger 2004] GEIGER, Thomas: *Krieg der Knöpfe*. Version: Juli 2004. <http://www.spiegel.de>, Abruf: 05.07.2004
- [Gelau 2005] GELAU, Christard: Rechtliche Vorgaben und Anforderungen an HMI-Konzepte. In: IIR DEUTSCHLAND GMBH (Hrsg.): *CTI-Fachtagung: Innovative Bediensysteme im Fahrzeug (Stuttgart)*, 2005
- [Gentner u. Stevens 1983] GENTNER, D. ; STEVENS, A.L.: *Mental Models*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1983. – ISBN 0-898-59242-9
- [Gibson 1962] GIBSON, J. J.: Observations on active Touch. In: *Psychological Review* 69 (1962), Nr. 6
- [Gibson 1966] GIBSON, J. J.: *The Senses Considered as Perceptual System*. Boston : Houghton Mifflin Company, 1966
- [Gibson 1973] GIBSON, J. J.: *Sinne und der Prozeß der Wahrnehmung*. Bern : Huber, 1973
- [Ginnow-Merkert 2003] GINNOW-MERKERT, Hartmut: *Produktkosmetik*. Version: Juni 2003. <http://www.kh-berlin.de/user/hginnow>, Abruf: 22.07.2004
- [Grane u. Bengtsson 2005] GRANE, C. ; BENGTTSSON, P.: Menu Selection with a Rotary Device Founded on Haptic and/or Graphic Information. In: BICCHI, A. (Hrsg.) ; BERGAMASCO, M. (Hrsg.): *Proceedings of WorldHaptics 2005 Conference (Pisa)*, 2005
- [Grüsser u. Grüsser-Cronehls 2000] GRÜSSER, O.-J. ; GRÜSSER-CRONEHLS, U.: Gesichtssinn und Okulomotorik. In: SCHMIDT, R.F. (Hrsg.) ; THEWS, G. (Hrsg.) ; LANG, F. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 28. korr. u. aktual. Aufl. Berlin : Springer, 2000, S. 278–315. – ISBN 3-540-66733-4
- [Handwerker 2000] HANDWERKER, H. O.: Allgemeine Sinnesphysiologie. In: SCHMIDT, R.F. (Hrsg.) ; THEWS, G. (Hrsg.) ; LANG, F. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 28. korr. u. aktual. Aufl. Berlin : Springer, 2000, S. 195–215. – ISBN 3-540-66733-4
- [Hauck u. a. 2004] HAUCK, Stefan ; MAUTER, Gerhard ; STETTER, Ralf: Das Innenraumkonzept des neuen Audi A6. In: *Der Audi A6 - Sonderausgabe von ATZ und MTZ* (2004)
- [Heitmüller 2004] HEITMÜLLER, Ulrike: Reine Knopf-Sache. In: *Sonntag Aktuell* (2004), 07.11.2004, S. 22

- [Herczeg 1994] HERCZEG, Michael: *Softwareergonomie*. Bonn : Addison-Wesley, 1994. – ISBN 3-89319-615-3
- [Hess 2005] HESS, Markus: Bewertung von HMI-Konzepten in der Mercedes-Benz Pkw-Entwicklung. In: IIR DEUTSCHLAND GMBH (Hrsg.): *CTI-Fachtagung: Innovative Bediensysteme im Fahrzeug (Stuttgart)*, 2005
- [Hick 1952] HICK, W. E.: On the rate of gain of information. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (1952), Nr. 4
- [Hoyos 1974] HOYOS, Graf C.: Kompatibilität. In: SCHMIDKTE, H. (Hrsg.): *Ergonomie 2 - Gestaltung von Arbeitsplatz und Arbeitsumwelt*. München : Hanser, 1974, S. 93–112
- [Hyman 1953] HYMAN, R.: Stimulus information as a determinant of reaction time. In: *Journal of Experimental Psychology* 45 (1953), Nr. 3
- [Immersion 2006] IMMERSION: *Automotive Products*. Version: Juli 2006. <http://www.immersion.com>, Abruf: 09.07.2006
- [ISO11581-1 2000] Norm ISO 11581 Part 1 April 2000. *Information technology - User system interfaces and symbols - Icon symbols and functions - Icons general*
- [ISO2575 2004] Norm ISO 2575 Mai 2004. *Road Vehicles - Symbols for Controls, indicators and tell-tales*
- [ISO4040 2001] Norm ISO 4040 Dezember 2001. *Road vehicles Location of hand controls, indicators and tell tales in motor vehicles*
- [ISO7000 1989] Norm ISO 7000 November 1989. *Graphical symbols for use on equipment - index and synopsis*
- [Iwata u. a. 2001] IWATA, Hiroo ; YANO, Hiroaki ; NAKAIZUMI, Fumitaka ; KAWAMURA, Ryo: Project FEELEX: Adding Haptic Surface to Graphics. In: ACM (Hrsg.): *SIGGRAPH 2001 - Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics (Los Angeles)*, 2001
- [Jaguar 2006] JAGUAR: *Produktinformation Jaguar XJ8*. Version: August 2006. <http://www.jaguar.de>, Abruf: 5.8.2006
- [JAMA 2004] JAMA ; JAPAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION (Hrsg.): *Guideline for In-vehicle Display Systems*. 2004. – Version 3.0
- [Jeitner u. a. 2005] JEITNER, Martin ; KÜCHLER, Wolfgang ; SCHAARE, Ronald: Weniger Schalter im Fahrzeuginterieur. In: *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift* 107 (2005), Nr. 9
- [Jenkins 1947] JENKINS, W. O. ; FITTS, P. M. (Hrsg.): The tactual discrimination of shapes for coding aircrafttype controls / US Air Force. 1947 (19). – Forschungsbericht. – Aviation Psychology Program

- [Johannsen 1993] JOHANNSEN, Gunnar: *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin : Springer, 1993. – ISBN 9-540-56152-8
- [Johnson u. a. 1989] JOHNSON, J. ; ROBERTS, T. ; VERPLANK, W. ; SMITH, D. ; IRBY, C. ; MACKEY, K.: The Xerox Star: A Retrospective. In: *IEEE Computer* 22 (1989), Nr. 9
- [Johnson-Laird 1983] JOHNSON-LAIRD, P.N.: *Mental Models*. Cambridge : Cambridge University Press, 1983. – ISBN 0-521-24123-5
- [Jürgens 1993] JÜRGENS, Hans W.: Anthropometrische Grundlagen der Arbeitsgestaltung. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. Neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 459–469. – ISBN 3-446-16440-5
- [Jürgensohn 2002] JÜRGENSOHN, Thomas: Bedienermodellierung. In: TIMPE, Klaus-Peter (Hrsg.) ; JÜRGENSOHN, Thomas (Hrsg.) ; KOLREP, Harald (Hrsg.): *Mensch Maschine Systemtechnik*. 2. Aufl. Düsseldorf : Symposium, 2002, S. 107–148. – ISBN 3-933814-83-9
- [Jungmann u. Schlaak 2002] JUNGSMANN, M. ; SCHLAAK, H.F.: Taktiles Display mit elektrostatischen Polymer-Aktoren. In: TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILLMENAU (Hrsg.): *47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (Ilmenau)*, 2002
- [Kleinath u. a. 2006] KLEINATH, Andreas ; BENGLER, Klaus-Josef ; ECKSTEIN, Lutz: Die Unterbrechbarkeit als eine Anforderung an Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug - Konstrukt und Implikation. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (GfA): Menschzentrierte Fahrzeugentwicklung und -produktion (Sindelfingen)*, 2006. – CD-ROM
- [Kuhn 2005] KUHN, Friedemann: *Lane Change Test - Eine Methode zur Bewertung der Ablenkungswirkung von Bedienhandlungen während des Autofahrens*. Version: November 2005. <http://www.worldusabilityday.de>, Abruf: 07.03.2006
- [Kuhn 2006] KUHN, Friedemann: Innovatives Bedien und Anzeigekonzept in einem Forschungsfahrzeug. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (GfA): Mensch zentrierte Fahrzeugentwicklung und -produktion (Sindelfingen)*, 2006. – CD-ROM
- [Lederman u. Klatzky 1987] LEDERMAN, S. J. ; KLATZKY, R. L.: Hand movements: A window into haptic object recognition. In: *Cognitive Psychology* 19 (1987), Nr. 3
- [Lederman u. Klatzky 1996] LEDERMAN, S. J. ; KLATZKY, R. L.: Action for perception: Manual exploratory movements for haptically processing objects and their features. In: WING, A. (Hrsg.) ; HAGGARD, P. (Hrsg.) ; FLANAGAN, R. (Hrsg.): *Hand and Brain: Neurophysiology and Psychology of Hand*. San Diego : Academic, 1996, Kapitel 21, S. 431–446

- [Lederman u. Klatzky 2002] LEDERMAN, S.J. ; KLATZKY, R. L.: Touch. In: WEINER, Irving B. (Hrsg.): *Handbook of Psychology: Experimental Psychology* Bd. 4. New York : John Wiley and Sons, 2002, Kapitel 6, S. 147–176. – ISBN 0-471-17669-9
- [Lexus 2006] LEXUS: *Produktinformation zum Lexus LS430*. Version: August 2006. <http://www.Lexus.de>, Abruf: 15.8.2006
- [Lomas u. a. 2003] LOMAS, S. M. ; BURNETT, G. E. ; PORTER, J. M. ; SUMMERSKILL, S. J.: The Use of Haptic Cues Within a Control Interface. In: STEPHANIDIS, C. (Hrsg.) ; JACKO, J. (Hrsg.): *Proceedings of HCI International conference, Vol. 3 (Human-Centred Computing) (Crete)*, 2003
- [Loomis u. Lederman 1986] LOOMIS, J. M. ; LEDERMAN, S. J.: Tactual perception. In: BOFF, K. R. (Hrsg.) ; KAUFMAN, L. (Hrsg.) ; THOMAS, J.P. (Hrsg.): *Handbook of Human Preception and Performance*. New York : John Wiley and Sons, 1986, S. 1–41
- [Mackensen 2006] MACKENSEN, Tanja: *Gestaltung und Evaluierung eines variablen Bedienelements für Fahrerinformationssysteme*, Universität Hildesheim, Unveröffentlichte Magisterarbeit, 2006
- [Maier 2003] MAIER, Thomas: Fahrzeug-Design der Zukunft: Trends und Innovationen. In: MAIER, Thomas (Hrsg.): *Fahrzeug-Design 3*. Stuttgart : IMK Universität Stuttgart, 2003 (IMK-Berichte 504), S. 175–193. – ISBN 3-922823-57-2
- [Marquardt 1997] MARQUARDT, Siegfried: *Ergonomie in der Kraftfahrzeugtechnik*. Weiden : Schuch, 1997. – ISBN 3-926-931-38-8
- [Mattes 2003] MATTES, Stefan: The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In: STRASSER, H. (Hrsg.) ; KLUTH, K. (Hrsg.) ; RAUSCH, H. (Hrsg.) ; BUBB, H. (Hrsg.): *Dokumentation des 49. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses: Qualität von Arbeit und Produkt in Unternehmen der Zukunft (München)*. Stuttgart : Ergonomia, 2003. – ISBN 3-935089-68-6
- [Mauter 2003] MAUTER, Gerhard: Das Multi Media Interface des neue Audi A8. In: MAIER, Thomas (Hrsg.): *Fahrzeug-Design 3*. Stuttgart : IMK Universität Stuttgart, 2003 (IMK Berichte 504), S. 129–138. – ISBN 3-922823-57-2
- [Mayer 1986] MAYER, Anton: *Untersuchung über den Einfluss eines aktiven Bedienelements auf die menschliche Regelungsleistung*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1986. – Diss.
- [Mücke 1999] MÜCKE, Stephan: *Ergonomische Gestaltung aktiver Stellteile*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1999 (Fortschrittberichte VDI: Reihe 8 Nr. 803). – Diss.
- [Meyer 2001] MEYER, Susanna: *Produkthaptik - Messung Gestaltung und Wirkung aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht*. Wiesbaden : Gabler, 2001. – Diss.
- [Michelitsch u. a. 2004] MICHELITSCH, G. ; WILLIAMS, M. ; OSEN, M. ; JIMENEZ, B. ; RAPP, S.: Haptic Chameleon: A New Concept of Shape-Changing User Interface Controls with Force

- Feedback. In: ACM (Hrsg.): *CHI 04' - Conference on Human Factors in Computing Systems (Vienna)*, 2004
- [Müller-Limmroth 1993] MÜLLER-LIMMROTH, Wolf: Sinnesorgane. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. Neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 27–46. – ISBN 3-446-16440-5
- [Muntzinger 1986] MUNTZINGER, Werner: *Ergonomische Gestaltung von Rotationsstellteilen*. Berlin : Springer, 1986 (IPA-IAO Forschung und Praxis 97). – Diss.
- [Neudörfer 1981] NEUDÖRFER, Alfred: *Anzeiger und Bedienteile. Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlung*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1981. – ISBN 3-18-400508-9
- [NKK Switches 2006] NKK SWITCHES: *The Smartswitch*. Version: Oktober 2006. <http://www.nkksmartswitch.com>, Abruf: 11.10.2006
- [Norman 1989] NORMAN, Donald A.: *Dinge des Alltags: gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände*. Frankfurt am Main : Campus, 1989
- [Pei-Shih 2003] PEI-SHIH, Huang: *Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften*, Technische Universität München, Diss., 2003
- [Penka 2001] PENKA, Andreas: *Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen*. München : Herbert Utz, 2001. – Diss.
- [Petrov 2004] PETROV, Aleko: *Konzeption von aktiven Bedienelementen in statischer oder dynamischer Sitzhaltung unter Beachtung von konstruktiven, ergonomischen und informatorischen Aspekten*, Universität Stuttgart, Diplomarbeit, 2004. – unveröffentlicht
- [Pinel 1997] PINEL, John P.: *Biopsychology*. 3rd Ed. Needham Heights : Allyn and Bacon, 1997
- [Porter u. a. 2005] PORTER, J. M. ; SUMMERSKILL, S. ; K. PRYNNE, G. B.: BIONIC - 'eyes-free' design of secondary driving controls. In: *Proceedings of Accessible Design in the Digital World Conference (Dundee)*, 2005
- [Preim 1999] PREIM, Bernhard: *Entwicklung interaktiver Systeme*. Heidelberg : Springer, 1999
- [Procter u. Procter 1997] PROCTER, Robert W. ; PROCTER, Janet D.: Sensation and Perception. In: SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons, 1997, S. 43–88. – ISBN 0-471-11690-4
- [Rasmussen 1983] RASMUSSEN, J.: Skills, Rules and Knowledge: Signals, Signs and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models. In: IEEE COMPUTER SOCIETY (Hrsg.): *Proceedings of IEEE - Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC Bd. 13, 1983

- [Rasmussen 1986] RASMUSSEN, J.: *Information Processing and Human-Machine-Interaction*. New York : North-Holland, 1986
- [Rassl 2004] RASSL, Robert: *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw - Systemergonomische Analyse und Prognose*, Technische Universität München, Diss., 2004
- [Regan 1997] REGAN, David: Perceptual Motor Skills and Human Motion Analysis. In: SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons, 1997, S. 174–218. – ISBN 0-471-11690-4
- [Reisinger 2006] REISINGER, J.: Haptik von Bedienelementen. In: *Ergonomie aktuell* 7 (2006), S. 39ff
- [Reisinger u. a. 2005] REISINGER, J. ; WILD, J. ; MAUTER, G. ; BUBB, H.: Mechatronic Tools in haptic research for automotive applications. In: RESEARCH AND EDUCATION IN MECHATRONICS (REM) (Hrsg.): *Proceedings of REM2005 (Annecy)*, 2005
- [Rühmann 1993a] RÜHMANN, Heinzpeter: Schnittstellen in Mensch-Maschine-Systemen. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. Neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 420–446. – ISBN 3-446-16440-5
- [Rühmann 1993b] RÜHMANN, Heinzpeter: Stellteilgestaltung. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. Neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 554–563. – ISBN 3-446-16440-5
- [Rydström u. a. 2005] RYDSTRÖM, A. ; BENGTTSSON, P. ; GRANE, C. ; BROSTRÖM, R. ; AGARDH, J. ; NILSSON, J.: Multifunctional systems in vehicles: a usability evaluation. In: THATCHER, A. (Hrsg.) ; JAMES, J. (Hrsg.) ; TODD, A. (Hrsg.): *Proceedings of CybErg 2005. The Fourth International Cyberspace Conference on Ergonomics (Johannesburg)*. Johannesburg : International Ergonomics Association Press, 2005
- [Salvendy 1997] SALVENDY, Gavriel: *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons, 1997. – ISBN 0-471-11690-4
- [Schattenberg 2002] SCHATTENBERG, Kay: *Fahrzeugführung und gleichzeitige Nutzung von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen*, Rheinsch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Diss., 2002
- [Schlaak u. a. 2006] SCHLAAK, H.F. ; LOTZ, P. ; MATYSEK, M.: Muskeln unter Hochspannung - Antriebe mit elektroaktiven Polymeren. In: *thema FORSCHUNG* (2006), Nr. 2
- [Schlingensiepen 2007] SCHLINGENSIEPEN, Jürgen: *TIM - Der Blindenmonitor*. Version: Januar 2007. <http://tim.uni-wuppertal.de>, Abruf: 26.3.2007

- [Schmauder 1996] SCHMAUDER, Martin: *Händigkeitsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle*. Berlin : Springer, 1996 (IPA-IAO Forschung und Praxis 237). – Diss.
- [Schmidtke 1993] SCHMIDTKE, Heinz: *Ergonomie*. 3. neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993. – ISBN 3-446-16440-5
- [Schmidtke u. Rühmann 1993] SCHMIDTKE, Heinz ; RÜHMANN, Heinzpeter: Betriebsmittelgestaltung. In: SCHMIDTKE, Heinz (Hrsg.): *Ergonomie*. 3. neubearb. u. erw. Aufl. München : Hanser, 1993, S. 521–554. – ISBN 3-446-16440-5
- [Schmitz u. Hofmann 2001] SCHMITZ, H. ; HOFMANN, S.: Ein Knopf für alle Fälle: Haptisches Bediensystem setzt der Knopfflut im Kfz ein Ende. In: *Elektronikpraxis* (2001), Nr. 23
- [Seeger 2001] SEEGER, Hartmut: *Design neuer Technischer Produkte, Programme und Systeme*. Version: 2001. <http://www.imk.uni-stuttgart.de>, Abruf: 20.01.2004
- [Seeger 2005] SEEGER, Hartmut: *Design technischer Produkte, Produktprogramme und -systeme*. Berlin : Springer, 2005. – ISBN 3-5402-3653-8
- [Sendler u. Schmauder 2006] SENDLER, J. ; SCHMAUDER, M.: Gestaltung variabler Beschriftung von Tasten. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Dokumentation des 52. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses: Innovationen für Arbeit und Organisation (Stuttgart)*. Dortmund : GfA-Press, 2006. – ISBN 3-936804-03-6
- [Smalley 2004] SMALLEY, Eric ; TRN - TECHNOLOGY RESEARCH NEWS (Hrsg.): *Shape-shifting remakes interfaces*. Version: Mai 2004. <http://www.trnmag.com>, Abruf: 22.06.2004
- [Spanner 1993] SPANNER, Birgit: *Einfluß der Kompatibilität von Stellteilen auf die menschliche Zuverlässigkeit*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1993 (VDI-Fortschrittsberichte Reihe 17 89). – Diss.
- [Tille u. Krüger 2004] TILLE, Ralph ; KRÜGER, Karen: 3D Anzeige und Bedienung im Fahrzeug. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Dokumentation der GfA Herbstkonferenz: Ergonomie und Design (Essen)*. Stuttgart : Ergonomia, 2004. – ISBN 3-935089-80-5
- [Timpe 1990] TIMPE, K.-P.: Informationsdarstellungen in Mensch-Maschine-Systemen. In: HOYOS, Graf C. (Hrsg.) ; ZIMOLONG, B. (Hrsg.): *Ingenieurpsychologie*. Göttingen : Hogrefe, 1990, S. 178 –203
- [Timpe 2001] TIMPE, Klaus-Peter: Fahrzeugführung: Anmerkungen zum Thema. In: JÜRGENSOHN, Thomas (Hrsg.) ; TIMPE, Klaus-Peter (Hrsg.): *Kraftfahrzeugführung*. Berlin : Springer, 2001, S. 9–31. – ISBN 3-540-42012-6
- [VDI2221 1993] Norm VDI 2221 Mai 1993. *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*

- [VDI2222-1 1997] Norm VDI 2221 Blatt 1 Juni 1997. *Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*
- [VDI2242 1986] Norm VDI 2242 April 1986. *Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse*
- [VDI2258 2001] Norm VDI 2258 Januar 2001. *Feinwerkelemente: Bedienelemente mechanisch*
- [VDI3850-1 2000] Norm VDI 3850 Blatt 1 Mai 2000. *Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen*
- [VDI3850-2 2002] Norm VDI 3850 Blatt 2 November 2002. *Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen: Interaktionsgeräte für Bildschirme*
- [Vogel 2001] VOGEL, Jochen: *Untersuchung über die Sinnfälligkeit von rotatorischer Stellteilbewegung und translatorischer Wirkung am Beispiel der manuellen Steuerung von Drehmaschinen*. Stuttgart : IMK Universität Stuttgart, 2001 (IMK Berichte 484). – Diss.
- [Vogel 2003] VOGEL, Jochen: User Interface Design im Kfz. In: MAIER, Thomas (Hrsg.): *Fahrzeug-Design 3*. Stuttgart : IMK Universität Stuttgart, 2003 (IMK-Berichte 504), S. 57–69. – ISBN 3-922823-57-2
- [Vogel 2006] VOGEL, Jochen: User Interface Design im Kfz. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN (GfA) (Hrsg.): *Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (GfA): Mensch zentrierte Fahrzeugentwicklung und -produktion (Sindelfingen)*, 2006. – CD-ROM
- [Volkswagen AG 2006] VOLKSWAGEN AG: *Produktinformation zum VW Phaeton*. Version: September 2006. <http://www.vw.de>, Abruf: 19.9.2006
- [Wagner u. a. 2002] WAGNER, Christopher R. ; LEDERMAN, Susan J. ; HOWE, Robert D.: A Tactile Shape Display Using RC Servomotors. In: *Tenth Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2002
- [Wickens u. Carswell 1997] WICKENS, Christopher D. ; CARSWELL, C. M. ; SALVENDY, Gavriel (Hrsg.): *Information Processing*. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons, 1997. – ISBN 0-471-11690-4
- [Wüst 2005] WÜST, Christian: Irrfahrt durchs Untermenü. In: *Der Spiegel* (2005), Nr. 12, S. 151
- [Yang u. a. 2003] YANG, S. ; TAN, H.Z. ; BUTTOLO, P. ; JOHNSTON, M. ; PIZLO, Z.: Thresholds for Dynamic Changes in a Rotary Switch. In: OAKLEY, I. (Hrsg.) ; O'MODHRAIN (Hrsg.) ; S. (Hrsg.) ; NEWELL, F. (Hrsg.): *Proceedings of EuroHaptics 2003 Conference (Dublin)*, 2003
- [Zeilinger 2005] ZEILINGER, Simon: *Aktive haptische Bedienelemente zur Interaktion mit Fahrerinformationssystemen*, Universität der Bundeswehr München, Diss., 2005

- [Zühlke 2000] ZÜHLKE, D.: Neue Wege zu ergonomischen Bediensystemen. In: ZÜHLKE, D. (Hrsg.): *Mensch-Maschine-Interaktion in komplexen technischen Systemen - neue Wege zu ergonomischen Bediensystemen (Kaiserslautern)*. Kaiserslautern : pak, 2000
- [Zühlke 2004] ZÜHLKE, Detlef: *Ueware Engineering für technische Systeme*. Berlin : Springer, 2004. – ISBN 3-540-20647-7
- [Zimbardo u. Gerrig 1999] ZIMBARDO, Philip G. ; GERRIG, Richard J.: *Psychologie*. 7. Aufl. Berlin : Springer, 1999
- [Zimmermann 2000] ZIMMERMANN, M.: Das somatoviszzerale sensorische System. In: SCHMIDT, R.F. (Hrsg.) ; THEWS, G. (Hrsg.) ; LANG, F. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 28. korr. u. aktual. Aufl. Berlin : Springer, 2000, S. 216–235. – ISBN 3-540-66733-4

9 Tabellenverzeichnis

2.1	Rezeptoren, Reize und Empfindungen der haptischen Wahrnehmung	12
2.2	Normen für die Entwicklung von Bedienelementen	28
3.1	Normen für Bedien- und Anzeigesysteme	38
4.1	Kennzeichnung (Codierung) der Bedienbarkeit von Tasten	60
4.2	Zustandscodierung und Wirkungscodierung bei der Beschriftung von Tasten	60
4.3	Versuchsdesign zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	61
4.4	Stichprobe zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	62
5.1	Abgleich der Anforderungen der Bedienaufgaben "Drehen" und "Schieben"	80
5.2	Morphologischer Kasten zur Auswahl eines Technologiekonzepts	81
5.3	Versuchsdesign zur Untersuchung von Handauflage, Modus und Form	86
5.4	Versuchsdesign zur Untersuchung von globaler Form und Fase	87
5.5	Versuchsdesign zur Untersuchung von globaler Form und Rändel	87
5.6	Stichprobe zur Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität	87
5.7	Formen für die Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität	88
6.1	Versuchsdesign zur Bewertung der haptischen und visuellen Kompatibilität	102
6.2	Versuchsdesign zur Bewertung der Ablenkung und Bedienbarkeit	104
6.3	Versuchsbedingungen bei der Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	104
6.4	Stichprobe für die Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	104
6.5	Kriterien zur Auswahl einer Form für das statische Bedienelement	106
6.6	Screeotypen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	109
6.6	Screeotypen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	110
6.7	Bedienaufgaben zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	110
6.8	Ablauf der Bedienaufgabe "Anruf durch Nummernwahl"	111
A.1	Versuchsaufgaben zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	154
A.2	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeit	161
A.3	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeit	161
A.4	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit	161
A.5	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit	161
A.6	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der mittleren Spurbabweichung	161
A.7	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. des subjektiven Gefallens	162

A.8	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. des subjektiven Gefallens	162
B.1	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der bevorzugten Bedienhandlung . . .	173
B.2	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Drehen	173
B.3	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Schieben (vo./hi.) . . .	173
B.4	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Schieben (li./re.)	173
B.5	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen für globale Form und Fase	174
B.6	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen für globale Form und Rändel	174
C.1	Ablauf der Bedienaufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"	176
C.1	Ablauf der Bedienaufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"	177
C.1	Ablauf der Bedienaufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"	178
C.2	Ablauf der Bedienaufgabe "Zieleingabe über Karte"	179
C.3	Ablauf der Bedienaufgabe "Anruf aus Telefonbuch"	180
C.4	Ablauf der Bedienaufgabe "Auswahl eines Radiosenders aus der Senderliste"	181
C.5	Ablauf der Bedienaufgabe "Temperatureinstellung"	182
C.6	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der Kompatibilitätsfehler	187
C.7	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der Kompatibilitätsfehler	187
C.8	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeit . .	187
C.9	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeit	188
C.10	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit	188
C.11	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit . .	188
C.12	Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der mittleren Spurbabweichung	188
C.13	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der mittleren Spurbabweichung . .	189
C.14	Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. des subjektives Gefallens	189

10 Abbildungsverzeichnis

1.1	Historische Entwicklung der Bediensysteme im Pkw	2
1.2	Softkey-Bedien- und Anzeigesystem im VW Phaeton	3
1.3	Touchscreen im Lexus LS430	3
1.4	Abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem der Mercedes-Benz S-Klasse	3
1.5	Abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem der BMW 7er-Serie	3
1.6	Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit	6
2.1	Mensch-Maschine-Regelkreis	7
2.2	Menschliche Informationsverarbeitung (Kognition) nach Wickens u. Carswell (1997)	9
2.3	Haptische Wahrnehmung	11
2.4	Rezeptoren der taktilen Wahrnehmung	12
2.5	Rezeptoren der kinästhetischen Wahrnehmung	12
2.6	Haptische Explorationszyklen	13
2.7	Modell der Handlungsregulation	14
2.8	Gestaltgesetze	16
2.9	Taktiler Display "TIM"	17
2.10	Taktiler Display für die Telemanipulation	17
2.11	Wichtige Gestaltungsparameter eines Bedienelements	20
2.12	Systematik der Greifarten	22
2.13	Mapping und Kompatibilität im Mensch-Maschine-Regelkreis	25
2.14	Formen, die durch bloße Berührung unterschieden werden können	27
2.15	Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bedienelements für eine Bedienaufgabe	31
2.16	Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bedienelements für zwei Bedienaufgaben	33
3.1	Innenansicht der Mercedes-Benz S-Klasse (BR221)	35
3.2	Hierarchische Mehrebenenstruktur des Fahrer-Fahrzeug-Systems	37
3.3	Touchscreen im Lexus LS430	41
3.4	Touchscreen im Jaguar XJ8	41
3.5	Schalterbasiertes vs. abgesetztes Bedien- und Anzeigesystem	42
3.6	Zentrales Bedienelement der Mercedes-Benz S-Klasse	43
3.7	Zentrales Bedienelement der BMW 7er Baureihe	43
3.8	Zentrales Bedienelement des Audi A8	44
3.9	Zentrales Bedienelement des Acura RL	44
3.10	Bedienmöglichkeiten von zentralen Bedienelementen	45

3.11 Mercedes-Benz Sitzverstellungsschalter	47
3.12 Audi "Multimedia Interface (MMI)"	47
3.13 Formen zur Codierung der Bedienung Ziehen	48
3.14 Formen zur Codierung von vier bzw. acht Richtungen	48
3.15 Grundidee des "Haptic Chameleon"	49
3.16 Prototyp des "Haptic Chameleon"	49
3.17 Bedien- und Anzeigesystem "BIONIC"	50
3.18 Displaytaste	51
3.19 Tastenblock mit variabler Beschriftung	51
3.20 Konzept eines variablen Tastenfeldes	52
3.21 Variables Tastenfeld als Universalfernbedienung	52
3.22 Methoden zur Bewertung von Fahrzeugbediensysteme und Ablenkungsmessung	54
3.23 Visuell-Analog-Skala zur Bewertung des subjektiven Gefallens	55
3.24 Fahrsimulation des Lane-Change-Tests	56
3.25 Analysetool des Lane-Change-Tests	56
4.1 Untersuchte Gestaltungsparameter bei variabler Beschriftung	59
4.2 Versuchsaufbau zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	63
4.3 Simulation variabel beschrifteter Tasten auf dem Touchscreen	64
4.4 Versuchsablauf zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten	65
4.5 Bedienzeit in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung	67
4.6 Bedienzeit in Abhängigkeit von System und Codierung	67
4.7 Bedienzeit in Abhängigkeit von Adaption und Codierung	68
4.8 Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung	69
4.9 Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von System und Codierung	70
4.10 Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Adaption und Codierung	71
4.11 Ablenkung bei Baselines und Versuchsfahrten	71
4.12 Ablenkung in Abhängigkeit von Codierung und Adaption	72
4.13 Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Adaption, System und Codierung	73
4.14 Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von System und Codierung	73
4.15 Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Adaption, Codierung und System	74
5.1 Zentrales Bedienelement, das eine zur Anzeige kompatible Form annimmt	77
5.2 Vorgehensweise zur Entwicklung eines Bedienelements für Drehen und Schieben	79
5.3 Technologiekonzept eines zentralen Bedienelements mit variabler Formcodierung	82
5.4 Auswahl eines Bedienelements zum "Drehen" anhand eines Lösungskatalogs	83
5.5 Verbreitung und Nutzungshäufigkeit technischer Geräte	84
5.6 Untersuchte Gestaltungsparameter zur Reiz-Reaktions-Kompatibilität	85
5.7 Formen zur Untersuchung der haptischen Reiz-Reaktions-Kompatibilität	88
5.8 Sitzkiste zur Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität	88

5.9	Handauflage zur Untersuchung des Einflusses der Greifart auf die Bewertungen	89
5.10	Visuell-Analog-Skala zur Bewertung der Formen	89
5.11	Versuchsablauf bei der Untersuchung der Reiz-Reaktions-Kompatibilität	90
5.12	Bevorzugte Bedienhandlung für die Formen nach Tabelle 5.7	91
5.13	Eignung der Formen nach Tabelle 5.7 für Drehen und Schieben	91
5.14	Eignung für Schieben abhängig von Handauflage und Wahrnehmungsmodus	92
5.15	Bevorzugte Bedienhandlung in Abhängigkeit von globaler Form und Fase	93
5.16	Eignung der Formen in Abhängigkeit von globaler Form und Fase	93
5.17	Bevorzugte Bedienhandlung in Abhängigkeit von globaler Form und Rändel	94
5.18	Eignungen der Formen in Abhängigkeit von globaler Form und Rändel	95
5.19	Einordnung der Formen nach Tabelle 5.7 zwischen Drehen und Schieben	96
5.20	Ausgewählte Form für die Bedienaufgabe "Schieben"	97
5.21	Ausgewählte Form für die Bedienaufgabe "Drehen"	97
5.22	Grundformen des variablen zentralen Bedienelements	98
5.23	Mechanische Steuerung der Lamellen über Steuerkreuz und Schrittmotor	98
5.24	Ausrichtung des variablen zentralen Bedienelements	99
5.25	Das variable zentrale Bedienelement	99
6.1	Untersuchte Gestaltungsparameter des variablen zentralen Bedienelements	101
6.2	Abgrenzung der Faktoren Screentyp und Bedienaufgabe	103
6.3	Versuchsaufbau zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	105
6.4	Statisches und variables zentrales Bedienelement	106
6.5	Faktor Ausrichtung	107
6.6	Faktor Verbindungslinien	107
6.7	Faktor Repräsentativer Aufgabentyp	107
6.8	Versuchsablauf zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements	112
6.9	Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign	113
6.10	Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit des Screentyps	114
6.11	Kompatibilitätsfehler in Abhängigkeit von Bedienelement, Screendesign und -typ	115
6.12	Bedienzeit in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign	116
6.13	Bedienzeit in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe	117
6.14	Bedienzeit in Abhängigkeit von Screendesign, Bedienelement und -aufgabe	117
6.15	Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign	118
6.16	Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe	119
6.17	Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von Screendesign, Bedienelement und -aufgabe	119
6.18	Ablenkung in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign	120
6.19	Ablenkung in Abhängigkeit von der Bedienaufgabe	121
6.20	Ablenkung in Abhängigkeit von Bedienaufgabe, Bedienelement und Screendesign	122
6.21	Subjektives Gefallen in Abhängigkeit von Bedienelement und Screendesign	123
6.22	Subjektives Empfinden der Anpassung des Bedienelements an die Bedienaufgabe	124

A.1	Statische, zustandscodierte Tasten	155
A.2	Statische, wirkungscodierte Tasten	155
A.3	Ausgeblendete, zustandscodierte Tasten	156
A.4	Ausgeblendete, wirkungscodierte Tasten	156
A.5	Reduzierte, zustandscodierte Tasten	157
A.6	Reduzierte, wirkungscodierte Tasten	157
B.1	Auswahlformular nach DIN-EN894-3 (2000) für Bedienungsaufgabe "Drehen"	164
B.2	Auswahlformular nach DIN-EN894-3 (2000) für Bedienungsaufgabe "Schieben"	165
B.3	Form BE1 (rund)	166
B.4	Form BE2 (rund, kleine Fase)	166
B.5	Form BE3 (rund, große Fase)	166
B.6	Form BE4 (rund, leichter Rändel)	166
B.7	Form BE5 (rund, starker Rändel)	167
B.8	Form BE6 (quaderförmig)	167
B.9	Form BE7 (quaderförmig, kleine Fase)	167
B.10	Form BE8 (quaderförmig, große Fase)	167
B.11	Form BE9 (quaderf., leichter Rändel)	168
B.12	Form BE10 (quaderf., großer Rändel)	168
B.13	Form BE11 (rund, konvex)	168
B.14	Form BE12 (maus-ähnlich)	168
B.15	Form BE13 (quaderförmig, abgerundet)	169
B.16	Form BE14 (rund, konkav)	169

A Anhang

A.1 Versuchsaufgaben zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

Tabelle A.1: Versuchsaufgaben zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

Nr	Aufgabe	Bediensystem
1	Fahren Sie das Heckrollo aus.	Oberes Bedienfeld
2	Fahren Sie das Heckrollo ein.	Oberes Bedienfeld
3	Schalten sie das ABC-Fahrwerk auf Sport.	Oberes Bedienfeld
4	Schalten Sie das ABC-Fahrwerk auf Komfort.	Oberes Bedienfeld
5	Heben Sie das Fahrzeugniveau an.	Oberes Bedienfeld
6	Senken Sie das Fahrzeugniveau ab.	Oberes Bedienfeld
7	Schalten Sie ESP ein.	Oberes Bedienfeld
8	Schalten Sie ESP aus.	Oberes Bedienfeld
9	Klappen Sie die hinteren Kopfstützen weg.	Oberes Bedienfeld
10	Klappen Sie die hinteren Kopfstützen hoch.	Oberes Bedienfeld
11	Verriegeln Sie die Türen.	Oberes Bedienfeld
12	Entriegeln Sie die Türen.	Oberes Bedienfeld
13	Verriegeln Sie die Türen.	Oberes Bedienfeld
14	Entriegeln Sie die Türen.	Oberes Bedienfeld
15	Stellen Sie die Temperatur auf der Fahrerseite auf maximal.	Klimaanlage
16	Stellen Sie die Temperatur auf der Fahrerseite auf minimal.	Klimaanlage
17	Stellen Sie die Luftverteilung auf der Fahrerseite auf den Kopfbereich.	Klimaanlage
18	Stellen Sie die Luftverteilung auf der Fahrerseite auf den Fußbereich.	Klimaanlage
19	Stellen Sie die Luftverteilung auf der Fahrerseite auf den Kopfbereich.	Klimaanlage
20	Erhöhen Sie die Gebläsestärke um eine Stufe.	Klimaanlage
21	Verringern Sie die Gebläsestärke um eine Stufe.	Klimaanlage
22	Erhöhen Sie die Gebläsestärke um eine Stufe.	Klimaanlage
23	Verringern Sie die Gebläsestärke um eine Stufe.	Klimaanlage
25	Schalten Sie Frischluft ein.	Klimaanlage
25	Schalten Sie Umluft ein.	Klimaanlage
26	Schalten Sie die Kühlung ein.	Klimaanlage
27	Schalten Sie die Kühlung aus.	Klimaanlage
28	Erhöhen Sie die Temperatur auf der Fahrerseite auf maximal.	Klimaanlage
29	Stellen Sie die Temperatur der Fahrerseite auf minimal.	Klimaanlage

A.2 Versuchsbedingungen zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten



Abbildung A.1: Statische, zustandscodierte Tasten



Abbildung A.2: Statische, wirkungscodierte Tasten



Abbildung A.3: Ausgeblendete, zustandsodierte Tasten



Abbildung A.4: Ausgeblendete, wirkungscodierte Tasten



Abbildung A.5: Reduzierte, zustandscodierte Tasten



Abbildung A.6: Reduzierte, wirkungscodierte Tasten

A.3 Fragebogen zur Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen -	VP-Nr.:	Datum:
------------------------------	----------------	---------	--------

1 Zu Ihrer Person

1.1 Ich bin _____ Jahre alt.

1.2 Ich bin...

weiblich	männlich
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.3 Wie viel Erfahrung haben Sie mit der Bedienung folgender Funktionen in Mercedes-Benz Pkw?

	Sehr viel	Eher viel	Teils/teils	Eher wenig	Gar keine
Thermotronic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parktronic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abschleppschutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autom. abklappbare Kopfstützen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heckrollo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zentralverriegelung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innenraumschutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ABC-Fahrwerk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niveauregulierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen -	VP-Nr.:	Datum:
------------------------------	----------------	---------	--------

2 Abschließende Bewertung

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zum Abschluss der Untersuchung interessiert uns, wie Ihnen die sechs Varianten gefallen haben, die sie eben bedient haben. Dabei geht es um einen Vergleich der sechs Varianten hinsichtlich ihres Erscheinungsbildes und dem Verhalten der Tasten. Bewerten Sie nicht die Eigenschaften des Touchscreens!

Bitte geben Sie für jede Variante an, wie gut sie Ihnen gefallen hat. Hierfür steht Ihnen eine Skala mit den Polen "gar nicht gefallen" und "sehr gut gefallen" zur Verfügung. Bitte markieren Sie jede Variante durch ein Kreuz. Bitte verwenden Sie für je Variante folgende Farben:

rot für das LED Szenario
 blau für das LED Szenario mit ausgeblendeten Symbolen
 grün für das LED Szenario mit verschwindenden Tasten
 braun für das variabel beschriftete Szenario
 gelb für das variabel beschriftete Szenario mit ausgeblendeten Symbolen
 schwarz (Bleistift) für das variabel beschriftete Szenario mit verschwindenden Tasten.

Falls Sie weitere Fragen haben oder Ihnen etwas unklar ist, wenden Sie sich bitte an Ihren Versuchsleiter.

2.1 Für die **Schalterleiste (oben)** hat mir die Variante...

gar nicht gefallen |—————| sehr gut gefallen

2.2 Für die **Klimaanlage (unten)** hat mir die Variante...

gar nicht gefallen |—————| sehr gut gefallen

A.4 Ergebnisse der Untersuchung variabler Beschriftung von Tasten

Tabelle A.2: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeiten pro Aufgabe

Adaption (A)		Codierung (C)		System (S)	
F	p	F	p	F	p
11,166	<0,001*	30,833	<0,001*	290,192	<0,001*
AxC		CxS		SxA	
F	p	F	p	F	p
4,141	0,023*	66,950	<0,001*	15,101	<0,001*

Tabelle A.3: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeiten pro Aufgabe

Bediensystem	Adaption (A)		Codierung (C)		AxC	
	F	p	F	p	F	p
oberes Bedienfeld	2,112	0,134	5,889	0,024*	0,013	0,987
Klimaanlage	13,716	<0,001*	52,710	<0,001*	6,605	0,003*

Tabelle A.4: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit

Adaption (A)		Codierung (C)		System (S)	
F	p	F	p	F	p
108,976	<0,001*	22,075	<0,001*	180,920	<0,001*
AxC		CxS		SxA	
F	p	F	p	F	p
3,275	0,053	49,460	<0,001*	83,077	<0,001*

Tabelle A.5: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit

Bediensystem	Adaption (A)		Codierung (C)		AxC	
	F	p	F	p	F	p
oberes Bedienfeld	3,316	0,046*	6,407	0,019*	1,111	0,339
Klimaanlage	103,211	<0,001*	38,954	<0,001*	4,829	0,013*

Tabelle A.6: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der mittleren Spurbewegung

Adaption (A)		Codierung (C)		AxC	
F	p	F	p	F	p
3,456	0,054	11,410	0,003	0,352	0,705

Tabelle A.7: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. des subjektiven Gefallens

Adaption (A)		Codierung (C)		System (S)	
F	p	F	p	F	p
9,245	<0,001*	2,650	0,118	3,843	0,063
AxC		CxS		SxA	
F	p	F	p	F	p
0,020	0,980	1,019	0,324	16,713	<0,001*

Tabelle A.8: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. des subjektiven Gefallens

Bediensystem	Adaption (A)		Codierung (C)		AxC	
	F	p	F	p	F	p
oberes Bedienfeld	2,500	0,111	0,979	0,334	0,281	0,655
Klimaanlage	15,790	<0,001*	4,422	0,048	0,165	0,849

B Anhang

B.1 Beschreibung der Anforderungen für Drehen und Schieben

Beschreibung der Angaben	Abschnitt	Anforderungsgrad (Klassifizierung)					Bemerkungen	
		0	1	2	3	4		
		○	◐	◑	◒	◓		
Allgemeine aufgabenbezogene Anforderungen	5.2							
a) Genauigkeit	5.2.1			x				
b) Geschwindigkeit	5.2.2			x				
c) Stellkraft	5.2.3	x						
Spezifische aufgabenbezogene Anforderungen	5.3							
d) Sichtkontrolle	5.3.1	x						
e) Tastkontrolle	5.3.2					x	Kompatibilität zu Drehen	
f) Unbeabsichtigtes Stellen	5.3.3			x				
g) Reibung	5.3.4	x						
h) Stellen mit Handschuhen	5.3.5	x						
i) Reinigungsmöglichkeit	5.3.6	x						
Bewegungsmerkmale	5.4							
j) Bewegungsart	5.4.1	Translatorisch			Rotatorisch			
k) Bewegungsachse	5.4.2	x	y	z	x	y	<u>z</u>	
l) Bewegungsrichtung	5.4.3	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	<u>+/-</u>	
m) Kontinuität der Bewegung	5.4.4	<u>Kontinuierlich</u>			Diskret			
n) Drehwinkel für kontinuierliche Drehbewegungen >180°	5.4.5	<u>Ja</u>			Nein			
Greifmerkmale	5.5							
o) Greifart (siehe Bild 4)	5.5.1	Kontakt	<u>Zufassung</u>	Umfassung				
p) Teil der Hand, der die Stellkraft aufbringt	5.5.2	<u>Finger</u>			Hand			
q) Art der Stellkraftaufbringung	5.5.3	Senkrecht			<u>Tangential</u>			

Abbildung B.1: Auswahlformular nach DIN-EN894-3 (2000) für Bedienaufgabe "Drehen"

Beschreibung der Angaben	Abschnitt	Anforderungsgrad (Klassifizierung)					Bemerkungen
		0	1	2	3	4	
		○	◐	◑	◒	◓	
Allgemeine aufgabenbezogene Anforderungen	5.2						
a) Genauigkeit	5.2.1			x			
b) Geschwindigkeit	5.2.2	x					
c) Stellkraft	5.2.3	x					
Spezifische aufgabenbezogene Anforderungen	5.3						
d) Sichtkontrolle	5.3.1	x					
e) Tastkontrolle	5.3.2					x	Kompatibilität zu Schieben
f) Unbeabsichtigtes Stellen	5.3.3			x			
g) Reibung	5.3.4	x					
h) Stellen mit Handschuhen	5.3.5	x					
i) Reinigungsmöglichkeit	5.3.6	x					
Bewegungsmerkmale	5.4						
j) Bewegungsart	5.4.1	<u>Translatorisch</u>			<u>Rotatorisch</u>		
k) Bewegungsachse	5.4.2	<u>x</u>	<u>y</u>	z	x	y	z
l) Bewegungsrichtung	5.4.3	<u>+/-</u>	<u>+/-</u>	+/-	+/-	+/-	+/-
m) Kontinuität der Bewegung	5.4.4	<u>Kontinuierlich</u>			<u>Diskret</u>		
n) Drehwinkel für kontinuierliche Drehbewegungen >180°	5.4.5	Ja			Nein		
Greifmerkmale	5.5						
o) Greifart (siehe Bild 4)	5.5.1	Kontakt	<u>Zufassung</u>	<u>Umfassung</u>			
p) Teil der Hand, der die Stellkraft aufbringt	5.5.2	<u>Finger</u>		Hand			
q) Art der Stellkraftaufbringung	5.5.3	<u>Senkrecht</u>		Tangential			

Abbildung B.2: Auswahlformular nach DIN-EN894-3 (2000) für Bedienaufgabe "Schieben"

B.2 Formen zur Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen

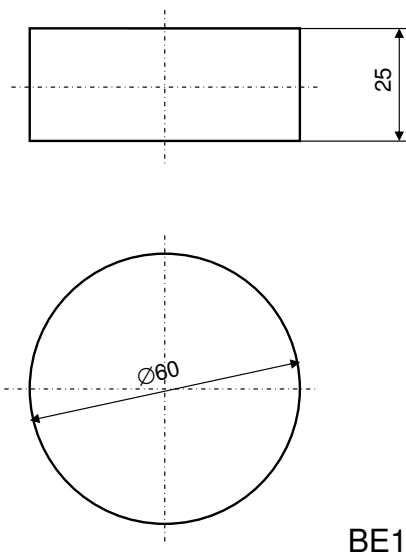


Abbildung B.3: Form BE1 (rund)

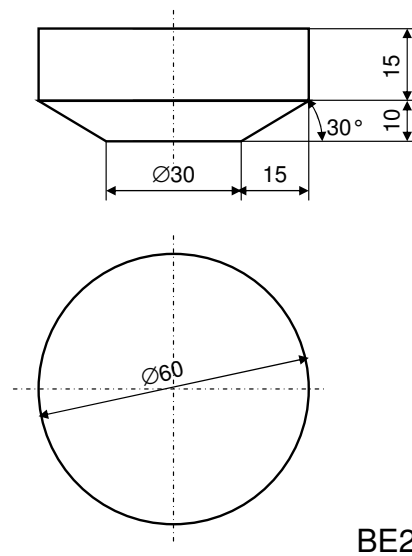


Abbildung B.4: Form BE2 (rund, kleine Fase)

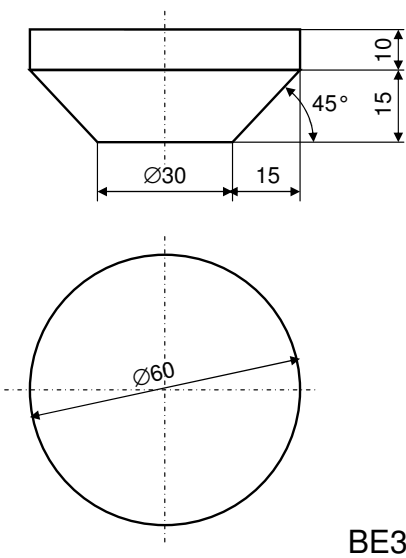


Abbildung B.5: Form BE3 (rund, große Fase)

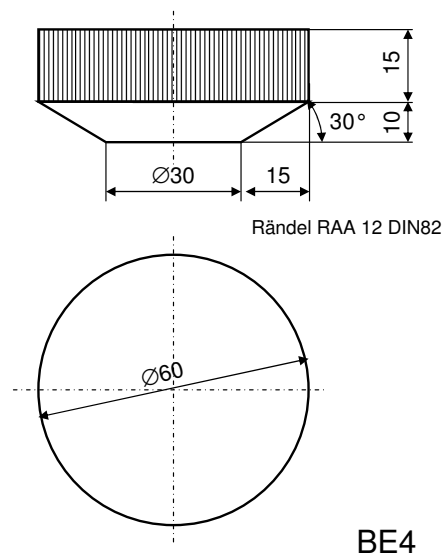


Abbildung B.6: Form BE4 (rund, leichter Rändel)

Rändel RAA 12 DIN82

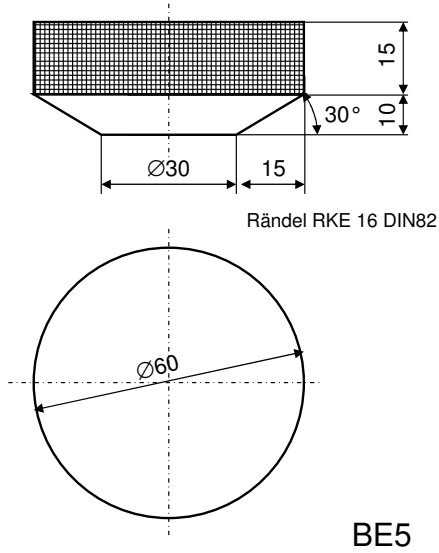


Abbildung B.7: Form BE5 (rund, starker Rändel)

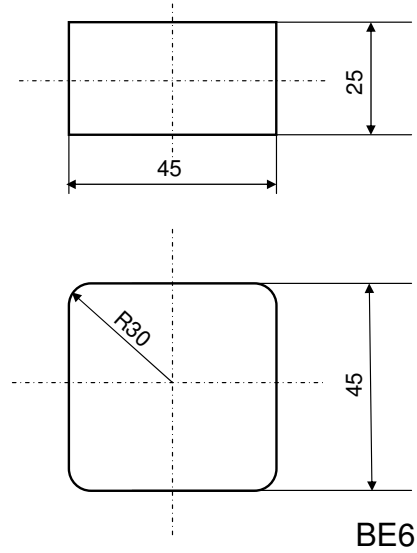


Abbildung B.8: Form BE6 (quaderförmig)

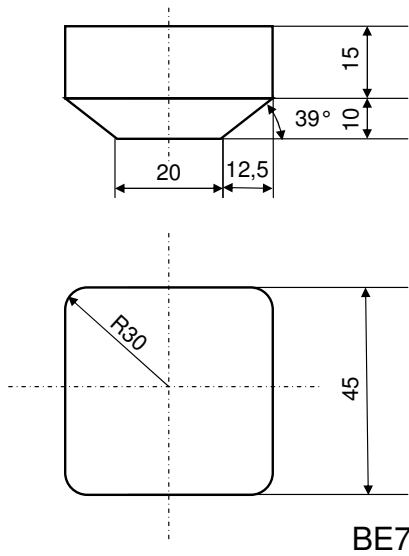


Abbildung B.9: Form BE7 (quaderförmig, kleine Fase)

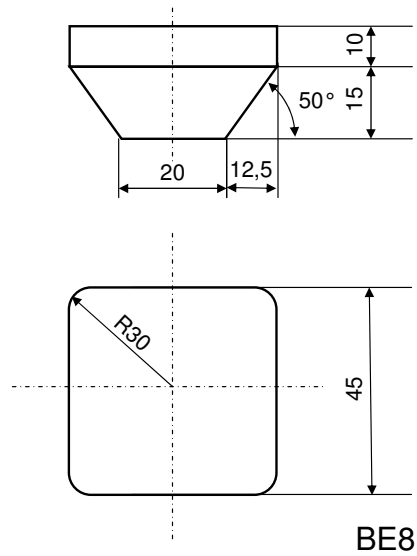


Abbildung B.10: Form BE8 (quaderförmig, große Fase)

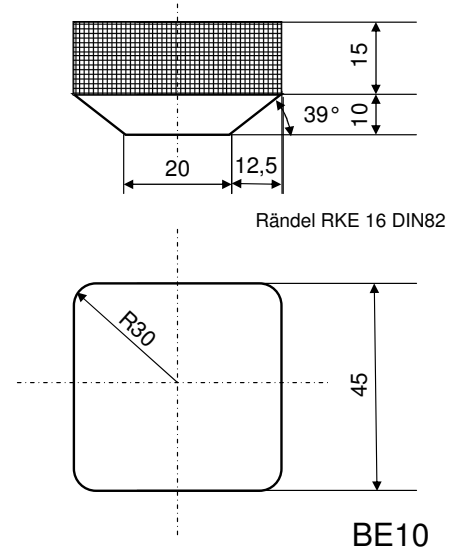
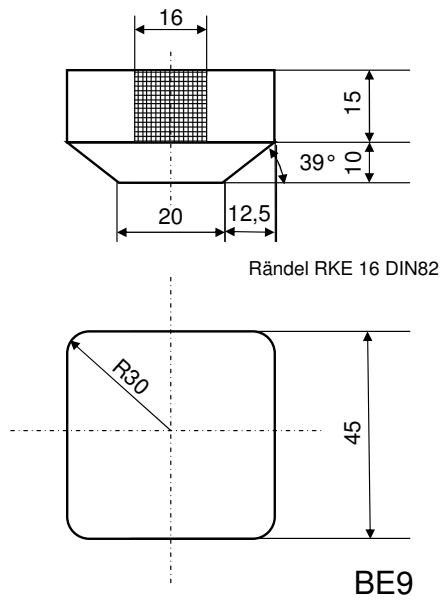


Abbildung B.11: Form BE9 (quaderf., leichter Rändel)

Abbildung B.12: Form BE10 (quaderf., großer Rändel)

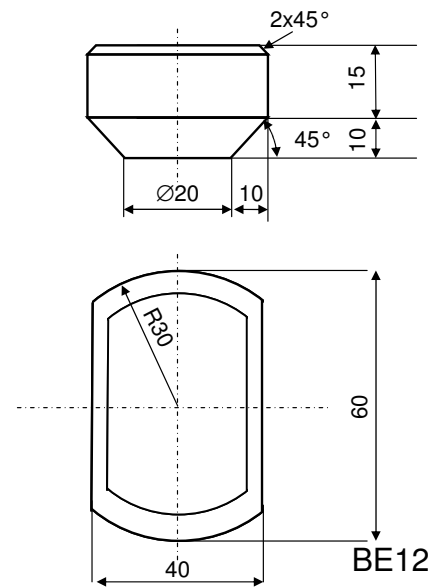
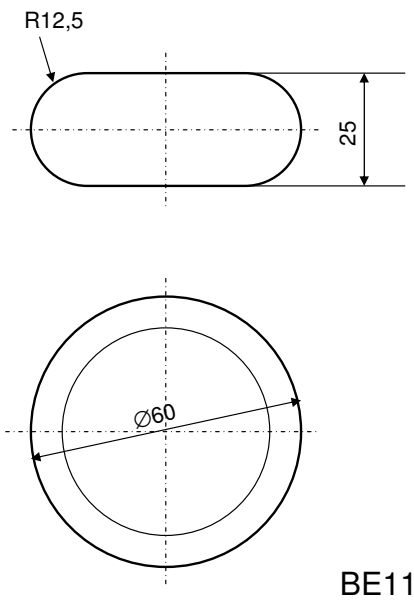
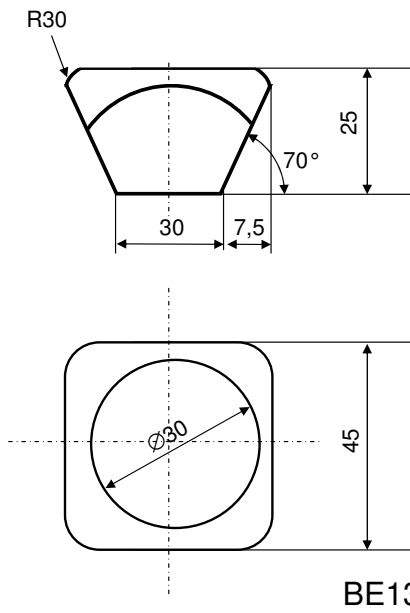
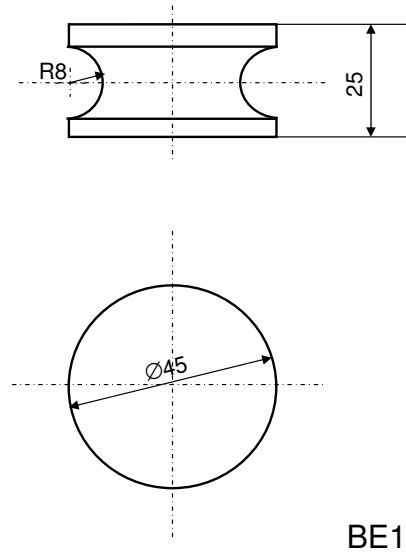


Abbildung B.13: Form BE11 (rund, konvex)

Abbildung B.14: Form BE12 (maus-ähnlich)



BE13



BE14

Abbildung B.15: Form BE13 (quaderförmig, abgerundet)

Abbildung B.16: Form BE14 (rund, konkav)

B.3 Fragebogen zur Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen/BE -	VP-Nr.:	BE-Nr.	mit/ohne HS	Datum:
------------------------------	-------------------	---------	--------	-------------	--------

1 Zu Ihrer Person

1.1 Ich bin _____ Jahre alt.

1.2 Ich bin...

weiblich	männlich
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.3 Ich bin...

Linkshänder	Beidhänder	Rechtshänder
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen/BE -	VP-Nr.:	BE-Nr.	mit/ohne HS	Datum:
------------------------------	-------------------	---------	--------	-------------	--------

2 Taktiler Eindruck (Bitte fassen sie das BE an und bewegen Sie es dabei nicht)					
Würden Sie das BE bevorzugt...	Drehen			Schieben	
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Drehen?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (vorne/hinten)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (links/rechts)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5

3 Haptischer Eindruck (Bitte bedienen Sie jetzt das BE)					
Würden Sie das BE bevorzugt...	Drehen			Schieben	
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Drehen?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (vorne/hinten)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (links/rechts)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5

4 Haptisch-visueller Eindruck (Bitte bedienen Sie jetzt das BE und schauen Sie es an)					
Würden Sie das BE bevorzugt...	Drehen			Schieben	
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Drehen?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (vorne/hinten)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5
Wie gut eignet sich die Form des BE zum Schieben (links/rechts)?	Sehr gut 1	2	3	–	sehr schlecht 4 5

B.4 Ergebnisse der Untersuchung der Kompatibilität von Bedienelementformen

Tabelle B.1: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der bevorzugten Bedienhandlung Drehen oder Schieben

Handauflage (H)		Modus (M)		Form (F)	
F	p	F	p	F	p
1,296	0,274	1,427	0,257	82,029	<0,001*
HxM		MxF		FxH	
F	p	F	p	F	p
0,657	0,526	0,887	0,628	1,287	0,224

Tabelle B.2: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Drehen

Handauflage (H)		Modus (M)		Form (F)	
F	p	F	p	F	p
4,377	0,057	0,907	0,416	39,371	<0,001
HxM		MxF		FxH	
F	p	F	p	F	p
1,110	0,345	0,751	0,808	1,378	0,174

Tabelle B.3: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Schieben (vo./hi.)

Handauflage (H)		Modus (M)		Form (F)	
F	p	F	p	F	p
10,771	0,005*	3,466	0,07	8,144	<0,001*
HxM		MxF		FxH	
F	p	F	p	F	p
0,127	0,882	1,607	0,032*	1,582	0,094

Tabelle B.4: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. Eignung für Schieben (li./re.)

Handauflage (H)		Modus (M)		Form (F)	
F	p	F	p	F	p
0,013	0,912	0,928	0,372	10,438	<0,001*
HxM		MxF		FxH	
F	p	F	p	F	p
1,263	0,291	1,480	0,175	1,211	0,308

Tabelle B.5: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen für globale Form und Fase

Bediensystem	Globale Form (GF)		Fase (FA)		GFxFA	
	F	p	F	p	F	p
Bedienhandlung	474,859	<0,001*	0,070	0,923	0,627	0,542
Eignung Drehen	91,016	<0,001*	4,709	0,017*	0,055	0,946
Eignung Schieben vorne/hinten	27,700	<0,001*	5,748	0,019*	0,342	0,713
Eignung Schieben links/rechts	42,436	<0,001*	4,210	0,025*	1,841	0,177

Tabelle B.6: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen mit den Faktoren globale Form und Rändel

Bediensystem	Globale Form (GF)		Rändel (R)		GFxR	
	F	p	F	p	F	p
Bedienhandlung	560,085	<0,001*	0,109	0,819	0,118	0,889
Eignung Drehen	87,105	<0,001*	1,206	0,314	1,373	0,268
Eignung Schieben vorne/hinten	19,355	0,001*	0,008	0,992	0,464	0,633
Eignung Schieben links/rechts	32,076	<0,001*	0,273	0,763	0,595	0,558

C Anhang

C.1 BediENAufgaben zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Tabelle C.1: Ablauf der BediENAufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"

Instruktion: „Bitte geben Sie als Zieladresse in Berlin Mitte die Friedrichstraße ein.“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen

Tabelle C.1: Ablauf der BediENAufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"

Instruktion: „Bitte geben Sie als Zieladresse in Berlin Mitte die Friedrichstraße ein.“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		rund	Drehen
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen
		rund	Drehen
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben

Tabelle C.1: Ablauf der Bedienaufgabe "Zieleingabe durch Adresseingabe"

<i>Instruktion: „Bitte geben Sie als Zieladresse in Berlin Mitte die Friedrichstraße ein.“</i>			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	-

Tabelle C.2: Ablauf der Bedienufabe "Zieleingabe über Karte"

Instruktion: „Bitte wählen Sie im Navi als Ziel auf der Karte das Parkhaus aus“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	-




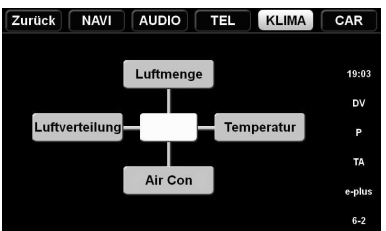

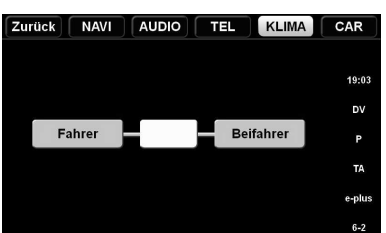
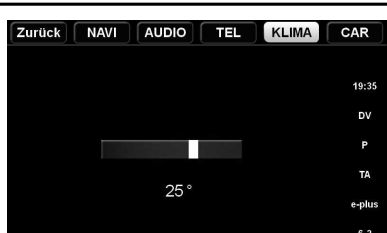



Tabelle C.3: Ablauf der Bedienuaufgabe "Anruf aus Telefonbuch"

Instruktion: „Bitte rufen sie aus dem Telefonbuch Stefan Jansen an“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	-

Tabelle C.4: Ablauf der BediENAufgabe "Auswahl eines Radiosenders aus der Senderliste"

Instruktion: „Bitte wählen Sie aus der Senderliste den Sender FFN aus.“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen
		quaderförmig	-

Tabelle C.5: Ablauf der BediENAufgabe "Temperatureinstellung"

Instruktion: „Bitte stellen Sie die Fahrertemperatur auf 17° ein.“			
Uneindeutiges Screendesign	Eindeutiges Screendesign	Form des Bedienelements	Bedienhandlung
		quaderförmig	Funktions-taste drücken
		quaderförmig	Schieben
		quaderförmig	Schieben
		rund	Drehen
		quaderförmig	-

C.2 Fragebogen zur Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen -	VP-Nr.:	Datum:
------------------------------	----------------	---------	--------

1 Zu Ihrer Person

1.1 Ich bin _____ Jahre alt.

1.2 Ich bin...

weiblich	männlich
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.3 Ich bin...

Linkshänder	Beidhänder	Rechtshänder
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.4 Ich fahre derzeit folgende PKWs...

	Marke	Typ
1		
2		
3		

1.5 Wie viel Erfahrung haben Sie mit der Bedienung von Navigationssystemen (insbesondere COMAND von Mercedes-Benz)

Sehr viel	Eher viel	Teils/teils	Eher wenig	Gar keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1.6 Bitte kreuzen Sie an, wie oft Sie während der Fahrt...

	nie	selten	manchmal	oft	sehr oft
Die Klimaanlage bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Telefon bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Navigationssystem bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Audiosystem bedienen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen -	VP-Nr.:	Datum:
------------------------------	----------------	---------	--------

2 Bedingung 3

2.1 Wie beurteilen Sie die Anpassung des Bedienelements an die Bedienaufgaben?

	sehr	eher	teils/ teils	eher	sehr	
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	störend

3 Bedingung 4

3.1 Wie beurteilen Sie die Anpassung des Bedienelements an die Bedienaufgaben?

	sehr	eher	teils/ teils	eher	sehr	
hilfreich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	störend

DaimlerChrysler AG RBP/BM	- Fragebogen -	VP-Nr.:	Datum:
------------------------------	----------------	---------	--------

4 Abschließende Bewertung

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

wir würden Ihnen abschließend gern einige Fragen zu den Kombinationen von Anzeige und Bedienelement stellen, die Sie eben getestet haben. Dabei geht es um einen Vergleich der vier Kombinationen, die sie bedient haben. Bitte lassen Sie keine Frage aus. Falls Sie weitere Fragen haben oder Ihnen etwas unklar ist, wenden Sie sich bitte an Ihren Versuchsleiter.

Sie sehen hier eine Linie, an deren Endpunkten zwei Extreme stehen. Bitte setzen Sie ein Kreuz auf der Linie dort, wo Sie das Bediensystem einordnen wollen (also z.B. weiter rechts, wenn das rechte Extrem für Sie eher zutrifft als das linke usw.).

Bitte verwenden Sie für jedes der Kombinationen eine andere Farbe:

rot für Kombination A
blau Kombination B
grün Kombination C
schwarz für Kombination D

Falls Sie weitere Fragen haben oder Ihnen etwas unklar ist, wenden Sie sich bitte an Ihren Versuchsleiter.

4.1 Die Kombination aus Anzeige und Bedienelement hat mir persönlich... gefallen.

gar nicht |—————| sehr gut

C.3 Ergebnisse der Bewertung des variablen zentralen Bedienelements

Tabelle C.6: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der Kompatibilitätsfehler

Screentyp (ST)		Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)	
F	p	F	p	F	p
19,866	<0,001*	12,617	0,001*	95,301	<0,001*
STxBE		BExSD		SDxST	
F	p	F	p	F	p
2,244	0,032*	5,361	0,028*	18,575	<0,001*

Tabelle C.7: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der Kompatibilitätsfehler

Screentyp	Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)		BExSD	
	F	p	F	p	F	p
Buchstabenspeller	0,076	0,784	12,187	0,002*	0,018	0,895
Kontinuierliche Eingabe	2,072	0,161	4,460	0,043*	1,500	0,231
Nummernspeller	0,207	0,653	22,568	<0,001*	0,435	0,515
Liste	0,15	0,702	14,005	0,001*	1,224	0,278
5-Button-Menü	62,113	<0,001*	6,383	0,017*	2,032	0,165
4-Button-Menü	45,435	<0,001*	7,837	0,009*	7,209	0,012*
Entscheidung	25,853	<0,001*	6,595	0,016*	4,313	0,047*
Cursor	0,013	0,910	0,880	0,356	0,084	0,774

Tabelle C.8: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeiten pro Aufgabe

Aufgabentyp (AT)		Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)	
F	p	F	p	F	p
524,525	<0,001*	0,089	0,767	11,529	0,002*
ATxBE		BExSD		SDxAT	
F	p	F	p	F	p
0,596	0,703	0,696	0,411	2,586	0,028*

Tabelle C.9: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der durchschnittlichen Bedienzeiten pro Aufgabe

Aufgabentyp	Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)		BExSD	
	F	p	F	p	F	p
Adresseingabe	0,139	0,712	4,303	0,047*	0,011	0,917
Ziel über Karte	0,835	0,368	12,289	0,002*	0,019	0,891
Telefonbuch	0,622	0,437	0,746	0,395	2,171	0,151
Nummernwahl	0,625	0,436	7,608	0,010*	3,759	0,062
Senderliste	0,119	0,733	2,029	0,165	0,498	0,486
Temperatur	0,149	0,702	33,853	<0,001*	0,843	0,366

Tabelle C.10: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit

Aufgabentyp (AT)		Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)	
F	p	F	p	F	p
8,624	<0,001*	0,005	0,944	2,088	0,159
ATxBE		BExSD		SDxAT	
F	p	F	p	F	p
1,215	0,305	0,604	0,444	1,262	0,284

Tabelle C.11: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der relativen Fehlerhäufigkeit

Aufgabentyp	Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)		BExSD	
	F	p	F	p	F	p
Adresseingabe	0,216	0,086	1,899	0,179	0,500	0,476
Ziel über Karte	0,305	0,585	1,416	0,244	0,201	0,657
Telefonbuch	0,830	0,370	4,534	0,042*	2,425	0,130
Nummernwahl	0,235	0,631	0,219	0,643	0,646	0,428
Senderliste	0,063	0,804	2,415	0,131	0,002	0,964
Temperatur	2,599	0,118	0,033	0,857	1,449	0,238

Tabelle C.12: Ergebnis der 3-faktoriellen Varianzanalyse bzgl. der mittleren Spurabweichung

Aufgabentyp (AT)		Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)	
F	p	F	p	F	p
0,403	0,846	0,738	0,397	11,104	0,002*
ATxBE		BExSD		SDxAT	
F	p	F	p	F	p
4,701	0,001*	0,220	0,643	0,400	0,848

Tabelle C.13: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. der mittleren Spurabweichung

Aufgabentyp	Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)		BExSD	
	F	p	F	p	F	p
Adresseingabe	0,400	0,532	2,789	0,106	0,334	0,568
Ziel über Karte	12,033	0,002*	0,747	0,394	5,771	0,023*
Telefonbuch	0,005	0,942	8,122	0,008*	0,0023	0,881
Nummernwahl	4,423	0,044*	2,019	0,166	1,053	0,313
Senderliste	6,493	0,016*	1,267	0,270	0,628	0,434
Temperatur	0,068	0,796	1,785	0,192	1,114	0,300

Tabelle C.14: Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen bzgl. des subjektives Gefallens

Bedienelement (BE)		Screendesign (SD)		BExSD	
F	p	F	p	F	p
3,564	0,069	0,332	0,569	0,967	0,334

