
DISSERTATION

DER VERTEILTE FAHRERINTERAKTIONSRaum

eingereicht von:
Ronald ECKER



LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

München, 2013

DER VERTEILTE FAHRERINTERAKTIONSRaum

Dissertation
an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Ronald Ecker

München, 2013

Erstgutachter: Prof. Dr. Andreas Butz
Zweitgutachter: Prof. Dr. Klaus Bengler
Tag der mündlichen Prüfung: 22. Februar 2013

Danksagung

Diese Dissertation wäre ohne den Beitrag zahlreicher Personen nicht zustande gekommen.

Allen voran danke ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Andreas Butz für die fachliche sowie persönliche Unterstützung. Die regelmäßigen Diskussionen mit ihm haben diese Arbeit maßgeblich geformt. Vielen herzlichen Dank für die wertvollen Stunden und die notwendige Geduld bei der Fertigstellung!

Prof. Dr. Klaus-Josef Bengler danke ich sowohl in seiner Rolle als anfänglichen Teamleiter bei der BMW Group Forschung und Technik für sein Vertrauen und seinen visionären Beitrag sowie als Zweitgutachter für die kritische Auseinandersetzung mit dieser Arbeit. Ohne ihn wäre diese Arbeit gar nicht erst möglich gewesen.

Als Teamleiter bei der BMW Group Forschung und Technik während der Endphase dieser Doktorarbeit gilt Herrn Dr. Bernhard Niedermaier ebenso mein Dank für sein jederzeit offenes Ohr und seine produktiven Ratschläge.

Ganz besonders bedanke ich mich bei meiner Betreuerin und Kollegin Dr. Verena Broy. Sie hat mich mit ihrer bewundernswerten fachlichen Weitsicht und dem Gespür für die grundlegende Ausrichtung dieser Arbeit die letzten vier Jahre begleitet und bereichert. Danke, dass Du mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden bist sowie für die unkomplizierte und herzliche Zusammenarbeit!

Für ein attraktives Arbeitsklima, welches den nötigen Raum für konstruktive und kreative Diskussionen schafft, bedanke ich mich bei meinen KollegInnen bei der BMW Group Forschung und Technik: Marc Breisinger, Dr. Stefan Hoch, Dr. Nataša Miličić, Felix Schwarz und Dr. Wolfgang Spiessl.

Ebenso bereichernd war der Kontakt zu meinen Kollegen am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Interaktion an der Ludwig-Maximilians-Universität. Mein Dank gilt Dr. Alexander Wiethoff (für *eh schu wissen*), Dr. Alexander De Luca, Dr. Hendrik Richter und allen anderen.

Außerdem will ich meinen StudentInnen und PraktikantInnen danken, die wichtige Beiträge für diese Arbeit geleistet haben: Tessa-Virginia Hannemann, Philipp Holzer, Matthias Hoyer, Dr. Hendrik Richter, Bernhard Slawik und Simon Stusak.

Zusammenfassung

Fahrrelevante und unterhaltungsbezogene Informationen werden, historisch betrachtet, räumlich getrennt im Fahrzeuginnenraum angeordnet: Für die Fahraufgabe notwendige Anzeigen befinden sich direkt vor dem Fahrer (Kombiinstrument und Head-Up Display) und Inhalte des Fahrerinformationssystems in der Mittelkonsole (zentrales Informationsdisplay). Aktuell ist eine Auflösung dieser strikten Trennung zu beobachten. Beispielsweise werden im Kombiinstrument Teilumfänge der Infotainmentinhalte abgerufen und bedient.

Um dem Fahrer einen sicheren Umgang mit den zunehmenden Infotainmentinhalten zu ermöglichen, die Komplexität des Fahrerinteraktionsraumes zu reduzieren und den Kundennutzen zu steigern, betrachtet die vorliegende Arbeit die derzeit isolierten Displays ganzheitlich und lotet die Grenzen der momentan strikten Informationsverteilung neu aus. Es werden Grundlagen für die verkehrsgerechte Bedienung und Darstellung verteilter Informationen abhängig von deren Anzeigefläche gelegt, Konzepte zur nutzerinitiierten Individualisierung entwickelt und das Zusammenspiel von unterschiedlichen Anzeigeflächen evaluiert. Die in dieser Arbeit durchgeführten Studien zeigen, dass der räumlich verteilte Fahrerinteraktionsraum die Bedienung des Fahrerinformationssystems für den Nutzer sicherer und attraktiver gestaltet.

Abstract

From a historical view driving and entertainment related information had been arranged spatially separated in the vehicle interior: information, essential for driving located in front of the driver (instrument cluster and head-up display) and the entertainment functions in the center stack (central information display). However, several car manufacturers have recently begun displaying parts of the infotainment system in the instrument cluster and vice versa.

This thesis exams these, previously strict isolated, display arrangements in a holistic perspective and revalues a distribution of information to ensure roadworthiness while interacting with the increased amount of infotainment functions. An additional aim of our research is to reduce the complexity for the drivers' interaction space and so increasing the costumers' benefits. In this work fundamental aspects for displaying and interacting with distributed content on in-car displays have been established, concepts for the desired user adaptation developed and the logical interplay of the displays designed and evaluated. The with our implementations conducted studies exemplify that a spatially distributed driver interaction space enhances roadworthiness and user satisfaction.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation zur Schaffung eines verteilten Fahrerinteraktionsraumes	1
1.2	Problemstellungen und Lösungsansätze	3
1.3	Ergebnisvorschau	4
1.4	Aufbau der Arbeit	5
2	Grundlagen der automobilen Mensch-Maschine-Interaktion	7
2.1	Aufgaben des Fahrzeugführers	8
2.2	Richtlinien und Standards zur Gestaltung des FIS	9
2.3	Der Fahrerarbeitsplatz	11
2.3.1	Anzeigeorte	11
2.3.2	Bedienelemente	15
2.4	Evaluierung automobiler Systeme	19
2.4.1	Prototyping	19
2.4.2	Quantitative Evaluierungswerkzeuge	20
2.4.3	Qualitative Evaluierungswerkzeuge	24
2.5	Technische Grundlagen der Prototypen	25
2.5.1	Integration in die Fahrsimulation	25
2.5.2	Werkzeuge zur Implementierung der Prototypen	26
2.6	Fazit	28
3	Forschungsstand	29
3.1	Grundlagen für einen verteilten Fahrerinteraktionsraum	30
3.1.1	Wahrnehmungs- und kognitionspsychologische Grundlagen	30
3.1.2	Informationspräsentation und Ablenkungspotenzial im Fahrzeug	33
3.2	Verteilte Anzeigen und Informationen	38
3.2.1	Multiple und Distributed Display Environments	38
3.2.2	Multiple Coordinated Views	40
3.3	Personalisierung von Anwendungen und Informationen	42
3.3.1	Formen der Personalisierung	42
3.3.2	Personalisierung des FIS	43
3.3.3	Interaktion mit verteilten Displays	46
3.4	Der Blick als zusätzliche Eingabemodalität	46
3.4.1	Einschränkungen blickbasierter Interaktion	47
3.4.2	Visuell-attentive Benutzerschnittstellen	47

3.5	Fazit und resultierende Fragestellungen	49
4	Grundlagenuntersuchungen	53
4.1	Einfluss von Bedienelementen, Anzahl sichtbarer Listenelemente und Anzeigeort	54
4.1.1	Hypothesen	54
4.1.2	Versuchsdesign	55
4.1.3	Aufgaben	56
4.1.4	Versuchsablauf	57
4.1.5	Versuchsaufbau	57
4.1.6	Versuchspersonenkollektiv	57
4.1.7	Statistisches Vorgehen	58
4.1.8	Ergebnisse	58
4.2	Einfluss der Hierarchieebenen und des Anzeigeortes	65
4.2.1	Hypothesen	66
4.2.2	Versuchsdesign und Versuchsaufbau	66
4.2.3	Aufgaben	67
4.2.4	Beschaffenheit des Versuchspersonenkollektives	67
4.2.5	Ergebnisse	68
4.3	Ergebnisdiskussion	70
4.3.1	Anzeigeort	70
4.3.2	Anzahl sichtbarer Listenelemente	72
4.3.3	Hierarchieebenen	72
4.3.4	Bedienelemente	73
4.4	Fazit und Kritik	74
5	Verteilte Informationspräsentations- und Interaktionskonzepte	75
5.1	Analyse des bestehenden Systems	75
5.1.1	Menüstruktur und Informationsbeschaffenheit	76
5.1.2	Menübedienung	76
5.1.3	Konfiguration der Anzeigeorte	76
5.2	Konzeption der Prototypen	77
5.2.1	Präsentation verteilter Informationen	78
5.2.2	Interaktion mit verteilten Anzeigen	81
5.2.3	Individualisierung der Anzeigeorte	82
5.3	Prototypen	87
5.3.1	Allgemeine Designentscheidungen	87
5.3.2	Prototypen für verteilte koordinierte und unkoordinierte Anzeigen	89
5.3.3	Prototypen zur Individualisierung	90
5.4	Evaluierung	92
5.4.1	Hypothesen	92
5.4.2	Versuchsdesign	94
5.4.3	Aufgaben	96
5.4.4	Versuchspersonenkollektiv	98

5.4.5	Statistisches Vorgehen	99
5.5	Ergebnisse	99
5.5.1	Objektive Ergebnisse	99
5.5.2	Subjektive Ergebnisse	104
5.6	Ergebnisdiskussion	107
5.6.1	Verteilte koordinierte vs. unkoordinierte Anzeigen	107
5.6.2	Individualisierungskonzepte	109
5.7	Fazit	109
6	Blickgestützte Interaktion mit verteilten Anwendungen	111
6.1	Vorversuch: Fokuswechsel und Einblendestrategien	112
6.1.1	Techniken für den Fokuswechsel des ZBE und Einblendestrategien	113
6.1.2	Hypothesen	114
6.1.3	Versuchsdesign	115
6.1.4	Aufgaben	115
6.1.5	Versuchspersonenkollektiv	116
6.1.6	Statistisches Vorgehen	116
6.1.7	Ergebnisse	116
6.2	Finale Prototypen	119
6.2.1	Interaktionskonzepte und Fokuswechsel	119
6.2.2	Einblendestrategien der HUD-Inhalte	120
6.2.3	Displayverbund	120
6.3	Evaluierung	122
6.3.1	Hypothesen	123
6.3.2	Versuchsdesign	125
6.3.3	Aufgaben	125
6.3.4	Versuchspersonenkollektiv	126
6.3.5	Statistisches Vorgehen	126
6.4	Ergebnisse	126
6.4.1	Interaktionskonzepte	127
6.4.2	Einblendestrategien	128
6.4.3	Displayverbände	128
6.5	Ergebnisdiskussion	132
6.5.1	Interaktionskonzepte	132
6.5.2	Einblendestrategien	133
6.5.3	Displayverbund	134
6.6	Fazit	134
7	Resümee und Ausblick	137
7.1	Beantwortung der Forschungsfragen	137
7.1.1	Grundlagen	137
7.1.2	Konzepte zur Anzeige und Bedienung verteilter Informationen	139
7.2	Diskussion	140

7.3	Ausblick	142
7.3.1	Weiterführende Untersuchungen	142
7.3.2	Fahrrelevante FIS-Informationen	142
7.3.3	Berücksichtigung aller FIS-Anwendungen	142
7.3.4	Anzeige- und Bedientechnologien	143
7.3.5	Prototyping-Umgebung	143
7.4	Resümee	144
	Anhang	145
	Abkürzungsverzeichnis	159
	Literaturverzeichnis	170
	Abbildungsverzeichnis	175

KAPITEL 1

Einleitung



Abbildung 1.1: Verteilte Informationen im Alltag am Beispiel von Lektüren an unterschiedlichen Orten in einer Wohnung.

1.1 Motivation zur Schaffung eines verteilten Fahrerinteraktionsraumes

Räumliche Ordnung unterstützt den Menschen, Objekte im Alltag zu strukturieren. Wo sich Gegenstände wie beispielsweise ein Rasierer, eine Lesebrille oder Werkzeug in einer Wohnung befinden, hängt davon ab, wie oft man sie benötigt und welchen Zweck sie erfüllen. Die Entscheidung darüber, an welchem Ort ein Gegenstand platziert wird, ist maßgeblich von seiner

Funktion und seinem Einsatzgebiet bestimmt und kann je nach Kontext und individuellen Bedürfnissen variieren. Angelehnt an Grudin [33] soll ein Beispiel aus dem alltäglichen Leben dies veranschaulichen:

In fast jedem Haushalt lassen sich diverse Lektüren finden: Bücher, Zeitschriften, Zeitungen, Comics etc. Meistens werden Bücher in den dafür vorgesehenen Regalen aufbewahrt. Zeitschriften und Zeitungen stapeln sich in den unterschiedlichsten Ecken oder werden - sofern vorhanden - in einem Zeitungsständer abgelegt. Comics bevölkern oftmals die Toilette.

Bücher, die man gerade liest, werden jedoch nicht in einem Regal abgelegt, sondern dort, wo sie gelesen werden. Die Gute-Nacht-Lektüre liegt neben dem Bett, Lexika hingegen eher selten. Sie stehen am Schreibtisch, wo man einen schnellen Zugriff darauf wünscht. Das Bergmagazin wird im Lesesessel gelesen, die Zeitung am Frühstückstisch. Der Wirkungsbereich der Zeitung kann sich auf den Weg in die Arbeit oder auf das stille Örtchen erweitern. Zu dem Comic-Stapel am WC gesellt sich auf diese Weise zusätzlicher Lesestoff.

Wird die Gute-Nacht-Lektüre unerwartet spannend, kann sie das Bergmagazin neben dem Lesesessel und die Comics auf der Toilette verdrängen oder sogar den Weg neben die Badewanne finden. Handelt es sich um eine fremdsprachige Gute-Nacht-Lektüre, wird sie von einem Wörterbuch begleitet, das sich normalerweise am Schreibtisch neben dem Lexikon befindet. Rückt die Urlaubszeit näher, spielen die Tagesgeschehen auf dem Weg in die Arbeit und zurück eine untergeordnete Rolle. Die Zeitung wird gegen den Reiseführer ausgetauscht. Nachdem die wider Erwarten spannende Gute-Nacht-Lektüre beendet wurde, wird sie im Bücherregal archiviert.

Die Bücher, Magazine und Zeitungen ändern sich ständig und sind austauschbar. Der Bestimmungsort ist abhängig von den individuellen Interessen und aktuellen Bedürfnissen des Lesers. Würden alle Bücher im Regal stehen, müsste der Leser jedes Mal den Weg dorthin in Kauf nehmen, bevor er sie am gewünschten Ort lesen kann. Konsistenz und thematische Trennung spielen für den Benutzer in diesem Fall eine untergeordnete Rolle. Die Verortung der Lektüren ist in diesen genannten Beispielen von Zweierlei abhängig: dem aktuellen Bedürfnis des Lesers (Urlaubsvorbereitung, Entspannung, Unterhaltung, Information, Bildung, Arbeit) und der Aufmerksamkeit, die der Leser der Lektüre zukommen lassen will. Dies wird wiederum von der eigentlichen Haupttätigkeit (Arbeitsweg, Toilettengang, Frühstück) und der verfügbaren Zeit bestimmt.

Grafische Benutzeroberflächen begegnen dem mit der Desktop-Metapher, die ein räumlich strukturiertes Ablegen von Dokumenten und Links erlaubt. Auch die Schnellstartleiste gruppiert häufig verwendete Funktionen an einem bestimmten Ort. Arbeitet ein Nutzer mit mehr als einem Monitor, setzt er diese Anzeigeorte zur aufgaben- und bedürfnisorientierten räumlichen Organisation von Funktionen ein [33]. Der Hauptmonitor dient der Bearbeitung der primären Aufgabe wie etwa dem Verfassen eines Dokumentes. Wohingegen auf dem anderen Monitor der Posteingang oder die Ebay-Auktion überwacht wird.

Mobile Endgeräte erlauben die Organisation der Anwendung aufgrund der kleinen Anzeigefläche anhand mehrerer virtueller Screens. Apps, die häufig verwendet werden, sind funktionsunabhängig auf dem Homescreen platziert. Der zweite Screen ist beispielsweise für Spiele reserviert

und auf dem dritten werden die Nachrichten- und Kommunikationsanwendung gesammelt ¹.

Digitale Informationssysteme sind auch aus dem Fahrzeug nicht mehr wegzudenken. Navigationssysteme, Unterhaltungselektronik und Kommunikationsanwendungen sind maßgeblich am Erfolg eines Fahrzeuges beteiligt. Mit dem Einzug digitaler Instrumententafeln (Kombi), Head-Up Displays (HUD) und zentralen Informationsdisplays (CID) eröffnen sich vor allem für die Anwendungen des Fahrerinformationssystems (FIS) neue Möglichkeiten und damit einhergehende Herausforderungen.

Historisch betrachtet, wurden im Automobil fahrrelevante Informationen und Bedienelemente von denen des FIS räumlich getrennt angeordnet. Direkt vor dem Fahrer, im Kombi, waren ausschließlich Informationen wie Geschwindigkeit, Drehzahlmesser und Kammerleuchten positioniert. Die Bedienelemente für Blinker und Scheibenwischer waren und sind hinter dem Lenkrad platziert. Bedienelemente und Anzeigen für das FIS beschränkten sich auf die Mittelkonsole. In modernen Fahrzeugen wird diese strikte Trennung aufgelöst und häufig verwendete FIS-Funktion über Bedienelemente am Lenkrad und Anzeigen im Kombi zugänglich gemacht. Bislang wird von den Automobilherstellern vorgegeben, welche Anwendungen dort bedienbar sind.

Entsprechend dem eingangs beschriebenen Beispiel aus dem Alltag, sollte der Fahrer die Möglichkeit haben, selbst darüber zu entscheiden, wo er die aktuell favorisierten Funktionen bedient. Einerseits ist dies abhängig von den persönlichen Präferenzen. Andererseits kann auch der Kontext darüber entscheiden, welche Anwendungen er gerade benötigt. Solange es den automobilen Anforderungen entspricht, können während einer Privatfahrt Unterhaltungs- oder private Kommunikationsanwendungen (MP3-Player, Twitter oder Facebook) im Zentrum stehen. Befindet sich der Anwender auf einer Geschäftsreise, sind eher Telefonanrufe, Emails oder Kalendereinträge relevant [67]. In einer komplexen Menüstruktur organisierte Anwendungen unterstützen den Fahrer dabei unzureichend.

Digitale Systeme können vor allem flexibler als haptische Knöpfe, Taster und Hebel gestaltet werden. Sie ermöglichen es dem Nutzer, den Fahrzeuginnenraum gemäß seinen aktuellen Bedürfnissen und Aufgaben anzupassen. Dafür müssen alle Anzeigeorte (HUD, Kombi, CID) im Fahrzeug frei konfigurierbar und bedienbar sein, ohne die Verkehrssicherheit zu gefährden.

1.2 Problemstellungen und Lösungsansätze

Wichtiger als die Zufriedenheit der Kunden bezüglich der Unterhaltungs- und Informationstechnologien ist im automobilen Kontext die Verkehrssicherheit. Das oberste Designziel der automobilen Mensch-Maschine-Schnittstelle muss die verkehrsgerechte Bedienung sein. Insofern unterliegt vor allem das FIS Restriktionen, die dafür Sorge tragen, dass der Fahrer nicht von der primären Fahraufgabe abgelenkt wird. Die Bedienung der Informationen in den Displays hat einen Einfluss auf die Fahrerablenkung. Um eine räumliche Verteilung von Informationen im Fahrzeuginnenraum zu ermöglichen, müssen alle Anzeigeorte hinsichtlich ihres Ablenkungspotenzials überprüft werden. Ausgehend vom aktuellen Forschungsstand werden Grundlagenuntersuchungen konsultiert, um bestehende Leerstellen zu füllen.

¹<http://www.brighthub.com/mobile/iphone/articles/14226.aspx>

Neben den Grundlagen werden neue Anzeige- und Bedienkonzepte für den räumlich verteilten Fahrerinteraktionsraum benötigt. Die Anzeigeorte im Fahrzeug (HUD, Kombi, CID) verfügen, verglichen mit denen eines PC, über eine kleine Anzeigefläche. Außerdem muss die Ablesbarkeit durch eine angemessene Schriftgröße garantiert werden. Ein logischer Verbund aus den Displays kann jedoch die Anzeigefläche für eine Anwendung vergrößern. Aus dem Forschungsfeld der Informationsvisualisierung sind Ansätze wie Multiple Coordinated Views bekannt, die unterschiedliche Sichtweisen auf große Datenmengen erlauben und so die kognitive Belastung der Nutzer reduzieren sowie die Bedienleistung verbessern [115]. Zudem erlauben diese Konzepte den Informationsumfang dergestalt zu reduzieren, dass er sich für die Darstellung auf den Anzeigeflächen während der Fahrt eignet.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus der Interaktion mit und Individualisierung von räumlich getrennten Anzeigen. Es stehen derzeit für drei Anzeigeorte (HUD, Kombi, CID) zwei Bedienelemente zur Verfügung: die Bedienelemente des Multifunktionslenkrads (MFL) und das zentrale Bedienelement (ZBE) in der Mittelkonsole. Als Lösungsansatz wird in der vorliegenden Arbeit zum einen die Interaktionstechnik Input Redirect [113] untersucht, die den Fokuswechsel eines Eingabemediums auf unterschiedliche Anzeigeorte ermöglicht. Zum anderen werden visuelle-attentive [97] Benutzerschnittstellen zur impliziten Fokussteuerung des Eingabemediums evaluiert.

1.3 Ergebnisvorschau

Die Interaktion mit dem HUD verbessert die Fahrleistung, da die Fahrszene weiterhin peripher wahrgenommen wird. Die Blickzeiten hingegen, so zeigen auch die in dieser Arbeit durchgeführten Grundlagenuntersuchungen, steigen und sind länger als die auf das Kombi und CID. Durch die sorgfältige Gestaltung listenbasierter Informationen werden die AAM-Richtlinien erfüllt.

Die Listenbedienung während der Fahrt wird bei bis zu sieben Einträgen durch mehr gleichzeitig sichtbare Listenelemente verbessert. Die Bearbeitungsdauer sinkt, wohingegen die visuelle Ablenkung und die Fahrleistung gleich bleiben. Es werden also mit der gleichen Blickabwendungsdauer mehr Informationen (Listeneinträge) aufgenommen und verarbeitet. Durch die Einführung von Hierarchieebenen sinken die Blickzeiten auf alle Displays. Dies kann mit der Unterbrechung der Bedienung durch den Wechsel auf die nächste Hierarchieebene erklärt werden. Es wird angenommen, dass der Anwender diese Unterbrechung nutzt, um einen Kontrollblick in die Fahrszene durchzuführen. Die Resultate der qualitativen Erhebung zeigen, dass die Nutzer das HUD präferieren. Die gefühlte Ablenkung ist geringer und somit aus Sicht der Nutzer besser für den automobilen Einsatz geeignet.

Zur Interaktion mit den Displays wurde das MFL und ZBE evaluiert. Die Bedienaufgabe wird mit dem ZBE schneller absolviert als mit dem MFL. Insofern wirkt sich dieses Bedienelement positiv auf die Bedienleistung aus. Geringere Bedienzeiten sind für die Fahraufgabe erstrebenswert, da die Nebenaufgabe schneller beendet und die Aufmerksamkeit schneller wieder auf die Fahraufgabe gelegt wird. Auswirkungen auf die Fahrleistung wurden nicht gemessen. Den Anwendern ist jedoch ein optimaler Ausgabeort der Informationen wichtiger als das Eingabemedium.

Die Evaluierung der in der vorliegenden Arbeit umgesetzten Konzepte verteilter koordinierter Anzeigen zeigt, dass die Aufteilung von Informationen den Nutzer bei der Durchführung der Nebenaufgabe unterstützen kann. Es müssen allerdings logisch getrennte Informationen oder unterschiedliche Visualisierungsformen gewählt werden, um einen Mehrwert für den Anwender zu erzielen. Werden die Nutzer bei der Bearbeitung einer Aufgabe unterbrochen und müssen häufig den Anzeigort wechseln, sinkt die Nutzerakzeptanz; der kognitive Aufwand und die Bearbeitungszeiten steigen an. Am besten für die Fahraufgabe eignen sich Displayverbände, bei denen das HUD mit dem Kombi beziehungsweise CID kombiniert wird. Die Fahraufgabe wird mit ihnen besser ausgeführt.

Die Anzeige von HUD-Inhalten überlagert partiell die Fahrszene. Deshalb müssen diese Informationen ausgeblendet werden, wenn sie vom Anwender nicht benötigt werden. Zum Wiedereinblenden bieten sich vor allem explizite Bedienhandlungen an. Die Nutzer führten mit ihnen mehr Kontrollblicke auf die Straße durch, weil die gewünschte Information beim Blick ins HUD noch nicht sichtbar ist.

Visuell-attentive Bedienkonzepte sowie die 1:1-Zuordnung zwischen Bedienelement und Anzeigort unterstützen den Fahrer bei der Bedienung des verteilten Fahrerinteraktionsraumes. Der Bedienfokus wird vom Fahrer und nicht vom System bestimmt, was die Wiederaufnahme der Bedienung erleichtert. Mit dem visuell-attentiven Prototypen blicken die Benutzer anteilig mehr in die Fahrszene, benötigen jedoch mehr Zeit, eine Aufgabe zu bearbeiten.

Die Individualisierung der Displays wird von den Anwendern positiv bewertet. Die Anzeigorte werden hauptsächlich im Stillstand individuell angepasst und einmalig oder monatlich durchgeführt, so die Einschätzung der Probanden. Eine visuelle Repräsentation der Anpassung kann gegenüber einer listenbasierten den visuellen Aufwand reduzieren.

1.4 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 wird in die Besonderheiten der automobilen Mensch-Maschine-Interaktion eingeführt. Das Hauptaugenmerk liegt auf den Aufgaben des Fahrers und auf den Systemen, die ihn bei der Durchführung dieser Aufgaben unterstützen. Zunächst wird der aktuelle Fahrerinteraktionsraum beschrieben und analysiert. Daran anschließend werden Methoden zur Evaluierung automobiler Systeme vorgestellt.

Im darauf folgenden 3. Kapitel werden die wichtigsten Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung präsentiert und die Auswirkungen auf die Ablenkung durch die unterschiedlichen Anzeigorte erläutert. Ferner wird ein Überblick über relevante Arbeiten aus den Forschungsgebieten der Informationsvisualisierung, Multiple Display Environments, Personalisierung und visuell-attentive Benutzeroberfläche gegeben.

Die Grundlagen für den verteilten Fahrerinteraktionsraum werden in Kapitel 4 gelegt. Zwei statische Fahrsimulatorstudien beleuchten das Ablenkungspotenzial der Anzeigorte relativ zueinander. Es findet eine Analyse des Informationsumfanges (Anzahl sichtbarer Listenelemente), der Informationsstruktur (Hierarchieebenen) und der Bedienelemente in Bezug auf die einzelnen Displays statt.

In Kapitel 5 werden erste Konzepte zur Bedienung und Anzeige von verteilten koordinierten

Anwendungen entwickelt. Dabei wird ein iterativer Entwicklungsprozess verfolgt und Prototypen umgesetzt sowie evaluiert.

Dem iterativen Prozess folgend, wird den aus Kapitel 5 resultierenden Herausforderungen mit neuen Ansätzen und weiterentwickelten Konzepten begegnet (Kapitel 6). Dazu werden ein blickgestütztes und ein evolutionäres controllerbasiertes Interaktionskonzept untersucht.

Abschließend werden in Kapitel 7 die Resultate zusammengefasst und diskutiert. Ein Ausblick über die Zukunft des verteilten Fahrerinteraktionsraumes rundet diese Arbeit ab.

Grundlagen der automobilen Mensch-Maschine-Interaktion

Die Kommunikations-, Unterhaltungs- und Informationssysteme in modernen Fahrzeugen beschränken sich längst nicht mehr auf das Radio und den CD-Player. Der Fahrer kann mittlerweile auf ortsbezogene Onlinedienste, unterschiedlichste Kommunikationsdienste (Telefon, SMS, Email), seine MP3-Sammlung und Filme zugreifen. Auch künftig werden immer mehr Informationen und Funktionen im Fahrzeug verfügbar sein. Das oberste Ziel bei der Gestaltung dieser Systeme ist und bleibt die Gewährleistung der verkehrsgerechten Fahrzeugführung. Vor allem der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) im PKW kommt dabei eine entscheidende Rolle zu, da sie eine sichere und möglichst ablenkungsfreie Bedienung erlauben muss [16]. Aus dem Spannungsfeld zwischen Kundenzufriedenheit und Anforderungen an automobile Systeme ergeben sich die Herausforderungen der MMI im Fahrzeug.

Das interdisziplinäre Forschungsfeld der MMI umfasst das Design, die Evaluierung und die Implementierung von interaktiven Systemen für die Bedienung durch den Menschen unter bestimmten Rahmenbindungen [38].

Nielsen [73] umschreibt ein für den Nutzer optimal bedienbares System mit dem Begriff der *Usability* (deutsch: Benutzerfreundlichkeit). Er definiert Usability anhand von fünf Qualitätsmerkmalen: Erlernbarkeit, Effizienz, Reproduzierbarkeit, Fehlerrate und Zufriedenheit. Der ISO-Standard 9241 [52] bezeichnet Usability hingegen als das Ausmaß an Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit, mit der eine spezifische Benutzergruppe einen spezifischen Aufgabenumfang mithilfe eines Systems erreichen kann. Shneiderman [99] stellt mit seinen *Eight Golden Rules* einen Leitfaden für Entwickler und Designer zur Verfügung. Auch ihm zufolge ist das oberste Designziel die Benutzerfreundlichkeit.

Aufgrund der Dual-Task-Situation im Fahrzeug (Fahr- und Bedienungsaufgabe) gilt es, neben den allgemein gültigen Usability-Richtlinien die gegebenen Rahmenbedingungen zu beachten. In diesem Kapitel werden die Besonderheiten der automobilen MMI aufgezeigt und ein Über-

blick über bestehende Ein- und Ausgabetechnologien gegeben. Abschließend werden Evaluierungswerkzeuge vorgestellt, die zur Beantwortung der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit eingesetzt wurden.

2.1 Aufgaben des Fahrzeugführers

Die Sicherheit aller beteiligten Verkehrsteilnehmer ist von der Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers abhängig. Das verkehrsgerechte Manövrieren des PKW stellt die wichtigste Aufgabe dar, weshalb die Fahreraufmerksamkeit als lebensrettendes Gut behandelt werden muss. Die Interaktion mit Unterhaltungs- und Informationssystemen ist zweitrangig und soll nur in Verkehrssituationen erfolgen, in denen die Sicherheit nicht gefährdet wird. Der Fahrer muss also entscheiden, wann die Bedienung von Infotainmentfunktionen zulässig ist. Geiser [28] unterscheidet zwischen *primären*, *sekundären* und *tertiären Aufgaben*.

- *Primäre Aufgaben* umfassen die Längs- und Querverführung des Fahrzeuges durch das Lenken, Bremsen oder Beschleunigen. Sie sind für die Spurhaltung und Stabilisierung auf der Straße verantwortlich. Ziel dieser Aufgaben ist, einen angemessenen Abstand zum Vordermann und das Fahrzeug in der Spur zu halten. Fahrerassistenzsysteme (FAS) können den Fahrer dabei unterstützen.
- *Sekundäre Aufgaben* haben keinen direkten Einfluss auf die Längs- oder Querverführung, sind aber für die Verkehrssicherheit unabdingbar. Zu Ihnen gehören umweltbedingte Aktionen wie das Blinken, Ein- und Ausschalten des Lichtes oder der Scheibenwischer.
- *Tertiäre Aufgaben* dienen der Fahrerunterhaltung, -information und dem Komfort. Zu ihnen zählt die Bedienung des Fahrerinformationssystems (FIS).

In der Vergangenheit erfolgte großteils eine räumliche Verortung der primären, sekundären und tertiären Aufgaben im Fahrzeuginnenraum. Moderne PKWs weichen diese räumliche Trennung zunehmend auf (siehe Abbildung 2.1). Am Lenkrad können beispielsweise Radiosender ausgewählt oder Telefonanrufen angenommen werden. Im Kombiinstrument werden Radiosenderlisten und Musiktitel angezeigt.

Dem Fahrer stehen zwei Arten von computergestützten Systemen während der Fahrt zur Verfügung: das FAS und FIS.

- *FAS* unterstützen den Fahrzeugführer aktiv bei der primären Fahraufgabe. Über Sensoren werden Fahrsituationen erkannt und anschließend vom System interpretiert. Die Nutzer werden einerseits vom System informiert (Anzeige der Geschwindigkeitsbegrenzung (SLI)) oder gewarnt (*Park Distance Control* (PDC)). Andererseits können systemseitig Manöver aktiv eingeleitet werden (Bremsen, Beschleunigen). Der Fahrer kann das FAS jederzeit übersteuern und so den automatischen Assistenzvorgang unterbrechen. Insofern trägt der Fahrer weiterhin die Verantwortung für die Verkehrssicherheit. Beispiele für eingreifende FAS sind *Active Cruise Control*¹ (ACC) oder der automatische Einparkassistent².

¹<http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/x/x5/2010/showroom/safety/acc.html>

²http://www.bmw.com/com/en/newvehicles/5series/sedan/2010/showroom/comfort/parking_assistant.html



Abbildung 2.1: Historische Aufteilung der primären, sekundären und tertiären Aufgaben im Fahrzeuginnenraum.

- *FIS* dienen der Unterhaltung, Information, Navigation und dem Komfort des Fahrers. Diese Funktionen werden in modernen Automobilen über ein integratives Anzeige-/Bedienkonzept angeboten. Bei dem wachsenden Funktionsumfang kann kein eigenes haptisches Bedienelement für jede einzelne Anwendung bereitgestellt werden [8]. Integrative Anzeige-/Bedienkonzepte setzen sich meist aus einem zentralen Bedienelement (ZBE) und einem Display in der Mittelkonsole zusammen. Damit kann der gesamte Funktionsumfang bedient werden.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Informationspräsentation und Interaktion mit dem FIS. Den verkehrssicheren Umgang mit dem FIS garantieren Richtlinien, Standards und Gesetze [16], auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

2.2 Richtlinien und Standards zur Gestaltung des FIS

Zusätzlich zu den allgemeinen Usability-Richtlinien muss im Fahrzeug den besonderen Rahmenbedingungen Rechnung getragen werden. Gesetzesvorschriften für den Fahrer wie das Telefonverbot³ oder die Geschwindigkeitsbegrenzungen unterstützen eine verkehrssichere Fahrzeugführung. Für die Umsetzung der automobilen MMI existieren außerdem für die Fahrzeughersteller gültige Standards. Der internationale Standard ISO 15005⁴ umfasst ergonomische Grundlagen zur Dialoggestaltung zwischen Fahrer und dem FIS beziehungsweise FAS im fahrenden Automobil. Daraus werden Empfehlungen und Anforderungen an die Benutzerschnittstelle abgeleitet. Die Prämisse ist die Priorisierung der Fahraufgaben gegenüber der Bedienungsaufgabe. Dieser Standard konzentriert sich dabei auf die angemessenen Dialogdauer und -gestaltung. Der internationale Standard ISO 15008⁵ adressiert wahrnehmungs- und kognitionspsychologische Aspekte

³<http://www.spiegel.de/politik/deutschland/a-102345.html>

⁴http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=34085

⁵http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50805

der visuellen Informationsverarbeitung. Er legt Mindestanforderungen für die Darstellung von dynamisch-visuellen Informationen an die Lesbarkeit und Anzeigen fest. Beispiele dafür sind Vorgaben zur Größe und Farbe von Schriftzeichen. Ebenso sind Regeln zur Bilddarstellung in dieser Norm enthalten, die zum Beispiel für die Kartendarstellung in Navigationssystemen beachtet werden müssen.

Zudem haben sich die meisten Automobilhersteller verpflichtet, Grundsatzserklärungen und Empfehlungen einzuhalten. Dazu zählt das *European Statement of Principles* (ESOP) [104] und die Richtlinien der *Alliance of Automobile Manufacturers* (AAM) [66].

Das ESOP definiert Designziele der Benutzerschnittstelle im Fahrzeug, die auf die Fahrer- und Fahrerinnen-Aufmerksamkeit abzielen. Der Fahrer muss jederzeit die Fahraufgabe priorisieren. FIS und FAS dürfen ihn weder kognitiv noch visuell von seiner Hauptaufgabe ablenken. Die nachstehenden Prinzipien sollen dies gewährleisten:

- Positionierungsprinzipien von Anzeigebereichen und Bedienelementen (Beispiel: Kein System darf das Sichtfeld des Fahrers oder die Fahrszene überdecken.)
- Prinzipien zur Informationspräsentation (Beispiel: Fahrrelevante Informationen müssen fehlerfrei und rechtzeitig dargestellt werden.)
- Interaktion mit Bedienelementen und Displays (Beispiel: Der Fahrer muss während der Interaktion mindestens eine Hand am Lenkrad haben.)
- Verhaltensprinzipien des Systems (Beispiel: Anzeigen dürfen keine Interferenzen mit Informationen oder Bedienelementen der Fahraufgabe aufweisen.)
- Erklärende Informationen über das System (Beispiel: Die Systemanweisungen sollten einfach und korrekt sein.)

Im ESOP sind für jede Richtlinie Beispiele, eine detaillierte Beschreibung und Applikations-/Verifikationsmethoden enthalten. Die AAM-Richtlinien sind ähnlich aufgebaut und definieren ebenso Evaluierungsmethoden, um ihre Einhaltung zu gewährleisten. Eine davon ist die AAM-Folgefahrt, die der Überprüfung der verkehrsgerechten Informationspräsentation und Bedienung dient (siehe Abschnitt 2.4).

Auch Freymann [26] konstatiert, dass neben den allgemein gültigen Usability-Kriterien das System auf die Fahraufgabe abgestimmt sein muss (*Suitability*). Aus den bestehenden Richtlinien und Standards extrahiert er folgende Merkmale für das FIS und FAS:

- Unterbrechbarkeit: Das System muss jederzeit durch die höher priorisierte Fahraufgabe unterbrochen werden können.
- Erreichbarkeit: Die ergonomische Positionierung der Bedienelemente muss optimal sein.
- Robustheit: Das System muss fehlerfrei funktionieren.
- Ablenkung: Das System darf weder visuell noch kognitiv von der Fahraufgabe ablenken.

- **Bediendauer:** Die Dauer eines Bedienschlittes muss der Fahraufgabe angemessen sein (1,5 Sekunden nach ISO).

2.3 Der Fahrerarbeitsplatz

Moderne Fahrzeuge verfügen je nach Ausstattung über drei verschiedene Anzeigeorte zur visuellen Darstellung von FIS und FAS: das zentrale Informationsdisplay (CID), die Instrumententafel (oder Kombiinstrument, Kombi) und das Head-Up Display (HUD). Die Bedienung erfolgt entweder über ein zentrales Bedienelement (ZBE) in der Mittelkonsole, einen berührungsempfindlichen Bildschirm oder über Lenkradtasten. In den meisten Fahrzeugen wird das Kombi mit den Lenkradtasten und das CID mit dem ZBE beziehungsweise per Touch gesteuert. Das HUD wird bislang nicht für die Darstellung interaktiver Inhalte verwendet. Dieser Abschnitt beschreibt die Anzeigeorte und deren Inhalte sowie die verfügbaren Eingabemedien im Automobil.

2.3.1 Anzeigeorte

Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, fand die Anzeige der primären, sekundären und tertiären Aufgaben im Fahrzeuginnenraum räumlich getrennt statt. Wendet man dies auf die Anzeigeorte im Fahrzeug an, so werden im CID Infotainment und Komfortfunktionen dargestellt, wohingegen im Kombi Warn- und Statusmeldungen angezeigt werden. Mittlerweile werden auch im Kombi tertiäre Inhalte präsentiert und bedient. Im HUD werden bislang ausschließlich fahrrelevante Informationen zur Fahrerassistenz und dem Fahrzeugstatus präsentiert.

Zentrales Informationsdisplay

Das CID ist die größte digitale Anzeigefläche im Fahrzeug und zählt aufgrund seiner Position zu den *Head-Down Displays* (HDD). Es befindet sich in der Mittelkonsole am oberen Ende des Fahrzeugcockpits. Die Displaygröße variiert je nach Hersteller und Ausstattung. Tesla⁶ beispielsweise verbaut über die gesamte Mittelkonsole ein touchsensitives Display.

Im CID werden tertiäre FIS-Funktionen wie Unterhaltungs-, Kommunikations-, Komfort-, Navigations- und Onlinedienste präsentiert, da es sich nicht im direkten Blickfeld des Fahrers befindet. Die Informationsstrukturierung und -darstellung erfolgt über listenbasierte hierarchische Menüs. Im Falle des Navigationssystems handelt es sich um kartenbasierte Informationen [18]. Alternativ kann der große Informationsumfang mittels kategorieübergreifenden suchbasierten Benutzerschnittstellen gehandhabt werden [32]. Dieser Anzeigeort bietet darüber hinaus die Möglichkeit, gestalterische Elemente wie Animationen [8] einzusetzen. Im stehenden Zustand des Fahrzeuges können auch DVDs oder Fernsehprogramme im CID abgespielt werden.

⁶<http://www.teslamotors.com>



Abbildung 2.2: CID unterschiedlicher Hersteller. a) Audi A8 MMI. b) BMW 5er iDrive. c) Mercedes C-Klasse Comand. d) Porsche Panamera PCM.

Abbildung 2.2 zeigt das CID der Automobilhersteller Audi⁷, BMW⁸, Mercedes⁹ und Porsche¹⁰.

Instrumententafel

In der Vergangenheit bestand das Kombi aus analogen Rundinstrumenten und Warnleuchten. In den letzten Jahren ist ein Trend hin zu digitalen oder teilweise digitalen Kombiinhalten zu erkennen. Dieser Anzeigort befindet sich bei den meisten Fahrzeugmodellen hinter dem Lenkrad und wird für die Darstellung der sekundären Informationen des Fahrers eingesetzt. Dazu zählen Status- und Sensordaten wie Geschwindigkeit und Drehzahlmesser, Blinkerstatus oder Motor-temperatur, aber auch Fahrerassistenzinformationen.

Traditionelle Rundinstrumente für die Drehzahl und Geschwindigkeit sind meist mittels Zei-

⁷<http://cars.about.com/od/audi/ig/2011-Audi-A8-photo-gallery/2011-Audi-A8-display-screen.htm>

⁸http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/5series/sedan/2010/showroom/highlights/design_interior.html

⁹<http://www.whnet.com/4x4/radios.html>

¹⁰http://fotos.autozeitung.de/462x347/images/bildergalerie/2009/02/Panamera_015.jpg



Abbildung 2.3: a) BMW 5er: Kombi mit ACC-Anzeige. b) VW Golf: Kombi mit der Verbrauchsanzeige.

gern realisiert. Sicherheitsrelevante Status- und Warnleuchten basieren auf LED- oder Glühlampentechnologien. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von interaktiven Assistenzsystemen und den sinkenden Kosten für Displays werden mittlerweile monochrome Displays oder Farbdisplays in das Kombi integriert.

Die digitale Anzeigefläche des VW Golf¹¹ (siehe Abbildung 2.3 b)) ist zwischen den beiden Rundinstrumenten angeordnet und beinhaltet den durchschnittlichen Verbrauch des Fahrzeuges. Wahlweise kann diese Anzeige fahrerseitig angepasst werden und beispielsweise die Öl- oder Außentemperatur darstellen. BMW¹² verwendet diese Anzeigefläche für Assistenzsysteme. Abhängig von den aktiven Systemen werden dort ACC und/oder Spurverlassenswarner angezeigt (siehe Abbildung 2.3).

Einige Automobilhersteller erlauben mittlerweile auch die Präsentation und Interaktion mit dem FIS in diesem Anzeigeort. BMW¹³ bietet auf einem 10,2 Zoll großen Display unterhalb der Rundinstrumente den Zugriff auf die Radiosenderliste, MP3-Sammlung, Telefonanwendung oder die zuletzt im CID verwendete Funktion an. Des Weiteren werden dort Navigationshinweise gegeben (siehe Abbildung 2.4 b). Im Ford Focus¹⁴ besteht die gesamte Instrumententafel aus einem Display, auf dem beinahe der komplette FIS-Umfang präsentiert wird (siehe Abbildung 2.4 a).



Abbildung 2.4: a) Ford Focus: Digitales Kombi mit FIS-Menü. b) BMW 6er: Display unterhalb der Rundinstrumente mit Navigationshinweisen und Radiosenderliste.

¹¹<http://www.volkswagen.de/de/models/golf/gallery.html>

¹²<http://www.bmw.com/com/de/newvehicles/3series/convertible/2007/allfacts/ergonomics/acc.html>

¹³<http://www.7-forum.com/news/BMW-6er-Cabrio-die-Ausstattung-Exklusive-3652.html>

¹⁴<http://www.autobild.de/bilder/ford-focus-electric-detroit-2011-update-1334057.html>



Abbildung 2.5: Porsche Panamera: Multi-Function Display mit a) Fahrzeugmenü und b) Kartenansicht des Navigationssystems.

Die Modellreihe Panamera von Porsche¹⁵ ermöglicht die Interaktion mit den meisten FIS-Inhalten über das *Multi-Function Display* (siehe Abbildung 2.5). Dieses Display ist in einem der fünf Rundinstrumente platziert und enthält folgende Menüpunkte: Fahrzeug, Audio, Navigation, Karte, Telefon, Fahrt, Reifendruck, Stoppuhr und ACC. Das Menü verwendet keine übergeordnete Hierarchie, um Inhalte zu strukturieren. Um zu einem Menüpunkt zu gelangen, müssen alle dazwischenliegenden mit einem dafür vorgesehenen Bedienelement durchgetoggelt werden. Dadurch kann der Nutzer die Anzeige des Multi-Function Displays anpassen. Auch innerhalb eines Menüs können die Anzeigen individualisiert werden [82].

Head-Up Display

Das HUD ist die jüngste Anzeigetechnologie im Fahrzeug und nimmt unter den Anzeigeorten wegen seiner Nähe zur Fahrscene einen besonderen Stellenwert ein. Es wird in die Windschutzscheibe des Fahrzeuges projiziert und erweckt beim Fahrer den Eindruck, zwei Meter vor der Scheibe über der Motorhaube zu schweben. Dadurch wird die Fahrscene bei der Informationsdarstellung auf transparentem Hintergrund teilweise überlagert. Bisherige Inhalte des HUD umfassen ausschließlich primäre und sekundäre Informationen wie Geschwindigkeit, Fahrerassistenz und Navigation. Abbildung 2.6 a) zeigt das HUD des 5er BMW¹⁶ und Abbildung 2.6 b) das des Peugeots 3008¹⁷.

Die Vorteile des HUD gegenüber einem HDD sind der geringere Blickabwendungsweg sowie die geringere Adaption und Akkommodation des menschlichen Auges [85]:

- *Blickbewegung*: Aufgrund des geringen Abstandes zur Fahrscene ist der Blickabwendungsweg kürzer als bei anderen Anzeigeorten im Fahrzeug. Somit kann ein Zeitgewinn pro Blickbewegung von bis zu 20 Millisekunden erreicht werden [29].
- *Adaption*: Das Auge passt sich an veränderte Lichtverhältnisse durch die Regelung der Pupillengröße an. So kann der auf die Netzhaut treffende Lichtstrom variiert werden. Diese

¹⁵<http://www.porsche.com/germany/models/panamera/panamera/>

¹⁶<http://www.bmw.com/com/de/newvehicles/5series/sedan/2010/showroom/index.html>

¹⁷<http://www.saabsunited.com/2009/04/peugeot-3008-pinches-some-cockpit-inspiration.html>



Abbildung 2.6: a) BMW 5er: vollfarbener HUD. b) Peugeot 3008: monochromes HUD.

Anpassung benötigt Zeit [50]. Aufgrund des geringen Helligkeitsunterschiedes zwischen Informationen im HUD und Fahrscene ist kaum eine Adaption des Auges notwendig. Die Helligkeit des HUD wird über Lichtsensoren automatisch geregelt und garantiert auf diese Weise einen optimalen Kontrast. In HDD hingegen muss sich das Auge erst an die veränderten Lichtverhältnisse im Fahrzeuginnenraum anpassen.

- *Akkommodation*: Um ein Objekt zu fokussieren, wird die Krümmung der Linse im Auge verändert. Je weiter ein Objekt entfernt ist, desto weniger muss sich das Auge akkommodieren [85]. Dieser Vorgang wird unbewusst und automatisch über die Augenmuskulatur gesteuert [50] und beansprucht unabhängig von der Fokussierung Zeit. Das HUD erscheint in einer Entfernung von ca. zwei Metern vor der Windschutzscheibe und bedarf deshalb einer geringeren und somit schnelleren Akkommodation als HDD. Dieser Effekt wird mit dem zunehmenden Alter des Betrachters verstärkt, da die Akkommodationsfähigkeit abnimmt [50] [42].

Die kürzere Blickbewegung kann zu einem geringeren Ablenkungsempfinden der Nutzer führen. Dadurch blicken Anwender durchschnittlich länger in das HUD als in die übrigen Displays. In Abschnitt 3.1.2 werden die damit verbundenen Herausforderungen beschrieben, die sich für die Informationsgestaltung im HUD ergeben.

2.3.2 Bedienelemente

Um mit den genannten Anzeigeorten zu interagieren, werden zurzeit zentrale Bedienelemente (ZBE), Touchscreens und Bedienelemente am Lenkrad (Multifunktionslenkrad, MFL) verwendet. Die meisten Automobilhersteller verfolgen eine eindeutige Zuordnung zwischen Bedienelement und Anzeigeort. So wird mit dem ZBE oder Touchscreen ausschließlich das CID und mit dem MFL das Kombi bedient. Für das HUD wird derzeit kein eigenes Bedienelement benötigt, da die Automobilhersteller keine interaktiven Inhalte in diesem Display vorsehen.

Zentrales Bedienelement (ZBE)

Als erster Automobilhersteller führte BMW im Jahre 2001 den zentralen Dreh-Drück-Steller (iDrive¹⁸) ein (siehe Abbildung 2.7 a)). Mittlerweile setzen auch andere Hersteller auf ein ZBE zur Interaktion mit dem integrierten FIS wie das Audi MMI¹⁹ und Mercedes Comand²⁰ (siehe Abbildung 2.7 b) und c)).

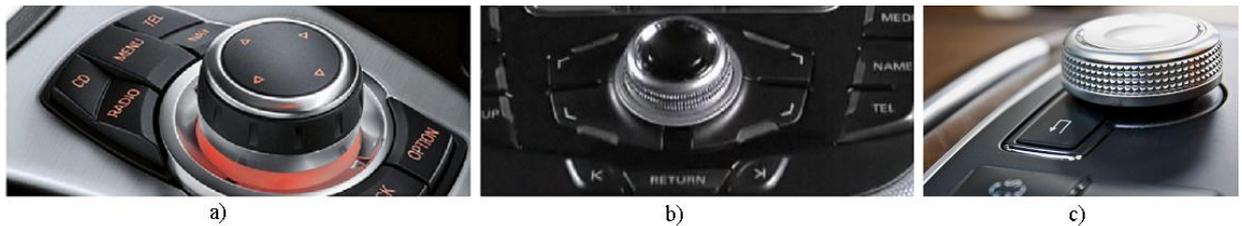


Abbildung 2.7: ZBE. a) BMW iDrive. b) Audi MMI. c) Mercedes Comand.

Das ZBE ist am Ende der Armlehne in der Mittelkonsole positioniert, um die ergonomisch optimale Erreichbarkeit zu gewährleisten und Ermüdungserscheinungen während der Bedienung vorzubeugen. Das zentrale Element dieses Eingabemediums ist ein Dreh-Drück-Steller. Dieser wird zur Interaktion mit listenbasierten hierarchischen Menüs eingesetzt und zur Navigation durch Listen gedreht. Durch Drücken wird der ausgewählte Eintrag bestätigt. Des Weiteren kann er in alle vier Himmelsrichtungen geschoben werden. Am Beispiel des BMW iDrive-Controllers bewirkt das Schieben nach links einen Wechsel in die übergeordnete Hierarchieebene. Schiebt man den iDrive-Controller nach rechts, werden kontextabhängige Optionen eingeblendet. Die um den Controller angeordneten Hotkeys erlauben einen direkten und schnellen Wechsel in die wichtigsten Hauptmenüpunkte.

Multifunktionslenkrad (MFL)

Über die Bedienelemente am MFL kann der Fahrer sowohl auf FIS- als auch auf FAS-Funktionen zugreifen, ohne die Hand vom Lenkrad zu nehmen. Die Interaktion während eines Lenkmanövers gestaltet sich mit dem MFL insofern schwierig, als sich die Armstellung verändert und nicht mehr ergonomisch optimal ist.

Um mit einem begrenzten FIS-Umfang im Kombi (siehe Abschnitt 2.3.1) interagieren zu können, stellt BMW²¹ die auf der rechten Seite des MFL liegenden Tasten zur Verfügung. Mit einem Rändelrad kann durch Listen navigiert werden und durch Drücken desselben wird die Auswahl bestätigt. Der Mode-Taster oberhalb des Rändelrades ermöglicht die Auswahl des Menüs (Radio, MP3 oder Favoriten). Mit den "+"- und "-"-Tasten wird die Lautstärke der Medienwiedergabe reguliert. Zur Annahme eines eingehenden Anrufes und zur Aktivierung des Sprachdialogsystems existieren separate Hotkeys. Mit den Tasten der linken Seite des MFL wird das ACC-System adjustiert (siehe Abbildung 2.8 a)).

¹⁸<http://www.bmw.com/com/de/newvehicles/5series/touring/2007/allfacts/ergonomics/idrive.html>

¹⁹<http://www.audi.com/com/brand/en/tools/advice/glossary.html>

²⁰<http://www.autobild.de/bilder/der-neue-bmw-5er-trifft-auf-die-e-klasse-1044748.html>

²¹<http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/5series/sedan/2010/showroom/index.html>

Das Mercedes Comand System²² verwendet die Bedienelemente auf der rechten Seite des Lenkrades für die Telefonfunktionen. Mit den Tasten auf der linken Seite bedient der Fahrer das Menü im Kombi. Im Gegensatz zum Rändelrad werden Pfeiltasten eingesetzt, um durch Listen zu navigieren (siehe Abbildung 2.8 b)).

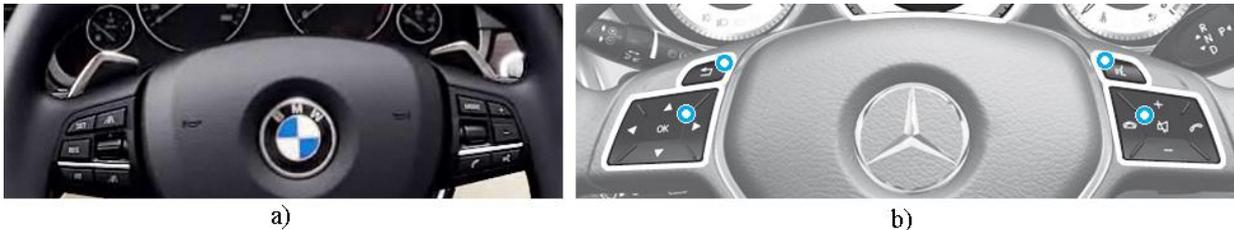


Abbildung 2.8: MFL von a) BMW und b) Mercedes.

Wegen der eingeschränkten Bewegungsmöglichkeit des Daumens sind diese Bedienelemente nicht für längere Bedienvorgänge oder lange Listen geeignet. Zudem benötigt man für den Wechsel zwischen Hierarchieebenen eine Zusatz Taste. Deshalb werden momentan meist flache Menüstrukturen mit eingeschränkten Auswahlmöglichkeiten angeboten.

Touchbasierte Interaktion

Eine Alternative zu herkömmlichen Bedienelementen sind berührungsempfindliche Bildschirme, die sich mittlerweile auch im Fahrzeug etabliert haben. Die Vorteile dieses Interaktionsprinzips mit dem FIS sind die flexible Gestaltungsmöglichkeit der Benutzeroberfläche sowie die direkte, intuitive und schnelle Bedienung [98]. Für die Hand-Auge-Koordination ist aufgrund der mangelnden haptischen Anhaltspunkte [16] der Blick des Anwenders unabdingbar. Dadurch ist eine Blindbedienung während der Fahrt kaum möglich. Durch große funktionale Bereiche kann die visuelle Ablenkung allerdings reduziert werden. Auch Touchgesten ermöglichen eine annähernde Blindbedienung von berührungsempfindlichen Bildschirmen im PKW [17].

Zudem werden hybride Systeme im Fahrzeug eingesetzt, die den Touchscreen mit haptischen Bedienelementen kombinieren. Der VW Golf IV²³ kann zusätzlich mittels Tasten an den Rändern des Bildschirms bedient werden (siehe Abbildung 2.9 a)). Jaguar²⁴ kombiniert den Touchscreen mit einem ZBE (siehe Abbildung 2.9 b)).

Eine weitere Herausforderung ist die ergonomische Platzierung des Bildschirms. Wird die Anzeigefläche zu weit am oberen Rand des Fahrzeuginnenraumes angeordnet, kann die Bedienung zu einer schnelleren Ermüdung des Armes führen. Ist der Bildschirm weiter unten positioniert, wird der Blickwinkel zwischen Fahrszene und Anzeigeort größer.

Mit der Trennung von Ausgabeort und berührungsempfindlicher Oberfläche anhand eines Touchpads wird sowohl eine ergonomisch optimale Eingabe- als auch Ausgabeposition ermöglicht. Der Audi A8²⁵ benutzt ein Touchpad in der Mittelkonsole zur alphanumerischen Eingabe

²²<http://www4.mercedes-benz.com/manual-cars/ba/cars/c218/de/overview/multifunktion.html>

²³<http://www.volkswagen.de/de/models/golf/gallery.html>

²⁴http://www.jaguar.com/de/de/new_xj/modelle/features/interior_features

²⁵<http://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a8/a8/erleben/360-grad-ansicht.html>



Abbildung 2.9: Berührungsempfindliche Bildschirme zur Interaktion mit dem FIS. a) VW Golf IV. b) Jaguar XJ.

(siehe Abbildung 2.10 a)). Auch BMW²⁶ strebt die Integration des Touchpads mit Handschrifterkennung an (siehe Abbildung 2.10 b)).



Abbildung 2.10: Touchpads zur alphanumerischen Eingabe. a) Audi A8. b) BMW Prototyp.

Multimodale Interaktion

Das populärste multimodale Interaktionsprinzip ist die Sprachbedienung kombiniert mit herkömmlichen Bedienelementen. Durch die verbale Kommandoingabe wird der visuelle Kanal des Fahrers entlastet und trägt somit zur Verkehrssicherheit bei [2]. Die meisten Automobilhersteller bieten diese Art der Interaktion zwar an, genutzt wird sie allerdings nur von einem Bruchteil der Anwender. Ursächlich dafür ist zum einen die bislang wenig natürlichsprachliche Kommandoingabe. Zum anderen ist die Rechenleistung im Fahrzeug gering, wodurch das Kommando nur schwer von den Umgebungsgeräuschen unterschieden werden kann. Aktuelle Forschungs-

²⁶http://www.n24.de/news/newsitem_6371576.html

arbeiten optimieren zunehmend Sprachdialogsysteme, um diesen Nachteilen entgegenzuwirken und einen höheren Grad an Natürlichsprachlichkeit zu erzielen [121] [124].

2.4 Evaluierung automobiler Systeme

Im Zentrum benutzerfreundlicher Systeme muss der Nutzer und seine Bedürfnisse stehen, weshalb er so schnell wie möglich in den Entwicklungsprozess mit einbezogen werden sollte. Daraus ergibt sich ein iterativer Prozess, der eine frühe und kontinuierliche Evaluierung erfordert [31].

Dabei muss nicht das finale System getestet werden. In einem frühen Entwicklungsstadium können Prototypen umgesetzt werden, die nicht dem endgültigen Funktionsumfang oder Erscheinungsbild entsprechen. Dadurch können Usability-Probleme schnell erkannt und für das Systemdesign berücksichtigt werden. Werden hingegen erst am endgültigen System Mängel identifiziert, sind Änderungen mit ungleich mehr Zeit-, Arbeitsaufwand und Kosten verbunden.

Die quantitative Evaluierung automobiler Systeme findet anhand von Dual-Task-Methoden statt. Die Versuchspersonen müssen eine Hauptaufgabe (fahrähnlich) und das zu evaluierende System simultan bedienen. Der Leistungsabfall der Hauptaufgabe während der Systembedienung liefert den Befund über mögliche Auswirkungen auf die Fahraufgabe. Die subjektiven Nutzerpräferenzen werden mit qualitativen Befragungen erhoben.

2.4.1 Prototyping

Grundsätzlich wird zwischen *Low-Fidelity*- und *High-Fidelity*-Prototypen unterschieden. Erstere werden zur Evaluierung des grundlegenden Nutzerverständnisses eingesetzt. Ein Beispiel dafür sind Papierprototypen. Aufgrund ihrer skizzenartigen Umsetzung wird von den Anwendern der elementare Sinn und die Funktionsweise des Systems kritisch hinterfragt. High-Fidelity-Prototypen entsprechen in ihrer Erscheinung und ihrem Verhalten annähernd dem beabsichtigten System. Lediglich der Funktionsumfang wird nach Bedarf eingeschränkt (horizontal oder vertikal). Mit horizontalen Prototypen wird beispielsweise die Navigationsstruktur oder die Eignung des Funktionsumfangs überprüft. Vertikale Prototypen dienen der Beurteilung spezifischer Funktionen [74].

Ein weiteres probates Mittel, um ein schnelles Feedback vom Nutzer zu erhalten, ist die *Wizard-of-Oz*-Technik (WOZ). Sie wird verwendet, um komplexe Anwendungen in einem frühen Stadium zu evaluieren (*rapid prototyping*), ohne deren Funktionalität vorher im vollen Umfang implementieren zu müssen. Dazu werden teilweise oder ganz die Reaktionen eines interaktiven Systems von einer Person übernommen, ohne Kenntnis vonseiten der Probanden. Sie haben dadurch den Eindruck, mit einem voll funktionsfähigen System zu interagieren [14].

In der vorliegenden Arbeit werden abhängig von der Fragestellung und den Entwicklungsstadien sowohl Low-Fidelity- als auch High-Fidelity-Prototypen umgesetzt und evaluiert. Zudem wird die WOZ-Technik zur Simulation eines Blickerkennungssystems verwendet.

2.4.2 Quantitative Evaluierungswerkzeuge

Zur objektiven Beurteilung automobiler Systeme werden empirische Dual-Task-Methoden angewandt. Je nach Untersuchungsgegenstand kann die Fahraufgabe mit einem Tischaufbau, statischen oder dynamischen Simulator simuliert werden oder unter realen Bedingungen stattfinden. Dabei steigt sowohl die Validität als auch der Aufwand mit der zunehmenden Komplexität des Versuchsaufbaus. Für die Evaluierung der Fahrdynamik müssen dabei mindestens dynamische Simulatoren verwendet werden. Die Bewertung der automobilen Benutzerschnittstelle kann hingegen in den meisten Fällen ausreichend valide im statischen Fahrsimulator vorgenommen werden [70].

In dieser Arbeit wurde der *Lane Change Task* (LCT), die AAM-Folgefahrt sowie Blickerfassungssysteme eingesetzt.

Lane Change Task (LCT)

Der LCT ist eine von der ISO standardisierte Evaluierungsmethode für automobiler Systeme [51] [68]. Er ermittelt die kognitive, visuelle und motorische Ablenkung von der Fahraufgabe. Dazu wird eine fahrähnliche Hauptaufgabe simuliert und auf einem Monitor angezeigt. Der LCT kann in einem Usability-Labor, *Mock-Up*, Fahrsimulator oder Fahrzeug durchgeführt werden.

Die simulierte Fahraufgabe wird auf einem dreispurigen Rundkurs absolviert (siehe Abbildung 2.11 a)). Die Simulation wird mittels eines handelsüblichen Spielelenkrades, einem Gaspedal und einer Bremse gesteuert. Während der Fahrt müssen die Probanden eine konstante Geschwindigkeit von 60 km/h einhalten. Dies wird durch das vollständige Durchdrücken des Gaspedales erreicht (Vollgas). In unregelmäßigen Abständen kündigen Verkehrsschilder das Manöver an, das die Versuchspersonen unmittelbar nach deren erscheinen durchführen müssen. Abbildung 2.11 b) zeigt den Spurwechsel auf die rechte Spur an, Abbildung 2.11 c) den Wechsel auf die linke Spur.

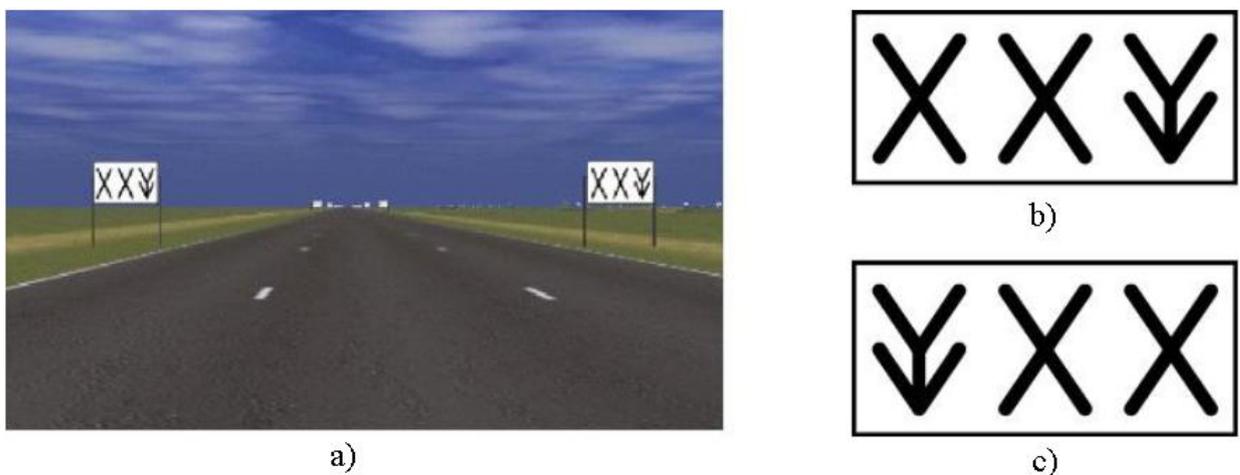


Abbildung 2.11: a) Fahrszene des LCT auf einer dreispurigen Straße. b) Schild: Wechsel auf die rechte Spur. c) Schild: Wechsel auf die linke Spur.

Die LCT-Simulation protokolliert die Spurhalte­daten des Fahrers, die nach einer Testfahrt über eine Analysesoftware ausgewertet werden. Vom Versuchsleiter können während des Versu­ches Streckenabschnitte mit Markern gekennzeichnet werden, um verschiedene Abschnitte sepa­rat zu betrachten (beispielsweise abhängig von der Nebenaufgabe). Das Resultat des LCT ist die mittlere Spurabweichung (MDEV) über eine Strecke. Sie ist als Fläche zwischen der Ideallinie (normatives Modell) für den Spurwechsel und dem tatsächlich gefahrenen Kurs (m^2) dividiert durch die zurückgelegte Wegstrecke (m) definiert. Abbildung 2.12²⁷ veranschaulicht einen ab­solvierten Kurs mit einer kleinen (a) und einer großen (b) mittleren Spurabweichung.

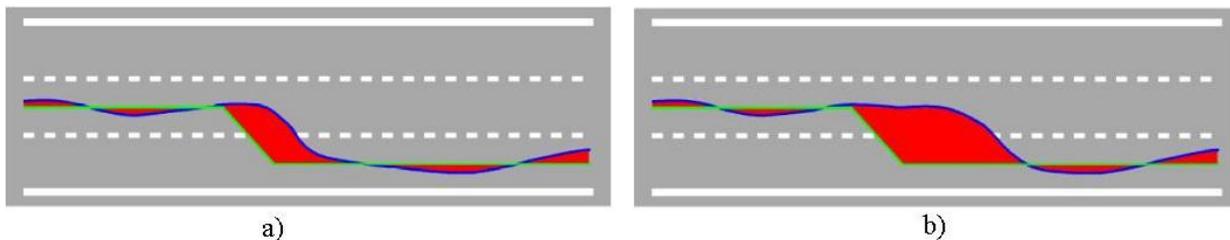


Abbildung 2.12: Visualisierung der mittleren Spurabweichung als Fläche zwischen dem normativen Modell (grüne Linien) und dem gefahrenen Kurs (blaue Linie). a) Kleine MDEV. b) Große MDEV.

Bevor das zu evaluierende System parallel zum LCT ausgeführt wird, müssen die Versuchs­teilnehmer die Fahraufgabe ausreichend beherrschen. Dies wird durch eine MDEV kleiner einem Meter garantiert. Die Probanden trainieren die Fahraufgabe, bis die Fahrsimulation mit dieser Spurabweichung absolviert wird. Dieser Wert wird als *Baseline* bezeichnet. Je nach Fragestellung wird anschließend das System ohne die Hauptaufgabe eingeübt. Anschließend wird die Dual-Task-Bedingung durchgeführt: Die Probanden bearbeiten das System und den LCT gleichzeitig. Wie sehr das evaluierte System von der Fahraufgabe ablenkt, ergibt sich aus der Differenz zwi­schen der Baseline und der mittleren Spurabweichung während der Interaktion mit dem System. Für den Vergleich verschiedener Systeme kann auch die MDEV, nicht die Differenz zwischen Baseline und MDEV, herangezogen werden.

Um studienübergreifend die Ergebnisse des LCT zu vergleichen, können standardisierte Ne­benaufgaben wie der *Surrogate Reference Task* als Vergleichsbasis verwendet werden [91]. Bengler [3] stellt abhängig von unterschiedlichen Laboren und Versuchsbedingungen Schwankungen der MDEV (bei gleicher Nebenaufgabe) von 0,8 Metern fest. Der ISO-Standard nennt kein ein­zuhaltendes externes Kriterium. Somit eignet sich der LCT eher zum Vergleich von Systemen, die innerhalb einer Studie evaluiert wurden.

Folgefahrt

Eine weitere Hauptaufgabe ist die Folgefahrt, die auch in der AAM-Richtlinie zur Überprüfung von Grundlagen für die Informationspräsentation vorgeschlagen wird. Ebenso wie der LCT kann

²⁷http://www.gui-design.de/download/wud_LCT_2005-11_Stuttgart.pdf

mit dieser Dual-Task-Aufgabe das Ablenkungspotenzial eines Systems von der Fahraufgabe ermittelt werden. Die Folgefahrt kann sowohl im Simulator als auch im realen Straßenverkehr absolviert werden.

Die Fahraufgabe der Probanden besteht darin, einem vorausfahrenden Fahrzeug in einem konstanten Abstand von 50 Metern mit konstanter Geschwindigkeit (100 km/h) zu folgen. Dazu muss die entsprechende Längsführung mittels Gaspedal und Bremse sowie die Querverführung mit dem Lenkrad durchgeführt werden. In der vorliegenden Arbeit wurde dazu ein Fahrsimulationsszenario auf einer dreispurigen Straße umgesetzt. Der vorrausfahrende PKW fährt ausschließlich auf der rechten Spur, sodass keine Spurwechsel erforderlich sind.

Die so erhobenen Daten liefern die Geschwindigkeitsvarianz (*Total Time to Collision*, TTC), die Abweichung vom geforderten Abstand und die Spurabweichung (*Standard Deviation of Lateral Position*, SDLP).

Die TTC gibt den Wert für die Zeit zur bevorstehenden Kollision an und wird nach Formel 2.1 berechnet [70]. Sie ist ein Maß für die Fahrleistung und darf 1,5 Sekunden nicht unterschreiten. Je kleiner dieser Wert ausfällt, desto größer ist die Geschwindigkeitsdifferenz zum vorausfahrenden Fahrzeug.

$$\overline{TTC} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m TTC_j \quad \text{mit} \quad TTC_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{i,ego} - v_{i,col}} \quad (2.1)$$

\overline{TTC} : Mittlere TTC über alle Probanden

TTC_j : Mittlere TTC von Proband j

m : Anzahl der Versuchspersonen

n : Anzahl der Messpunkte

j, i : Laufvariable

d_i : Abstand zwischen Eigen- und Vorderfahrzeug

$v_{i,ego}$: Geschwindigkeit des Eigenfahrzeuges

$v_{i,col}$: Geschwindigkeit des Vorderfahrzeuges

Die SDLP ist ein Kennwert, der die Standardabweichung von der Idealspur beschreibt (siehe Formel 2.2) [70]. Je kleiner dieser Wert ausfällt, desto exakter wird die Querverführung von den Probanden während der Fahrt ausgeführt.

$$\overline{SDLP} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m SDLP_j \quad \text{mit} \quad SDLP_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (2.2)$$

\overline{SDLP} : Mittlere SDLP über alle Probanden

$SDLP_j$: Mittlere SDLP von Proband j

m : Anzahl der Versuchspersonen

n : Anzahl der Messpunkte

j, i : Laufvariable

d_i : Abstand zur Ideallinie am Messpunkt i

\bar{d} : Mittlerer Abstand zur Ideallinie von Proband j

Diese Werte können für den Vergleich von Systemen herangezogen werden. Die AAM-Richtlinie sieht zudem eine Referenzaufgabe vor, deren Ablenkung von der Fahraufgabe ein wissenschaftlich belegtes, akzeptables Maß einnimmt [66]. Eine dieser Aufgaben ist die Bedienung eines Autoradios. Die von dieser Aufgabe verursachten Effekte auf die SDLP, TTC und der konstante Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug (50 Metern) dürfen von dem zu evaluierenden System nicht überschritten werden. Für den Vergleich unterschiedlicher Systeme ist diese Referenzaufgabe nicht notwendig, da das zu vergleichende System als Referenz fungiert.

Blickerfassung

Neben den Fahrleistungsindikatoren kann anhand des Blickverhaltens der Anwender ermittelt werden, ob sich ein System für den Einsatz im Fahrzeug eignet. Die AAM-Richtlinie weist zwar darauf hin, dass die systemseitig verursachte Blickabwendung kein hinreichender Indikator für den automobilen Einsatz ist. Neue Systeme können allerdings lange Blicke verursachen und sich somit negativ auf die Fahrleistung auswirken. Deshalb muss auch der Blick des Anwenders analysiert werden. Als Kriterium wird ein 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten aller Probanden auf die Anzeigorte von kleiner zwei Sekunden festgelegt [66].

Zur Erhebung des Blickverhaltens werden *Eye-Tracker* eingesetzt. Eine Übersicht über diese Systeme bieten Young et al. [122] und Glenstrup [30]. Intrusive Blickerfassungssysteme bestehen vorwiegend aus einer Apparatur, die am Kopf des Anwenders befestigt wird. Ein Vorteil dieser Systeme ist ihre Exaktheit. Sie bieten zwar weniger Bewegungsfreiheiten, unter Laborbedingungen ergeben sich dadurch allerdings keine Einschränkungen.

Dikablis²⁸ ist ein *Head-Mounted*-Blickerfassungssystem, das aus einem brillenähnlichen Gestell und zwei Kameras besteht (siehe Abbildung 2.13).

Eine Field Cam zeichnet das Blickfeld des Anwenders auf. Eine Eye Cam ist auf die Pupille des Betrachters gerichtet. Diese beiden Kameras müssen aufeinander kalibriert werden. Danach kann abhängig von der Pupillenbewegung der Blickpunkt des Anwenders erfasst werden. Durch die Position der Eye Cam wird das Blickfeld kaum beeinträchtigt. Um eine automatische Analyse zu ermöglichen, werden optische Infrarotmarker in der Nähe der *Areas of Interest* (AOI) montiert. So kann nach der Datenaufzeichnung mittels der D-Lab Software²⁹ das Blickverhalten in die definierten AOI automatisch berechnet werden. Relevante Metriken sind die gesamte,

²⁸<http://www.ergoneers.com/de/products/dlab-dikablis/overview.html>

²⁹<http://www.ergoneers.com/de/products/dlab-dikablis/dataanalysis.html>



Abbildung 2.13: Dikablis Blickerfassungsbrille.

durchschnittliche, maximale und minimale Blickdauer in die AOI, die Anzahl, Frequenz und prozentuale Verteilung der Blicke. All diese Daten werden automatisch von der Software geliefert.

2.4.3 Qualitative Evaluierungswerkzeuge

Neben objektiven Qualitätsmerkmalen ist die subjektiv empfundene Nutzerpräferenz entscheidend für den Erfolg eines Systems. Des Weiteren kann das subjektiv wahrgenommene Ablenkungspotenzial die objektiven Ergebnisse erklären und validieren. Um qualitative Daten zu erheben, werden analytische Evaluierungsmethoden eingesetzt wie: Expertenbefragungen, *Cognitive Walkthrough*, Interviews, Fragebögen oder heuristische Evaluationen [16].

Semantisches Differenzial

Semantische Differenziale oder auch Polaritätenprofile bestehen aus gegensätzlichen Wortpaaren, mit denen die konnotative Bedeutung beliebiger Objekte oder Begriffe eingeschätzt wird³⁰.

Der AttrakDiff-Fragebogen³¹ ist ein semantisches Differenzial, anhand dessen die Attraktivität, pragmatische und hedonische Qualität in Bezug auf die Bedienung und das Erscheinungsbild eines Produktes evaluiert wird. Die dazu verwendeten Items werden auf einer siebenstufigen Skala von den Probanden bewertet. Die 28 Items operationalisieren folgende vier Dimensionen [36]:

- *Pragmatische Qualität (PQ)* beschreibt die subjektiv wahrgenommene Eignung von Systemfunktionen eine Aufgabe zu erfüllen (Attribute: praktisch, voraussagbar, übersichtlich).
- *Hedonische Qualität - Stimulation (HQS)* adressiert die Fähigkeit eines Systems, das Bedürfnis nach Verbesserung der eigenen Kenntnisse und Fertigkeiten zu befriedigen (Attribute: kreativ, originell, herausfordernd).

³⁰<http://www.psychology48.com/deu/d/semantisches-differential/semantisches-differential.htm>

³¹<http://www.attrakdiff.de>

- *Hedonische Qualität - Identität (HQI)* beschreibt das wahrgenommene Ausmaß, mit dem ein System selbstwertdienliche Botschaften an relevante Dritte kommuniziert (Attribute: bringt mich Leuten näher, fachmännisch, verbindend).
- *Attraktivität (ATT)* ist eine globale positiv - negativ Bewertung des Systems (Attribute: gut, attraktiv, angenehm).

Zur Auswertung des AttrakDiff wird von der User Interface Design GmbH³² ein online Tool bereitgestellt, das sowohl die Dateneingabe unterstützt als auch die statistische Auswertung und die Ergebnisdarstellung liefert.

Driver Activity Load Index

Der standardisierte *Driver Activity Load Index* (DALI) [81], ein Derivat des NASA-TLX-Fragebogens [35], ermittelt die subjektiv empfundene Beanspruchung eines Systems. Dazu werden sieben Dimensionen berücksichtigt: der Aufwand an mentaler, visueller, auditiver, taktile Beanspruchung, verursachter Stress, verursachter zeitlicher Druck und die Interferenz zwischen Fahr- und Nebenaufgabe. Diese Dimensionen werden auf einer sechsstufigen Likert-Skala beantwortet: "0" bedeutet keine und "5" eine maximale Beanspruchung. Wird der Mittelwert der erhobenen Werte mit 20 multipliziert, so erhält man einen Wert zwischen Null und 100 für die subjektiv empfundene, relative mittlere Beanspruchung des Systems. Der DALI eignet sich insbesondere dazu, Systeme miteinander zu vergleichen.

2.5 Technische Grundlagen der Prototypen

Um die Konzepte zu evaluieren, wurden die Prototypen in einen statischen Fahr Simulator integriert. In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Technologien und Werkzeuge zur Implementierung der Prototypen verwendet. Durch sie wurden die Anzeigen und die Bedienung des verteilten Fahrerinteraktionsraumes realisiert.

2.5.1 Integration in die Fahrsimulation

Eine Grundvoraussetzung für die Prototypen ist die Kommunikation von Ein- und Ausgabesignalen zwischen den automobilen Bedienelementen und dem System. Dazu werden Signale über den CAN-Bus (*Controller Area Network*) [114] empfangen und versendet. Außerdem müssen drei physikalisch getrennte Displays bedienbar sein, zwischen denen ein logischer Anzeigeverbund besteht. Die Anzeigen können von einem oder mehreren MMI-Rechnern generiert werden. Um eine reale Position der Displays, Bedienelemente und des Fahrers zu garantieren, werden die Prototypen in einen statischen Fahr Simulator der BMW Group Forschung und Technik integriert. Das zugrunde liegende Simulationsframework SPIDER [106] kann je nach Komplexität auf mehrere, über ein schnelles Backbone-Netzwerk verbundene Rechner verteilt werden. Die

³²<http://www.attrakdiff.de>

Ausgabe erfolgt über Monitore oder Projektionen. Lenkung und Pedalerie sind über einen CAN-Bus an die Fahrsimulation angebunden. Die Architektur der Prototypen und die Anbindung an den Fahrsimulator sind in Abbildung 2.14 dargestellt [108].

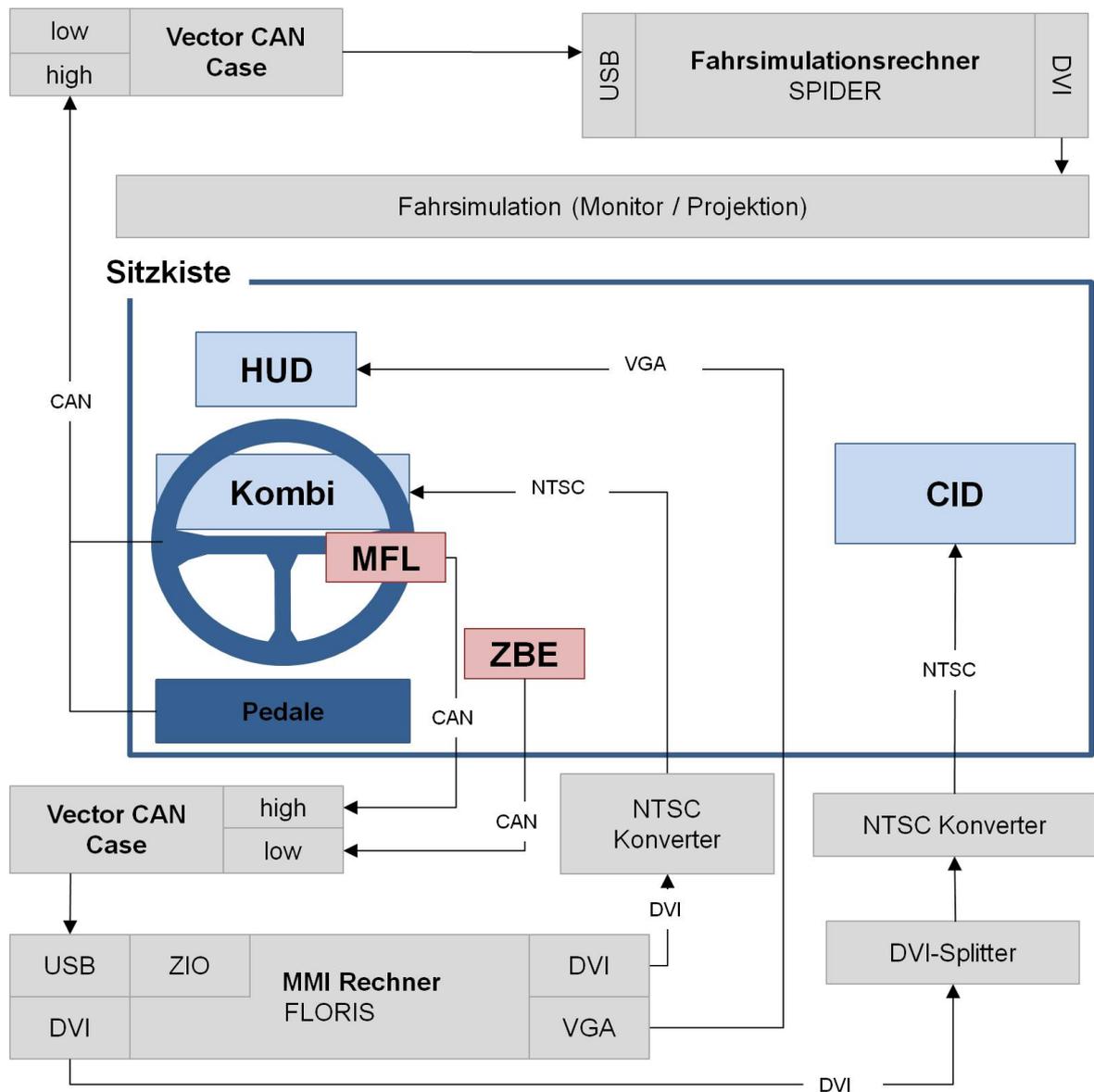


Abbildung 2.14: Grundlegende Architektur der Prototypen und des Fahrsimulators.

2.5.2 Werkzeuge zur Implementierung der Prototypen

Für die Implementierung der Prototypen wurden zwei zentrale Komponenten verwendet: ZIO und FLORIS. Beide Werkzeuge wurden innerhalb der BMW Group Forschung und Technik entwickelt und werden zur Implementierung von Prototypen in Fahrzeugen oder Fahrsimulatoren

eingesetzt.

ZIO Mit ZIO können Daten von verschiedenen Kanälen empfangen, verarbeitet und versendet werden. In dieser Arbeit wurden Signale vom CAN-Bus ausgelesen. Dazu ist eine zusätzliche Hardware notwendig (beispielsweise das CANcaseXL von Vector³³). Mit einer grafischen Benutzeroberfläche können über Empfangsmodule Signale aus einer CAN-Nachricht extrahiert und decodiert werden. Somit kann auf unterschiedliche CAN-Busse zugegriffen werden (*low speed*, *high speed*). Für die Anbindung der Bedienelemente musste eine in ZIO umgesetzte Restbusimulation die fehlenden Steuergeräte ersetzen. Mit einem entsprechenden Ausgangsmodul werden die CAN-Signale mit dem proprietären *Interlink*-Protokoll über UDP versendet.

Interlink Das Interlink-Protokoll enthält iBlocks, die sich aus mehreren Variablen (CAN-Signalen) zusammensetzen können. Die CAN-Signale werden, wie in ZIO definiert, sequenziell aneinandergereiht. Das Interlink-Protokoll enthält keine Beschreibung der Daten, weshalb dem Empfänger Informationen über den Datentypen, die Datenlänge und die Bedeutung vorliegen müssen. Dies geschieht in der iBlock.xml-Datei:

```
<iblock name="Bedienelemente" type="111" help="Bedienelemente">
  <var name="IDriveController" type="uint32" help="Controller">
    <def name="push" value="0"/>
    <def name="longpush" value="1"/>
    ...
  </var>
  <var name="Lenkrad" type="uint32" help="Lenkrad Rändel">
    ...
  </var>
</iblock>
```

FLORIS Das in .NET³⁴ umgesetzte FLORIS-Grafikframework [108] kann die von ZIO versendeten iBlocks empfangen und verwendet FLASH³⁵ als Rendering-Engine. Um in FLASH die CAN-Daten zu verwenden, muss sich die Anwendung für die gewünschten Signale registrieren:

```
BedienelementeIBlock.GetInstance().addEventListener(
BedienelementeIBlockEvent.IDRIVECONTROLLER_CHANGED, handlerFunction)
```

Interlink-Pakete können auch von FLASH versendet werden:

```
Floris.sendIBlock("Bedienelemente", [ "IDriveController", 0 ]);
```

Über das *ExternalInterface* kann das FLORIS-Framework *Events* in FLASH auslösen und die Signale mit dem dazugehörigen *Listener* verarbeiten. Mit der grafischen Benutzeroberfläche von FLORIS können mehrere FLASH-Instanzen gestartet werden. Zudem kann festgelegt werden,

³³http://www.vector.com/vi_cancase_xl_de.html

³⁴<http://www.microsoft.com/net>

³⁵www.adobe.com/de/products/flash.html

welche Signale an die Instanzen weitergeleitet werden. So können Anzeigen auf unterschiedlichen Anzeigeflächen mit einem MMI-Rechner realisiert werden. Alle FLASH-Anwendungen werden jedoch in einem Prozess abgearbeitet. Alternativ kann FLORIS auf unterschiedliche Rechner verteilt werden. Die Kommunikation zwischen den FLASH-Anzeigen erfolgte ebenso über FLORIS und Interlink.

MVC (Model-View-Controller) Die Architektur der Prototypen orientiert sich am MVC-Modell³⁶. Das *Model* enthält und verwaltet die Daten einer Anwendungen, die *View* übernimmt die grafische Darstellung und der *Controller* nimmt die Nutzereingaben entgegen. Es eignet sich besonders für die Umsetzung von verteilten synchronen Anzeigen, da einerseits Programmteile (Model und Controller) für andere Visualisierungen wiederverwendet werden können. Andererseits greifen alle Anzeigen auf dasselbe Model zu. Dadurch wird die Fehleranfälligkeit der Prototypen minimiert.

2.6 Fazit

Neben den allgemein gültigen Usability-Kriterien müssen im Fahrzeug besondere Rahmenbedingungen beachtet werden. Aufgrund der intensiven Wechselwirkung zwischen Mensch, Fahrzeug und Umwelt muss diesen bei der Konzeption der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Automobil ein besonderer Stellenwert eingeräumt werden.

Momentan ist eine Aufweichung der ursprünglich starren räumlichen Trennung der FIS- und FAS-Funktionen im Fahrzeuginnenraum erkennbar. Die einzelnen Anzeigorte werden jedoch weiterhin als logisch separierte Einheiten behandelt. Zudem ist eine aufgaben- und bedürfnisorientierte Anpassung des Fahrerinteraktionsraumes durch den Anwender bislang nur eingeschränkt möglich. Es wird angenommen, dass durch das logische Zusammenspiel der Displays die automobilen Mensch-Maschine-Schnittstelle weiter optimiert werden kann. Um dies zu ermöglichen, muss zum einen die verkehrsgerechte Nutzung gewährleistet sein. Zum anderen müssen Konzepte zur Verteilung und Personalisierung betrachtet werden. Im nachfolgenden Kapitel werden Grundlagen und bestehende Konzepte aus anderen Forschungsgebieten zur räumlich verteilten Informationspräsentation beleuchtet.

³⁶<http://fara.cs.uni-potsdam.de/~kaufmann/tuts/mvc.pdf>

Forschungsstand

Die Grundlagen des verteilten Fahrerinteraktionsraumes umfassen unterschiedliche Forschungsbereiche: Wahrnehmungspsychologische Modelle schaffen das Verständnis für die menschliche Informationsverarbeitung und begründen aufmerksamkeitslenkende Faktoren in Dual-Task-Situationen. Des Weiteren werden Arbeiten betrachtet, die den Einfluss von räumlich verteilten Anzeigeorten, der Informationspräsentation von listenbasierten hierarchischen Menüs und deren Auswirkung auf die Fahrerablenkung beleuchten (siehe Abschnitt 3.1).

Um auf konzeptioneller Ebenen neue Möglichkeiten der Interaktion und Informationspräsentation in den automobilen Anzeigeorten zu untersuchen, werden Arbeiten aus dem Forschungsgebiet der *Distributed* und *Multiple Display Environments* vorgestellt. Sie können das Nutzerverständnis und eine effiziente Systembedienung fördern. Aus dem Bereich der Informationsvisualisierung bieten *Multiple Coordinated Views* vielversprechende Ansätze für die logische und semantische Verknüpfung der Displays im Fahrzeug (siehe Abschnitt 3.2).

Durch die aufgabenorientierte Anpassung der Anzeigeorte kann der Fahrer den Funktionsumfang des FIS an seine Bedürfnisse und Situation anpassen. Bisher ist dies im Fahrzeug nur eingeschränkt möglich, kann allerdings die kognitive Last reduzieren und sich somit positiv auf die Fahrleistung auswirken. Abschnitt 3.3 zeigt mögliche Ausprägungen individualisier- und personalisierbarer Oberflächen. Außerdem werden Arbeiten aus dem automobilen Bereich vorgestellt.

Das natürliche Blickverhalten als implizite Zusatzinformation bei der Interaktion mit mehreren Geräten kann die Interaktion mit einem System beschleunigen. Da die Bedienzeiten des FIS so gering wie möglich ausfallen sollen [9], wird in dieser Arbeit der Blick als weitere Modalität in Bezug auf den verteilten Fahrerinteraktionsraum untersucht (siehe Abschnitt 3.4).

3.1 Grundlagen für einen verteilten Fahrerinteraktionsraum

Richtlinien und Normen gewährleisten die verkehrssichere Umsetzung automobiler Systeme (siehe Abschnitt 2.2). Ferner existieren zahlreiche Forschungsarbeiten, die sich der Informationspräsentation und Interaktion im Fahrzeug widmen. In Dual-Task-Umgebungen haben vor allem Interferenzen zwischen Haupt- und Nebenaufgabe einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Aufgabendurchführung.

In diesem Abschnitt werden basierend auf den wahrnehmungspsychologischen Grundlagen und verwandten Arbeiten zur Informationsdarstellung und Interaktion im Fahrzeug mögliche Implikationen für den verteilten Fahrerinteraktionsraum abgeleitet.

3.1.1 Wahrnehmungs- und kognitionspsychologische Grundlagen

Nach Rockwell [90] werden ungefähr 90 Prozent der Informationen für die sichere Fahrzeugführung visuell aufgenommen. Demzufolge muss die visuelle Ablenkung von der primären Fahraufgabe minimal sein, um die Fahrleistung nicht negativ zu beeinflussen. Neben der visuellen Ablenkung kann sich eine zu hohe kognitive Belastung des Fahrers negativ auf die Fahrzeugführung auswirken [20] [117] [25]. Diese negativen Effekte entstehen durch den Rekurs auf dieselben Ressourcen der menschlichen Informationsverarbeitung.

Schmidt [94] zufolge kann die Informationsverarbeitung allgemein als sequenzieller Prozess angesehen werden. Demnach werden Informationen aufgenommen (*Stimulus Identification*), dann verarbeitet (*Response Selection*), um schließlich re-/ agieren zu können (*Response Programming*).

Die menschliche Informationsverarbeitung bei Doppelaufgaben

Um die menschliche Informationsverarbeitung und die daraus resultierende Beanspruchung zu beschreiben, existieren Modelle, die Rückschlüsse auf die Systemgestaltung im Fahrzeug zulassen. Dazu zählen aktivierungs- und aufmerksamkeitstheoretische Ansätze. Sie zeigen die Zuweisung von kognitiven Kapazitäten und die Regulation des damit einhergehenden Energieeinsatzes auf [93]. Im Folgenden werden aufmerksamkeitstheoretische Modelle näher betrachtet, da sie die Ursache für Dual-Task-Interferenzen veranschaulichen.

Norman und Bobrow [75] setzen eine einzelne begrenzte Ressource für die Informationsverarbeitung voraus. Werden mehrere Informationsverarbeitungsprozesse parallel durchgeführt, sind damit insofern Leistungseinbußen verbunden, als alle Prozesse auf ein und dieselbe Ressource zugreifen. Die Auslastung einer Ressource durch die Informationsverarbeitung bezeichnen sie als mentale Beanspruchung.

Ferner unterscheiden sie zwischen kontrollierten und automatischen Prozessen. Letztere sind datenabhängig und können nicht durch eine erhöhte Aufmerksamkeit verbessert werden. Dazu zählen beispielsweise die Tonqualität und Lautstärke eines Audiosignals. Automatische Prozesse beeinflussen weder andere, parallel auszuführende Prozesse noch werden sie von solchen beeinflusst. Im Gegensatz dazu sind kontrollierte Prozesse von dem Grad der Aufmerksamkeit abhän-

gig, der ihnen zukommt. Bezogen auf die Fahrsituation, die den Fahrer sowohl mit der primären Fahraufgabe als auch mit diversen Nebenaufgaben konfrontiert, wird die Fahrleistung von der ihr zukommenden Aufmerksamkeit negativ oder positiv beeinträchtigt.

Die Leistungseinbußen mehrerer konkurrierender Aufgaben nehmen jedoch bei zunehmender Übung ab. Somit können mehrere Aufgaben simultan ausgeführt werden, wobei die Interferenzen zwischen den Tätigkeiten sinken [95].

Wickens [118] *Multiple Resource Model* unterscheidet sich von Norman und Bobrows Modell insoweit als er mehrere Ressourcen für die Informationsverarbeitung voraussetzt. Er differenziert zunächst zwischen drei dichotomen Dimensionen: Informationsverarbeitung (*Stages*), Codes (*Codes*) und Modalitäten (*Modalities*). Die Informationsverarbeitung erfolgt in drei Schritten: die Wahrnehmung, Kognition und Reaktion. Letztere beansprucht andere Ressourcen als die Wahrnehmung und Kognition, um Informationen zu verarbeiten. Zudem existieren unterschiedliche Codes, welche die Aufteilung von räumlichen und sprachlichen Aktivitäten auf Ressourcen in den Informationsverarbeitungsstufen zulassen. Die zwei Modalitäten, auditiv und visuell, beziehen sich ausschließlich auf die sensorische Wahrnehmung und nicht auf die Kognition oder Reaktion.

In späteren Arbeiten ergänzt Wickens sein dreidimensionales Modell um eine weitere Dimension: die visuellen Kanäle (*Visual Channels*). Die visuelle Wahrnehmung gliedert sich in zwei unabhängige Ressourcen: das fokale und das ambiente Sehen. Das fokale Sehen adressiert die foveale Wahrnehmung, die das scharfe und detaillierte Erkennen eines Textes oder Objektes ermöglicht. Im peripheren Blickfeld werden Bewegungen und die Orientierung erkannt, ohne dabei die Aufmerksamkeit vom fovealen Blickfeld abzuwenden [45]. Bezogen auf die Fahraufgabe ist das periphere Sehen für die Spurhaltung verantwortlich. In Abbildung 3.1 werden die vier Dimensionen des Multiple Resource Modells veranschaulicht.

Interferenzen zwischen zwei Aufgaben ergeben sich nach Wickens [118], wenn die gleiche Modalität, Verarbeitungsstufe, der gleiche Code oder visuelle Kanal zur selben Zeit beansprucht werden.

Um das Fahrzeug verkehrsgerecht zu manövrieren (Abstand, Spurhaltung), benötigt der Fahrer größtenteils den räumlichen Code. Die Bedienung der Nebenaufgabe beansprucht hauptsächlich den verbalen Code. Somit kann angenommen werden, dass keine Interferenz zwischen den Codes entsteht. Allerdings werden sowohl die Fahraufgabe als auch die Informationen aktueller Fahrzeugsysteme überwiegend visuell wahrgenommen. Demzufolge können bei dieser Dimension Interferenzen auftreten. Eine besondere Bedeutung kommt dem HUD zu, da die Fahrsituation weiterhin peripher (ambient) wahrgenommen wird und simultan eine Menübetrachtung im fokalen Blickfeld möglich ist. Deshalb kann bei diesem Anzeigort von geringeren Interferenzen ausgegangen werden.

Das SEEV-Modell: aufmerksamkeitslenkende Faktoren

Aufgrund der gleichzeitigen Nutzung des visuellen Wahrnehmungskanals für die Haupt- und Nebenaufgabe muss die Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers zugunsten der höher priorisierten Fahraufgabe ausfallen. Dabei kommt dem Fahrer die Rolle des *Workload Managers* zu [70]. Wickens [120] identifiziert vier Parameter, die die Zuwendung der visuellen Aufmerksamkeit auf

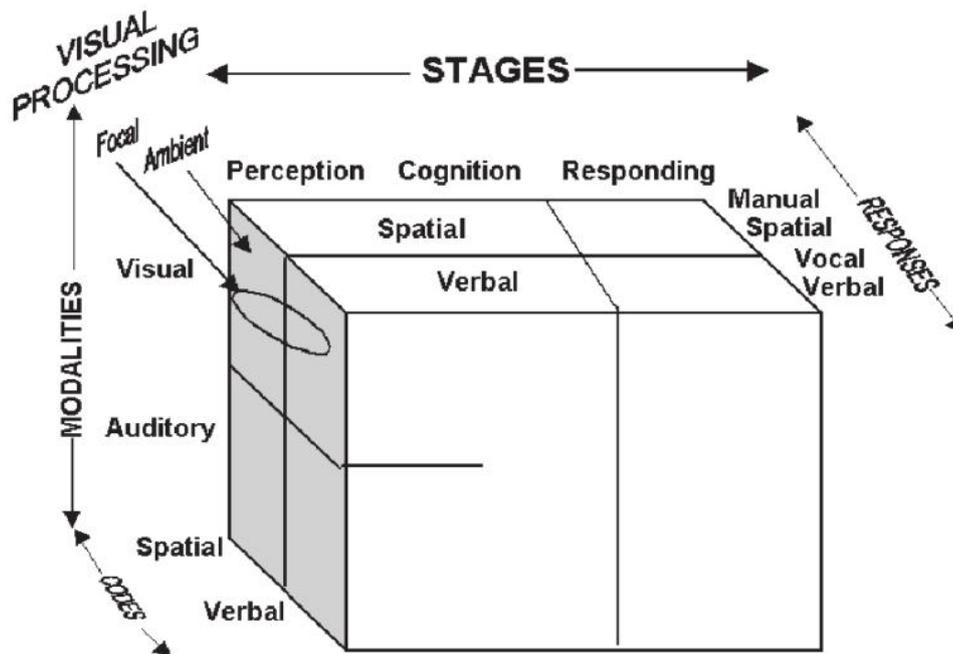


Abbildung 3.1: Multiple Resource Model nach Wickens [118].

unterschiedliche Bereiche des Blickfeldes beeinflussen: Salienz (*Saliency*), Aufwand (*Effort*), Auftretungswahrscheinlichkeit (*Expectancy*) und Wert (*Value*). Das aus diesen vier Faktoren bestehende SEEV-Modell angewandt auf die Dual-Task-Umgebung im Fahrzeug ist in Abbildung 3.2 [45] dargestellt.

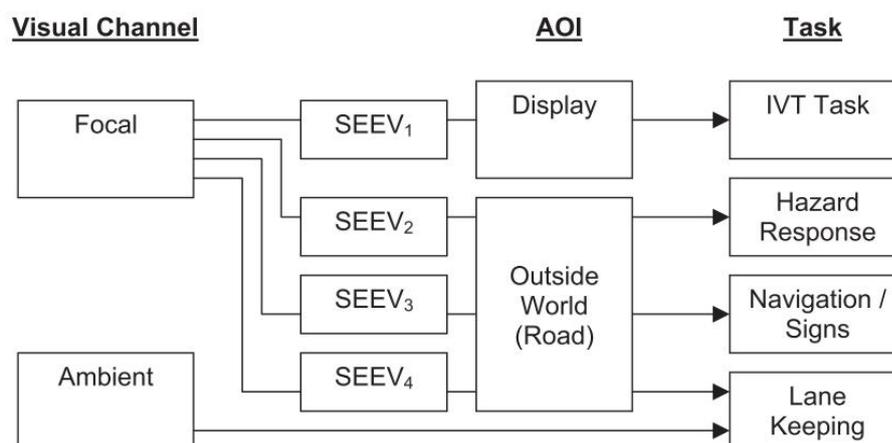


Abbildung 3.2: Konzeptionelles Modell der visuellen (fokalen, ambienten) Aufmerksamkeit, die Parameter des SEEV-Modells, unterschiedliche AOIs und verschiedene Aufgaben (1-4). (In-Vehicle Technology, IVT) [45].

Die Auffälligkeit einer Information ist von der Salienz abhängig. Farbe, Intensität und Ausrichtung sind Eigenschaften, welche die Aufmerksamkeit des Betrachters lenken. Dieser Effekt

kann durch Animationen verstärkt werden. Die Salienz ist für die grafische Informationsgestaltung wichtig, weil sie ein zentraler Aspekt der visuellen Suche [53] ist. Als Aufwand, um Informationen von einem Anzeigort abzulesen, wird der Winkel zwischen den AOIs (Displays, Fahrszene) definiert. Die Wahrscheinlichkeit, die Information abzulesen, sinkt mit dem Abstand einer Informationsquelle, da der Aufwand steigt. Unter der Auftretungswahrscheinlichkeit wird die Bandbreite verstanden, also die Frequenz und Menge einer Information. Je häufiger der Fahrer neue Informationen auf einem Anzeigort erwartet und findet, desto regelmäßiger wird er diesen betrachten. Bei interaktiven Systemen wie dem Infotainmentsystem im Fahrzeug ist nur die Informationsmenge beeinflussbar. Die Frequenz wird vom Nutzer selbst bestimmt. Zudem ist die Aufmerksamkeitszuwendung vom Wert für den Betrachter und von den damit verbundenen Kosten abhängig. So ist beispielsweise die Abwendung von der Fahrszene aufgrund von tertiären Informationen mit hohen Kosten (Ablenkung vom Fahren) und einem vergleichsweise geringen Wert (Radiosender auswählen) verbunden. Der Fahrer sucht demzufolge den Radiosender meist nur dann, wenn die Verkehrssituation diese Handlung zulässt.

Der Aufwand ist für den verteilten Fahrerinteraktionsraum entscheidend, da durch ihn die *Information Access Costs* bestimmt werden. Darunter werden die kognitiven und physikalischen Kosten verstanden, die durch den Abruf von Informationen entstehen. Bestehende Arbeiten haben den Zusammenhang zwischen Information Access Costs und Anzeigort untersucht. In Abschnitt 3.1.2 wird ein Überblick über diese Arbeiten gegeben. Ein Vergleich der Anzeigorte CID und Kombi in Verbindung mit interaktiven Informationen ist nicht bekannt. Das Kombi befindet sich jedoch näher an der Fahrszene als das CID und benötigt lediglich eine einachsige Abwendung.

3.1.2 Informationspräsentation und Ablenkungspotenzial im Fahrzeug

Grundsätzlich wird im Automobil zwischen HUD und HDD unterschieden. Unter Letzterem werden das Kombi und das CID subsumiert. Bisherige Forschungsarbeiten fokussieren das CID in Bezug auf die Menüinteraktion, wohingegen das Kombi dafür noch nicht ausreichend berücksichtigt wurde. In Anzeigesystemen für Piloten hingegen wird zwischen *Head-Level* (HLD) und *Multi-Purpose* Display unterschieden. Ersteres entspricht dem Kombiinstrument und wird analog zum Fahrzeug für die Darstellung von Sensordaten eingesetzt [105]. Das Multi-Purpose Display entspricht in seiner Position dem CID. Es werden Vorteile des HLD gegenüber dem Multi-Purpose Display angedeutet. Dies wird auf den einfacheren Wechsel zwischen HUD und HLD seitens des Betrachters zurückgeführt, da sie direkt aneinander angrenzen [27]. Untersuchungsergebnisse, die diese Sonderstellung des HLD begründen, liegen weder für das Automobil noch für das Flugzeug vor. Eine Ursache dafür ist, dass in diesem Display bislang nur Informationen zur Bearbeitung der sekundären Fahraufgaben angezeigt wurden. Allerdings ist ein Trend hin zu frei programmierbaren Kombiinstrumenten zu beobachten (siehe Abschnitt 2.3.1). Immer mehr tertiäre Aufgaben können dort bedient und abgerufen werden.

Auf die Ablenkung des Fahrers wirkt sich sowohl die Position des Anzeigortes als auch die Struktur der angezeigten Information aus (siehe Abschnitt 3.1.1). Die tertiären Funktionen im Fahrzeug werden großteils über listenbasierten hierarchischen Menüs bereitgestellt. Richtlinien und Standards zur Informationsgestaltung im Fahrzeuginnenraum (siehe Abschnitt 2.2)

weisen zwar auf allgemeine Aspekte der Umsetzung von Benutzerschnittstellen im Fahrzeug hin, allerdings werden dort keine spezifischen Regeln aufgeführt. Es existiert eine Reihe von Forschungsarbeiten, die neuartige Anzeigorte und -konzepte untersuchen. Zur Umsetzung eines verteilten Fahrerinformationsraumes müssen alle relevanten Anzeigorte und deren Restriktionen betrachtet werden. Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über Forschungsarbeiten, die sich dem Ablenkungspotential von Informationen und Anzeigorten im Fahrzeug widmen.

Auswirkung räumlich verteilter Anzeigeflächen

Der Aufwand, Informationen von mehreren Quellen abzulesen (Information Access Costs), wird dem SEEV-Modell zufolge auch vom Abstand der Informationsquellen zueinander bestimmt.

Dieser Aufwand kann als nichtlineare Funktion dargestellt werden [116]. Demnach sind die Kosten für den Informationsabruf im fovealen Bereich am geringsten. Im Blickfeld des Nutzers sind die Kosten leicht ansteigend mit zunehmender Distanz. Außerhalb des Blickfeldes ($> 20^\circ$) wachsen die Abrufkosten stärker an, da zusätzlich zur Augenbewegung ebenso eine Kopfbewegung notwendig ist. Im Fahrzeug kann folglich der Abstand zwischen den Informationsquellen (Fahrscene und Anzeigorte) einen Einfluss auf die Fahr- und Bedienleistung des Nutzers haben (siehe Abbildung 3.3).

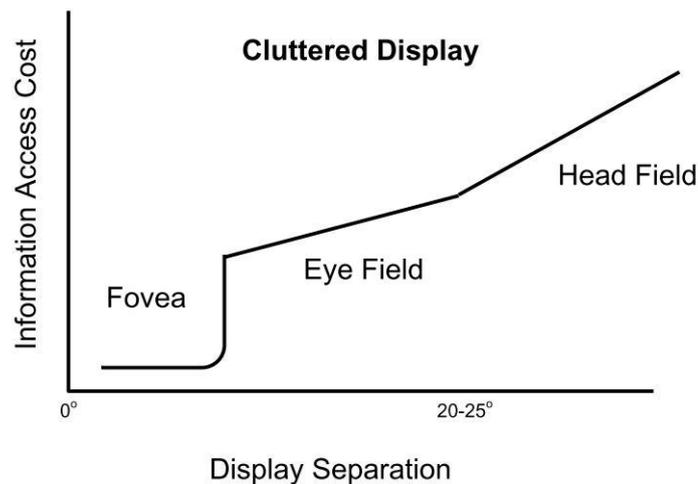


Abbildung 3.3: Aufwand für den Abruf von Informationen abhängig von der räumlichen Verteilung [116].

Kaptein [56] vergleicht die Informationspräsentation in den Anzeigorten HUD und Kombi. Auf beiden Displays wird die Geschwindigkeit dargestellt. Durch die Anzeige im HUD werden die Spurhaltefehler gegenüber dem Kombi reduziert. Nowakowski et al. [79] untersuchen den Unterschied zwischen HUD und CID anhand einer Telefonanwendung, bei der der Anrufername erkannt werden muss. Auch in ihrer Untersuchung werden die Spurhaltefehler durch die Darstellung im HUD begrenzt (60% bei älteren Fahrern und 15% bei jungen Fahrern). Dieser Effekt wird in komplexeren Verkehrssituationen verstärkt. Eine horizontal abweichende Positionierung der Informationsquellen betrachtet Wickens [119]. Auch er attestiert einen Abfall der Fahrleistung mit zunehmender horizontaler Positionsverschiebung. Unter dem Aspekt der Gefahrenerkennung

evaluieren Sojourner et al. [103] verschiedene Anzeigeorte, auf denen die Geschwindigkeit präsentiert wird. Die Probanden mussten in seiner Studie auf einen Ball in der Fahrszene reagieren. Dabei werden im HUD weniger Gefahrensituationen verpasst und kürzere Reaktionszeiten gemessen als im HDD.

Horrey et al. [44] ermitteln die Effekte verteilter Anzeigen auf die Leistung der Fahr- und Nebenaufgabe. Die Versuchsteilnehmer waren angehalten, auf Gefahrensituationen im Simulator zu reagieren und Telefonnummern, dargestellt auf den Displays, vorzulesen. Die Probanden bearbeiteten die Nebenaufgabe im HUD mit kürzeren Reaktionszeiten als im HDD. Leistungseinbußen der Fahraufgabe konnten nicht beobachtet werden, da die übergeordnete Fahraufgabe zulasten der Nebenaufgabe priorisiert wird. Bei zunehmenden Kosten für den Informationsabruf (Abstand) nimmt demzufolge die Leistung der Nebenaufgabe ab.

Der Fokus der bisher vorgestellten Studien liegt ausschließlich auf proaktiven Informationen. Die Interaktion mit Infotainmentanwendungen, die Aktionen des Fahrers erfordern, wurde nicht berücksichtigt. Einerseits unterscheiden sich solche Anwendungen in ihrer Bandbreite, da die Frequenz der Informationsaktualisierung vom Fahrer bestimmt wird, und andererseits im Informationsumfang von den oben genannten Untersuchungen. Es wird jedoch deutlich, dass sich der Abstand des Anzeigeortes zur Fahrszene auf die Fahrleistung, Gefahrenerkennung und Nebenaufgabe auswirkt.

Ablassmeier [1] vergleicht in einer Reihe von Feld- und Simulatorstudien die Menüinteraktion im HUD mit der im CID. Zudem beleuchtet er unterschiedliche Formen der Menüpräsentation (Matrix vs. Liste, siehe Abbildung 3.4) und den Effekt der Informationsmenge. Die Interaktion erfolgte jeweils über ein Bedienelement am Lenkrad.

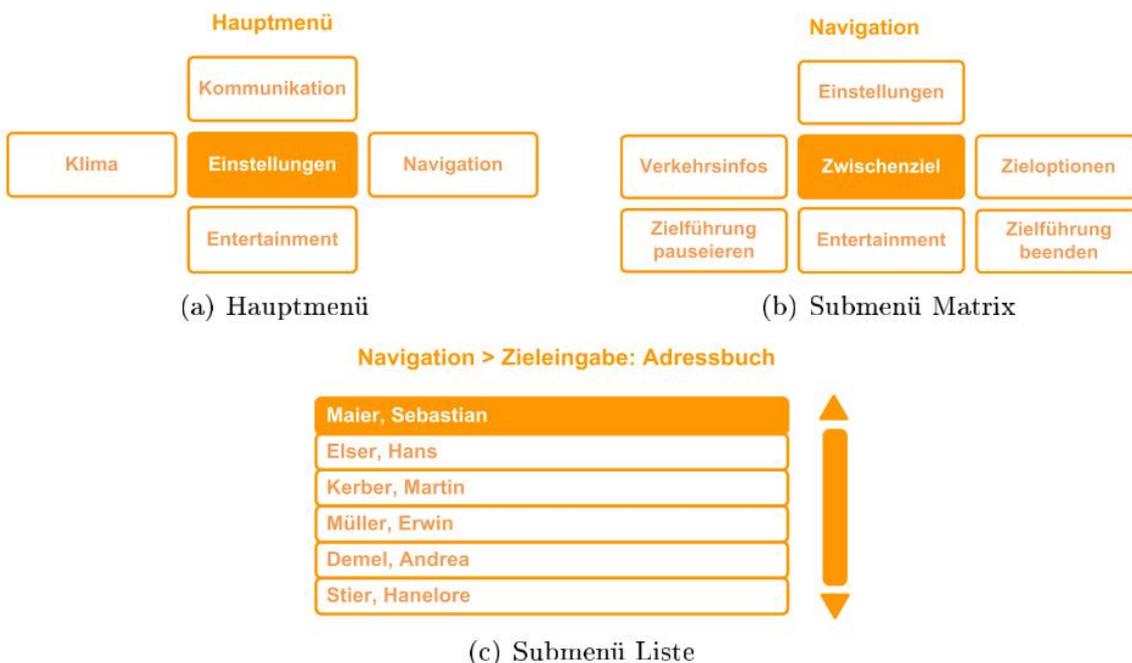


Abbildung 3.4: Menüdarstellung im HUD. a) Hauptmenü mit fünf Einträgen in Matrizenform. b) Submenü in Matrizenform. c) Listendarstellung des Submenüs. [1]

Die Menübedienung im HUD führt zu kürzeren Bedienzeiten als im CID, wobei länger, aber seltener in das HUD geblickt wurde. Negative Auswirkungen auf die Fahraufgabe konnten nicht nachgewiesen werden. In Bezug auf die Menüpräsentation bedienten die Probanden matrizenbasierte Menüs schneller als listenbasierte. Allerdings sinkt die Fahrleistung mit matrizenbasierten Menüs, was er auf eine höhere kognitive Belastung zurückführt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Kujala [59] beim Vergleich von matrizen- und listenbasierten Menüs. Um die angemessene Informationsmenge für das HUD zu ermitteln, untersucht Ablassmeier für beide Menüformen fünf und neun gleichzeitig angezeigte Einträge. Die Bedienung von neun Menüeinträgen resultiert in einer längeren Bediendauer als die von fünf Einträgen.

Auch Milicic [70] betrachtet in ihren Untersuchungen die Menüinteraktion im HUD. Die Ergebnisse belegen, dass bei kleinen Informationsmengen (kurze und flache Menüs) das HUD besser geeignet ist als das CID. Anzeigen im HUD führen zu besseren Fahrleistungen und kürzeren Bedienzeiten, obwohl längere Blickzeiten in das HUD gemessen wurden. Ebenso wie bei Ablassmeier wurde dem HUD eine sehr hohe Nutzerakzeptanz attestiert. Außerdem konzentriert sich Milicic auf die Phänomene: *Cognitive Capture* und *Perceptual Tunneling*. *Cognitive Capture* bezeichnet die unbewusste Aufmerksamkeitsabwendung von der Fahrszene hin zum HUD. Dies kann dazu führen, dass kritische Situationen übersehen werden und sich somit negativ auf die Fahrleistung auswirken. Dieses Phänomen konnte im Zusammenhang mit dem HUD bislang nur bei kognitiv hoch beanspruchten Piloten nachgewiesen werden [61]. *Perceptual Tunneling* beschreibt die Verengung des Blickfeldes durch eine anzeigensbedingte Erhöhung der Aufmerksamkeit. Als Konsequenz können im peripheren Blickfeld auftretende Ereignisse nicht mehr wahrgenommen werden. Beide Effekte konnten bislang bei der statischen Informationspräsentation im HUD nicht nachgewiesen werden. Milicic [70] konnte auch im Zusammenhang mit der Menüinteraktion im Fahrzeug keine Hinweise auf diese Phänomene feststellen.

Listen- und menübasierte Informationen

Listenbasierte hierarchische Menüs eignen sich dazu, eine große Anzahl an Informationen bereitzustellen. Ihre Struktur ermöglicht die Organisation und Reduktion der Auswahlmöglichkeiten für den Nutzer [76]. Neben anderen Eigenschaften sind Menübreite und -tiefe für den effizienten Umgang mit einem Menü verantwortlich.

Die Menübreite bezeichnet die Anzahl der Auswahlmöglichkeiten pro Ebene. Je breiter Menüs gestaltet sind, desto höher ist der Zeitaufwand für das Auffinden eines Eintrages, da zahlreiche Einträge durchsucht werden müssen. Die Suchzeit wird dabei entscheidend von der Reihenfolge der Einträge beeinflusst. Die Menütiefe hingegen beschreibt die Anzahl an Hierarchieebenen. Bei tiefen Menüs sind im Gegensatz zu breiten Menüs mehr Auswahlsschritte seitens der Nutzer erforderlich. Jeder Auswahlsschritt umfasst die visuelle Suche des gewünschten Elementes, die Entscheidung, ob dieser Eintrag der richtige ist, und die Bestätigung der Auswahl. Folglich wird zwar eine geringere Anzahl an Einträgen pro Ebene notwendig, die Anzahl der Ebenen jedoch steigt. Zudem nimmt bei einer großen Anzahl an Hierarchieebenen die Unsicherheit und damit die Fehlerwahrscheinlichkeit zu, eine Information ihrer übergeordneten Kategorie richtig zuzuordnen [76].

Lineare [62] und logarithmische [60] [10] Modelle beschreiben den Suchaufwand abhängig

von der Menübreite. Norman [76] macht auf die unterschiedlichen Resultate der beiden Modelle aufmerksam und bezweifelt deren Generalisierbarkeit aufgrund unbekannter Faktoren wie die semantische Einordnung von Menüpunkten. Allgemein gilt: Die visuelle Suchzeit nimmt mit einer steigenden Anzahl an Menüpunkten zu.

Die millersche Zahl sieben plus minus zwei [72] weist auf die Fähigkeit des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses hin, sieben (plus minus zwei) Informationseinheiten gleichzeitig speichern zu können. Dies wird unter anderem als optimale Anzahl an Menüeinträgen pro Hierarchie interpretiert. Kujala [59] vergleicht in seiner Studie zwei, vier, sechs und neun angezeigte Listeneinträge im Fahrzeug. Er stellt fest, dass zwischen zwei und vier Listenelementen keine Unterschiede bezüglich der Fahr- und Bedienleistung existieren. Vier Listenelemente bewirken sogar kürzere maximale Blickzeiten als zwei. Bei sechs dargestellten Elementen ist lediglich ein leichter Anstieg der maximalen Blickzeiten zur erkennen. Bei neun Einträgen verdoppeln sich die Blickzeiten annähernd. Diese Ergebnisse stimmen mit Ablassmeier [1] überein, der zwischen fünf und neun Einträgen Unterschiede feststellt. Ihm zufolge wirkt sich die Darstellung von fünf Elementen weniger auf die Fahraufgabe aus als neun.

Snowberry et al. [102] untersuchen basierend auf der Studie von Miller [71] den Einfluss von Menütiefe und -breite. Die Aufgabe der Nutzer bestand darin, Menüeinträge aus unterschiedlich breiten und tiefen hierarchischen Menüs auszuwählen. Die Summe der Menüoptionen in der tiefsten Ebene betrug bei allen getesteten Varianten 64. Das Menü mit den meisten Hierarchieebenen hatte zwei Auswahlmöglichkeiten pro Hierarchie und sechs Hierarchien (2^6). Die weiteren Bedingungen¹ waren 4^3 , 8^2 und 64^1 . Bei der Menüstruktur 64^1 wurden zwei weitere Ausprägungen überprüft: RAN64 mit zufälliger und CAT64 mit kategorischer Anordnung der Einträge. Vor Studienbeginn wurden die Teilnehmer mit der Menüstruktur und den verwendet Begrifflichkeiten vertraut gemacht. Die zu suchende Menüoption wurde zufällig aus der tiefsten Menüebene ausgewählt und vor Aufgabenbeginn auf dem Bildschirm dargestellt. Anschließend mussten die Probanden die Menüoption finden und selektieren. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass eine ausgeglichene Menüstruktur (8^2 , 4^3) die Suchzeiten verkürzt. Sehr tiefe oder breite Menüs verlangsamten die Suchzeiten, wobei die Aufgaben mit RAN64 schneller als mit 2^6 durchgeführt wurden. Diese Ergebnisse stimmen mit Millers Experimenten [71] überein. Die kategorische Anordnung der breitesten Menüstruktur (CAT64) erzielte die schnellsten Suchzeiten. In Bezug auf die Fehlerrate wurden mit tiefen Menüs schlechtere Ergebnisse erzielt als mit flachen. 8^2 wurde dabei mit minimal mehr Fehlern bewerkstelligt als RAN64 und CAT64. Snowberry führt die höhere Fehlerrate und die längere Suchzeit auf die Semantik der Kategorienamen zurück.

Totzke et al. [109] evaluieren in ihren Studien, ob diese Resultate auch auf die Doppelaufgabenumgebung im Fahrzeug übertragbar sind. Dazu führten sie eine Single-Task- und eine Dual-Task-Studie durch. In beiden Untersuchungen wurden ein 8×8 Menü² mit einem $4 \times 2 \times 2 \times 4$ Menü³ verglichen.

Die Ergebnisse der Single-Task-Studie verweisen auf kürzere Bedienzeiten mit der breiten Menüstruktur. Ferner untersucht Totzke den Unterschied zwischen den Interaktionsschritten Blät-

¹ 4^3 entspricht vier Auswahlmöglichkeiten auf drei Hierarchien. 8^2 entspricht acht Auswahlmöglichkeiten auf zwei Hierarchien. 64^1 entspricht alle Auswahlmöglichkeiten auf einer Hierarchie.

²Acht Menüeinträge pro Menüseite auf zwei Ebenen (entspricht 8^2).

³Vier Menüeinträge auf der erste Ebene, zwei auf der zweiten und dritten Ebene und vier auf der letzten Ebene.

tern und Wechseln. Blättern bezieht sich auf die Navigation innerhalb einer Hierarchieebene, Wechseln auf den Wechsel zwischen Hierarchieebene. Mit dem tiefen Menü werden Wechselschritte schneller vollzogen als Blätterschritte. Genau umgekehrt verhält es sich mit der breiten Menüstruktur: Blätterschritte werden schneller als Wechselschritte ausgeführt. Den Grund dafür sieht er in den initialen Bedienschritten. Sowohl der erste Blätterschritt als auch der erste Wechselschritt werden langsamer durchgeführt als darauf folgende Bedienschritte, da laut Totzke bei "ersten Schritten" andere Prozesse wirksam werden als bei Folgeschritten. Dadurch wird die durchschnittliche Dauer eines Bedienschrittes verfälscht. Zudem analysiert er die Vorbereitungszeit der Probanden auf den ersten Bedienschritt und stellt fest, dass Wechselschritte eine längere Vorbereitung benötigen als Blätterschritte. Dies wird auf einen höheren kognitiven Aufwand der Wechselschritte zurückgeführt.

In der Dual-Task-Studie wurden die Probanden aufgefordert, eine Trackingaufgabe im Fahr-simulator und eine Menübedienung simultan durchzuführen. Dabei wurden kürzere durchschnittliche Blickzeiten, eine geringere mittlere Spurabweichung sowie geringfügig kürzere Navigationszeiten mit der tiefen Menüstruktur gemessen.

Die Auswirkungen der Menüstruktur sind also nicht von der Single-Task- auf die Dual-Task-Bedingung übertragbar. Breite Menüs beanspruchen den Fahrer visuell und kognitiv mehr und führen somit zu größeren Interferenzen zwischen der Fahrzeugführung und Systembedienung.

Neben der Menübreite und -tiefe kann die Formulierung und Kategorisierung von Menüpunkten das Nutzerverständnis und die Performanz entscheidend beeinflussen. Auch der Zusammenhang zwischen Menüinhalt und -struktur sowie die grafische Umsetzung wirken sich auf die Menübedienung aus [76].

3.2 Verteilte Anzeigen und Informationen

Die Informationsverteilung auf die Anzeigeflächen in modernen Automobilen findet derzeit systemseitig statt. Der Fahrer hat kaum Einfluss darauf, wo welche Anwendung dargestellt werden soll. Eine aufgabenorientiert Individualisierung des FIS ist bis dato nicht vorgesehen. Ebenso wenig existiert ein logisches Zusammenspiel der Displays im Fahrzeug. Sie erscheinen dem Nutzer als isolierte Systeme. Zahlreiche Forschungsarbeiten untersuchen den Einsatz mehrerer Anzeigeeorte für Arbeitsplatzrechner. Sie beleuchten die Vorteile und Herausforderungen multipler Displays und eröffnen innovative Anwendungen. Des Weiteren werden Ansätze aus dem Forschungsgebiet der Informationsvisualisierung betrachtet, um ein logisches Zusammenspiel der Anzeigeeorte im Fahrzeug zu ermöglichen. Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über dafür relevante Ansätze und untersucht sie auf die Anwendbarkeit im Fahrzeug.

3.2.1 Multiple und Distributed Display Environments

Grundsätzlich wird bei Systemen mit mehreren, physikalisch getrennten Anzeigen zwischen *Multiple Display Environments* (MDEs) und *Distributed Display Environments* (DDEs) differenziert. MDEs [48] subsumieren Systeme, die aus einem oder mehreren miteinander vernetzten Endgeräten bestehen und Zugriff auf eine gemeinsam genutzte Anzeigefläche (*Workspace*)



Abbildung 3.5: a) Problem der physikalischen Lücke zwischen zwei Bildschirmen bei Interaktion. b) *Shortest path* Kalibrierung zwischen den Bildschirmrändern. [89]

haben. Zudem können mehrere Nutzer auf die gemeinsamen Anzeigen zugreifen. DDEs [49] hingegen setzen sich aus einem System mit mehreren Anzeigeflächen zusammen.

Anhand einer qualitativen Befragung analysiert Grudin [34] das Potenzial mehrerer Monitore an einem PC. Ihm zufolge nutzen die Probanden die Displays nicht dazu, die Anzeigefläche einer Anwendung zu vergrößern, sondern parallel ausgeführte Anwendungen zu ordnen. Dabei priorisieren die Teilnehmer je nach Hauptaufgabe, welche Anwendung auf dem Primärbildschirm positioniert wird. Der Großteil der Teilnehmer gab an, auf diese Weise effizienter arbeiten zu können. Zudem ist ein schnellerer Wechsel zwischen den aktiven Anwendungen ohne zusätzliche Bedienhandlung (Auswahl in der Taskbar, STRG + TAB) möglich. Die Teilnehmer attestierten dem System eine übersichtlichere Darstellung, da jede Anwendung immer an derselben Stelle platziert werden kann und jeder Zeit sichtbar ist. Außerdem konstatiert Grudin [34], dass ein großes Display nicht notwendigerweise benutzerfreundlicher ist als mehrere kleine, da die räumliche Verteilung parallel laufender Anwendungen das Verständnis der Nutzer fördert.

Truemper et al. [110] weisen in ihrer Studie einen Leistungszuwachs bei der Verwendung mehrerer Anzeigeorte gegenüber nur einem Bildschirm nach. Sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Resultate belegen den Vorteil mehrerer Anzeigeorte. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Czerwinski et al. [13]. Sie verglichen einen großen (42") und einen kleinen Bildschirm (17") und resümieren, dass eine größere Anzeigefläche Multitasking besser unterstützt.

Die Crux beim Einsatz mehrerer Bildschirme ist die Interaktion: Bei der Bedienung von WIMP-Oberflächen können Anwender den Fokus des Cursors verlieren. Eine deutlichere grafische Umsetzung des Cursors kann dem entgegenwirken [89]. Zudem führt die feste Position der Taskbar zu weiten Wegstrecken mit dem Cursor. Idealerweise sollte die Taskbar dort platziert sein, wo der Aufmerksamkeitsfokus des Anwenders liegt. Eine weitere Herausforderung nennt Czerwinski et al. [13]: Die Probanden in ihrer Studie "vergaßen", die gewünschte Anwendung zu aktivieren, das heißt den Fokus des Bedienelementes auf die Anwendung zu legen, bevor sie mit ihr interagierten. Ebenso erschwert die physikalische Lücke zwischen zwei Bildschirmen die Interaktion mit MDEs (siehe Abbildung 3.5).

Input Redirect und *Content Redirect* sind Techniken, die die Bedienung von MDEs erleichtern und Nachteile beheben [113]. *Input Redirect* beschreibt den Wechsel des Eingabegerätes von einem Bildschirm zum anderen. Stellen die Monitore einen gemeinsamen Workspace dar, kann dies durch ein zusätzliches visuelles Feedback ergänzt werden [89]. Wird jeder Monitor als separater Workspace behandelt, kann der Fokus des Eingabegerätes durch dafür vorgesehene Tasten ausgewählt werden (siehe Abbildung 3.6). Dabei folgt die Positionierung des Cursors im Ziel-

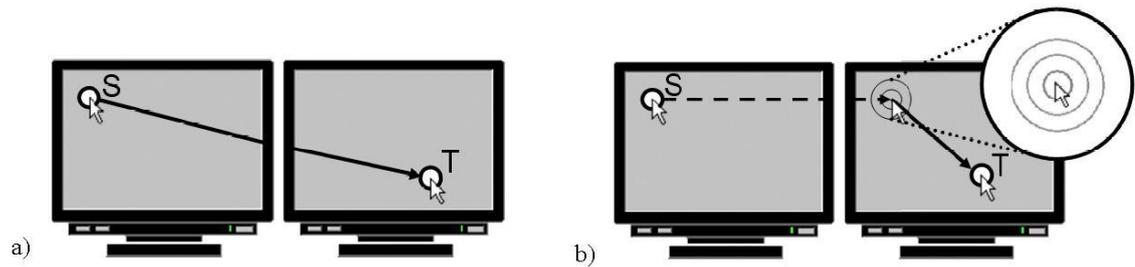


Abbildung 3.6: a) Mausbewegung bei konventionellen Systemen. b) M3 Maus: Durch Tastendruck wird der Cursor in das andere Display gelegt. [5]

display verschiedenen Strategien [5]: gleiche Position wie im vorherigen Display (relativ) oder immer im Zentrum des Zieldisplays (absolut). Alternativ können auch dafür vorgesehene Icons den Eingabeort bestimmen [6].

Die Spiegelung des Inhaltes von einem Monitor auf einen anderen wird als Content Redirect bezeichnet. Die Interaktion erfolgt immer auf demselben Monitor. Ein Beispiel dafür ist die Replikation des Inhaltes eines großflächigen öffentlichen Displays auf einen Laptop. Der Anwender interagiert auf dem Laptop mit diesen Informationen, die auf den gespiegelten Anzeigort übertragen werden [113].

3.2.2 Multiple Coordinated Views

Multiple Coordinated Views (MCVs) ist eine Technik der Informationsvisualisierung, die es dem Anwender erlaubt, seine Daten auf explorative Weise zu betrachten [115]. Der Ursprung von MCV liegt in der Visualisierung komplexer, großer Datenmengen. Dabei werden unterschiedliche Repräsentationen auf ein und dieselben Daten bereitgestellt. So wird eine bessere Übersicht gewährleistet und Datenzusammenhänge leichter erkannt, die anhand der Daten selbst nicht evident sind. Die unterschiedlichen Visualisierungen werden gleichzeitig angezeigt und können im Falle einer nutzerseitigen Interaktion logisch miteinander verknüpft sein (*coordinated*). Werden nur zwei Ansichten auf einen Datensatz angezeigt, spricht man von *Dual Views* [12]. Diese zwei Ansichten können folgende Zusammenhänge aufweisen [88]:

- *Overview & Detail*: Eine Ansicht präsentiert den gesamten Datensatz. In einer zweiten Ansicht wird durch die Aggregation, Abstraktion oder Vereinfachung eine Übersicht angezeigt.
- *Focus & Context*: Analog zu Overview & Detail werden Übersichts- und Detailinformationen dargestellt. Der Hauptunterschied besteht darin, dass der fokussierte Datensatz nur partiell angezeigt wird.
- *Difference View*: Stellen eine Vermischung zweier Datensätze dar, bei denen die Unterschiede hervorgehoben werden.
- *Master/Slave*: Sind Dual Views, die sich gegenseitig beeinflussen.

MCVs werden nicht nur für komplexe und umfangreiche Datensätze verwendet, sondern auch für klassische Desktopanwendungen eingesetzt. Microsoft Outlook⁴ ist ein bekanntes Beispiel für eine Focus & Context- und eine *Master/Slave*-Beziehung zwischen den Ansichten (siehe Abbildung 3.7 a)). In der linken Spalte wird ein Überblick über die vorhandenen Ordner (Posteingang, Postausgang, Papierkorb etc.) gegeben. Die mittlere Spalte visualisiert die Inhaltsübersicht des übergeordneten Ordners als Kurzzusammenfassung der einzelnen Emails. In der rechten Spalte werden die Details zu der ausgewählten Email dargestellt. Die *Master/Slave*-Beziehung wird bei Interaktion mit den zwei linken Spalten sichtbar. Sie beeinflusst die untergeordnete Detailansicht auf den Emailinhalt. Ein weiteres Beispiel ist Apples⁵ iTunes (siehe Abbildung 3.7 b)).

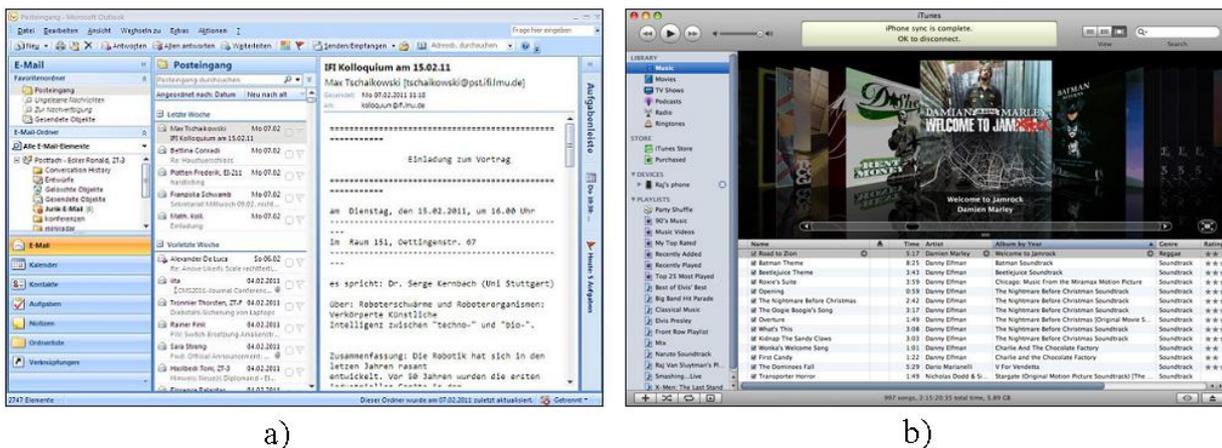


Abbildung 3.7: Beispiele für MCV. a) Microsoft Outlook. b) Apple iTunes.

Der Vorteil dieser Anwendungen besteht darin, dass sowohl die übergeordnete Struktur der Daten als auch die Detailansicht gleichzeitig sichtbar sind. Somit sind schnelle Wechsel zwischen verschiedenen Hierarchien möglich, ohne weitere Bedienschritte durchführen zu müssen [77]. In einer hierarchisch aufgebauten Menüstruktur, bei der immer nur eine Hierarchieebene zu sehen ist, wären dafür mehrere Bedienschritte nötig. Außerdem ist der strukturelle Kontext der jeweiligen Detailansicht nicht erkennbar.

Nach Baldonado et al. [115] besitzen MCVs das Potenzial, die kognitive Beanspruchung des Nutzers im Vergleich zu einer komplexen Ansicht zu reduzieren. Allerdings können auch gegenteilige Effekte erzielt werden. Es muss der höhere Zeitaufwand zum Erlernen mehrerer Visualisierungen eines Datensatzes berücksichtigt werden. Ferner kann sich der ständige Kontextwechsel und der Vergleich unterschiedlicher Ansichten negativ auf den kognitiven Aufwand auswirken. Deshalb definieren Baldonado et al. [115] Regeln, die den Nutzen und die Kosten von MCVs abwägen. Im Rahmen dieser Arbeit ist vor allem die *Rule of Diversity* und die *Rule of Attention Management* von Bedeutung. Erstere begründet den sinnvollen Einsatz von MCVs, wenn die Daten durch zahlreiche Attribute, Modelle, Nutzerprofile, Abstraktionsniveaus oder Genres beschrieben werden können. Die *Rule of Attention Management* weist auf die Aufmerksamkeitslenkung des Nutzers hin. Sie soll sicher stellen, dass bei der Interaktion mit MCVs der Fokus der

⁴<http://office.microsoft.com/>

⁵<http://www.apple.com/de/itunes/>

Anwender immer auf der richtigen Ansicht liegt.

3.3 Personalisierung von Anwendungen und Informationen

Mit der steigenden Anzahl an Funktionen und der zunehmenden Informationsvielfalt nimmt auch die Komplexität von Anwendungen zu [21]. Phänomene solcher Art werden *Creeping Futurism* (schleichender Futurismus) [57] oder *Bloatware* (aufgeblähte Software) [40] genannt. Sie beschreiben die wachsende Informations- und Funktionsflut, denen der Nutzer zunehmend ausgesetzt ist. Findlater et al. [21] bezeichnen dies einerseits als Zugewinn. Für den Anwender ergeben sich neue Möglichkeiten, da neue Funktionen bereitgestellt werden. Andererseits werden die meisten verfügbaren Funktionen nicht genutzt. Somit muss ein großer Teil der ungenutzten Funktionen übersprungen werden, um zu den gewünschten zu gelangen. Eine Möglichkeit mit der funktionellen Überladung von Anwendungen umzugehen, bieten intelligente Benutzerschnittstellen (*Intelligent User Interfaces*). Diese Systeme helfen dem Nutzer die Informationsflut und -filterung besser zu handhaben, indem sie Anwendungen durch die Individualisierung und Personalisierung weniger komplex und flexibler gestalten. Dadurch kann auch die kognitive Belastung in echtzeitkritischen Situationen reduziert werden [43]. Benutzerschnittstellen dieser Art sind *Attentive User Interfaces* (AUI) [111] und *Context Aware Interfaces* [97]. Vertegaal [111] geht davon aus, dass die Aufmerksamkeit des Nutzers als limitiertes Gut angesehen werden soll. Die zunehmende Anzahl an Anwendungen und Endgeräten agieren allerdings isoliert, ohne den Status anderer Systeme und die Situation des Nutzers zu beachten. Somit wird der Anwender häufig unterbrochen. Systemseitig werden die damit verbundenen Kosten außer Acht gelassen. AUIs wirken diesem Systemverhalten entgegen und berücksichtigen die intendierte Aufmerksamkeit und Aktion des Benutzers. Diese Ansätze bieten sich für den Einsatz im Fahrzeug an, um die wachsende Komplexität des FIS für den Fahrer zu reduzieren und eine aufgabenorientierte Anpassung des Fahrerinteraktionsraumes zu ermöglichen. In diesem Abschnitt werden existierende Arbeiten aus dem Bereich der Individualisierung und Personalisierung vorgestellt.

3.3.1 Formen der Personalisierung

Von Personalisierung ist dann die Rede, wenn Informationen über einen Nutzer (Nutzerprofil) verwendet werden, die geeigneten Inhalte zu filtern oder auszuwählen. Die dargestellte Information ist dadurch für eine Benutzergruppe oder einen spezifischen Nutzer optimiert. Letzteres wird auch als Individualisierung bezeichnet [96]. Die Website Amazon⁶ veranschaulicht beide Strategien: Besucht man das Webangebot, ohne eingeloggt zu sein, wird die Website personalisiert. Es werden die meist verkauften Artikel aller Nutzer angezeigt. Meldet man sich mit seiner persönlichen Kennung an, findet eine Individualisierung statt, indem die für den jeweiligen Nutzer gefilterten Angebote aufgelistet werden.

⁶<http://amazon.de>

	Adaptive	Adaptable
Definition	dynamic adaptation by the system itself to current task and current user	user changes (with substantial system support) the functionality of the system
Knowledge	contained in the system; projected in different ways	knowledge is extended
Strengths	little (or no) effort by the user; no special knowledge of the user is required	user is in control; user knows her/his task best; system knowledge will fit better; success model exists
Weaknesses	user has difficulty developing a coherent model of the system; loss of control; few (if any) success models exist (except humans)	systems become incompatible; user must do substantial work; complexity is increased (user needs to learn the adaptation component)
Mechanisms Required	models of users, tasks, and dialogs; knowledge base of goals and plans; powerful matching capabilities; incremental update of models	layered architecture; domain models and domain-orientation; "back-talk" from the system; design rationale
Application Domains	active help systems, critiquing systems, differential descriptions, user interface customization, information retrieval	information retrieval, end-user modifiability, tailorability, filtering, design in use

Tabelle 3.1: Vergleich zwischen adaptiven und adaptierbaren Benutzeroberflächen [22].

Die Personalisierung kann auf der Basis von expliziten und impliziten Benutzerdaten erfolgen. [23]. Bei der expliziten Variante gibt der Nutzer selbst die Kriterien an wie zum Beispiel persönliche Interessen oder bevorzugte Funktionen. Auf Basis dieser Daten wird die Benutzeroberfläche angepasst. Die implizite Datenerfassung erfolgt systemseitig anhand des Nutzerverhaltens und ist für den Anwender nicht sichtbar.

Des Weiteren wird zwischen Adaptierbarkeit und Adaptivität von Anwendungen [22] differenziert. Die Adaptivität erfolgt systemseitig und ist nicht durch den Anwender kontrollierbar. Adaptierbarkeit beschreibt hingegen die Fähigkeit eines Systems, von einem spezifischen Benutzer angepasst zu werden. Es ist jedoch nicht jeder Anwender bereit, sich diese Fertigkeit anzueignen, da das Erlernen von neuen Funktionen Zeit kostet und mit Aufwand verbunden ist. Die Adaptierbarkeit wird eher bei neuen Anwendungen erlernt. Wird ein Softwareupdate mit dieser zusätzlichen Funktion ausgeliefert, sind die Benutzer weniger gewillt, sich dies anzueignen. Beherrscht ein Nutzer das Anpassen seiner Software, wird dies meist beibehalten und genutzt [63]. Tabelle 3.1 stellt die Vor- und Nachteile der beiden Strategien einander gegenüber.

Zudem existieren Konzepte, die beide Ansätze kombinieren. Sie ergänzen automatisch erhobene Nutzerdaten mit expliziten Nutzereingaben und können so die gegebenenfalls existierenden Unsicherheiten des Systems kompensieren [46].

3.3.2 Personalisierung des FIS

Heimgartner et al. [37] weisen auf die Notwendigkeit hin, die Benutzerschnittstelle im PKW adaptiv zu gestalten. Sie konstatieren, dass die Benutzerschnittstelle auf die Erfahrung des Fahrers

und an seine kulturelle Herkunft angepasst werden sollte, um die kognitive Beanspruchung zu reduzieren. Sie nennen drei Gründe für ein adaptives FIS und FAS:

- Es ist schwierig für den Fahrer in extremen Fahrsituationen mit komplexen Funktionen und Informationen zu interagieren. Die mentale Beanspruchung, die durch alle möglichen Sinne (visuell, auditiv und haptisch) entsteht, übersteigt die Kapazitäten des Fahrers.
- In gefährlichen Situationen soll die mentale Beanspruchung des Fahrers durch die automatische Anpassung des Informationsflusses minimal gehalten werden. Dabei sollen auch externe Sensordaten zur Adaption des FIS verwendet werden.
- Das Ausgabemedium sollte sich automatisch so anpassen, dass daraus die geringste Beanspruchung für den Fahrer resultiert (Verwendung unterschiedlicher Anzeigeorte).

Zudem nennen sie Gestaltungsprinzipien, die bei der Umsetzung adaptiver Systeme beachtet werden müssen:

- Das Ablenkungspotenzial muss so gering wie möglich sein.
- Die Benutzerschnittstelle muss so einfach wie möglich sein.
- Der Grund der Anpassung und die Art der Anpassung muss für den Fahrer jeder Zeit verständlich sein. Deshalb darf der Bezugsrahmen nicht zu stark variieren.
- Die Anpassung muss so selten wie möglich vollzogen werden.
- Der Fahrer sollte jeder Zeit die freie Wahl über die Ein- und Ausgabemodalität haben.
- Die Kombination unterschiedlicher Modalitäten sollte gewährleistet sein.
- Die Unterbrechbarkeit der Interaktion muss gegeben sein.

Marm [67] setzt in seiner Arbeit eine Kombination aus einer adaptiven und adaptierbaren Benutzerschnittstelle ein. Um die Funktionen des FIS zu filtern und anzupassen, verwendet er das Prinzip des *Information Dimming*. Basierend auf der Befragung von Anwendern wurden drei Modi definiert: Privat-, Geschäfts- und Spaßfahrt. Das Fahrzeug passt seine Benutzeroberfläche adaptiv an diese Modi an. Der implementierte Prototyp umfasst drei Anwendungen: Unterhaltung (Radio), Kommunikation (Telefon) und Navigation. Dabei kann jede Anwendung in unterschiedlichen Dimmstufen dargestellt werden. Die Kommunikationsanwendung kann beispielsweise drei Ausprägungen annehmen, wobei dem Fahrer für die Spaßfahrt der geringste (kein Telefon, kein SMS, keine Email) und für die Geschäftsfahrt der maximale Funktionsumfang (Telefon, SMS, Email) zur Auswahl steht. Zudem können die Anwender manuell den Detailgrad einer Anwendung bestimmen (adaptierbar). Dabei sind alle Anwendungen immer gleichzeitig sichtbar (siehe Abbildung 3.8). Der Nutzer selbst entscheidet auf diese Weise selbst über den Informations- und Funktionsumfang der jeweiligen Anwendung. Die Evaluierung des Systems ergab, dass die Dimmfunktionalität von den Anwendern sehr positiv aufgenommen wurde. Ebenso stufen sie den Prototypen als sehr attraktiv ein. Die Usability hingegen wurde schlecht bewertet, was Marm auf die technische Umsetzung der Interaktion zurückzuführen.

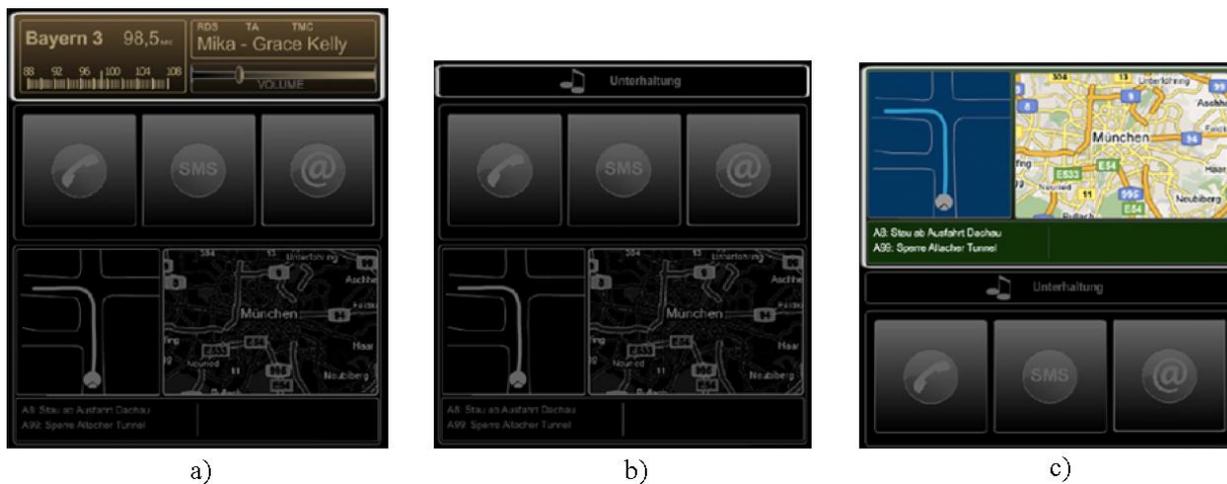


Abbildung 3.8: Informationsdimming zur Filterung von Funktionen und Informationen [67]. a) Radio aktiv. b) Radio deaktiviert. c) Navigation aktiv.

Drei weitere adaptierbare und adaptive Benutzeroberflächen im Fahrzeug entwickelte Ratkovic [84]. Er verwendet die Browser-Metapher, die durch den Vorwärts- und Rückwärtsbefehl einen Funktionsabruf basierend auf der Navigationshistorie des Nutzers erlaubt. So können die Anwender abhängig von zuvor durchgeführten Funktionen zwischen den Anwendungen wechseln. Die Expertenbefragung ergab, dass sich diese Metapher auch für den Einsatz im Fahrzeug eignet. Allerdings erlaubte diese Variante keine Parallelbedienung. Deshalb untersuchte Ratkovic [84] ein Konzept, das den parallelen Zugriff auf Funktionen aus anderen Anwendungen erlaubt, ohne den aktuellen Bedienkontext zu verlassen. Dazu wurde ein Menü bereitgestellt, das entweder durch den Anwender konfiguriert oder durch die Verwendungshäufigkeit einer Funktion automatisch generiert wird. Beispiele für solche häufig verwendeten Funktionen sind: Zielführung starten / stoppen oder nächster / vorheriger Musiktitel. Somit kann der Fahrer schnell auf häufig verwendete Funktionen anderer Anwendungen zugreifen, ohne die aktuelle Bedienung zu unterbrechen. Ein weiteres Konzept stellt die Modalitätenempfehlung dar, die dem Fahrer situationsabhängig über die aktuell verfügbaren, geeigneten Eingabemodalitäten informiert, welche sich je nach Anwendung unterscheiden können.

Breisinger [7] evaluiert die kontextabhängige Adaption von HUD-Anzeigen (*Generic Head-Up Display*). Er variiert den Detailgrad und Informationsgehalt abhängig von der Distanz zum bevorstehenden Ereignis. Wie in Abbildung 3.9 unterteilt er das HUD in drei Anzeigebereiche: Verkehrshinweise (Schilder), *Active Cruise Control* und Navigationshinweise. Um die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die relevante Information zu lenken, wird diese vergrößert und detailliert angezeigt. Die verbleibenden Anzeigen werden reduziert und treten in den Hintergrund (siehe Abbildung 3.9 a) b) c)). Zudem hat der Anwender die Möglichkeit, Informationen selbst zu priorisieren. Dies ist notwendig, falls das System keine Priorisierung durchführen kann. Laut einer Nutzerstudie bevorzugen die Teilnehmer das *Generic Head-Up Display* gegenüber einem statischen HUD. Zudem stellt Breisinger [7] fest, dass die Fahrer zusätzlich zu den teils statischen FAS-Informationen die Musik- und Telefonanwendung im HUD bedienen wollen.

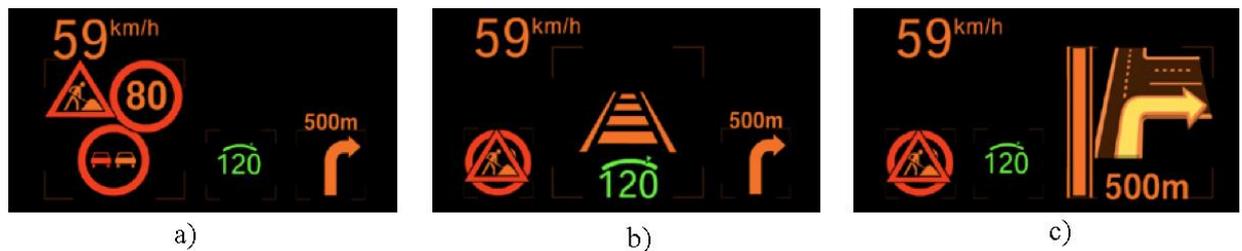


Abbildung 3.9: Anpassung des HUD abhängig von der Fahrsituation [7]. a) Relevante, kurz bevorstehende Verkehrshinweise. b) ACC während der Adjustierung des Abstandes. c) Navigationshinweise.

3.3.3 Interaktion mit verteilten Displays

Pick and Drop ist eine Interaktionstechnik der direkten Manipulation und stellt eine Erweiterung von *Drag and Drop* dar [86]. Sie eignet sich neben anderen unidirektionalen Interaktionsvarianten von *Drag and Drop* wie *Stitching* und *Hyperdragging* zur Interaktion mit und Individualisierung von DDEs [11]. Einen ausführlichen Überblick über *Drag-and-Drop*-Varianten bieten Collomb et al. [11].

Pick and Drop [86] ist eine stiftbasierte Interaktionstechnik. Durch das Antippen und anschließende Heben des Stiftes, wählt der Anwender ein Objekt aus (*Pick*). Nähert sich der Stift einem entfernten Display (eines gegebenenfalls anderen Gerätes), wird das ausgewählte Objekt dort visualisiert. Berührt der Stift den entfernten Bildschirm, findet die *Drop*-Aktion statt und das Objekt wird dort abgelegt.

Stitching [39] wird ebenfalls mit einem Stift durchgeführt. Es wird jedoch eine *Drag*-Geste zu den Rändern des Startdisplays ausgeführt. Am Zieldisplay kann die Geste fortgesetzt werden, um das Objekt am gewünschten Ort zu platzieren.

Hyperdragging basiert ebenso auf einer Geste in Richtung des Bildschirmrandes. Das Objekt springt dann auf das nächstgelegene Display, auf dem weitere Aktionen durchgeführt werden können. Die Geste muss also nicht wie beim *Stitching* auf dem anliegenden Display weitergeführt werden.

3.4 Der Blick als zusätzliche Eingabemodalität

Die multimodale Interaktion mit computerbasierten Systemen unterstützt den Anwender mittels unterschiedlicher Eingabe- (Sprache, Gestik, Blick, Haptik) als auch Ausgabemodalitäten (auditiv, visuell, haptisch) [83]. So können Informationen auf verschiedene Ressourcen der menschlichen Informationsverarbeitung verteilt werden. Interferenzen bei der Ausführung von *Dual-Task*-Aufgaben werden dadurch verringert (siehe Abschnitt 3.1.1). Des Weiteren besitzt die multimodale Interaktion das Potenzial, die Reaktionsfähigkeit des Anwenders zu verbessern. Um mit dem FIS zu interagieren, werden seit längerem Sprachdialogsysteme⁷ eingesetzt. Der visuelle

⁷http://www.audi.com/com/brand/en/tools/advice/glossary/speech_dialogue_system.browser.html
http://media.ford.com/images/10031/SYNC_MKS.pdf

Kanal wird dadurch entlastet, wodurch Interferenzen zur Fahraufgabe minimiert werden. Ebenso können Gesten [17] [18] und der haptische Wahrnehmungskanal [87] als zusätzliche Modalität Dual-Task-Interferenzen reduzieren.

3.4.1 Einschränkungen blickbasierter Interaktion

Multimodale Interaktionskonzepte, die den Blick als zusätzliche Modalität einsetzen, existieren bereits seit über 20 Jahren [55] [65]. Etabliert hat sich die blickbasierte Interaktion jedoch nur in dem Bereich der *Accessibility* zur Unterstützung von Menschen mit Behinderung. Einen Grund dafür sieht Zhai [123] in den Eigenschaften des Auges, das primär als Wahrnehmungskanal und nicht als exaktes Eingabemedium fungiert.

Auch Jacob [55] resümiert basierend auf seinen Beobachtungen, dass sich das natürliche Blickverhalten zwar als zusätzliche implizite Informationsquelle nutzen lässt, aber für die explizite Interaktion in Form von spezifischen Augenbewegungen eher ungeeignet ist. Er weist auf das *Midas-Touch*-Phänomen hin: Da zwischen bewussten und unbewussten Blicken nicht differenziert werden kann, führt jeder Blick eine Funktion aus. Die Konsequenz ist ein unbrauchbares und für den Nutzer störendes System, weil die blickbasierte Bedienung nicht dem natürlichen Blickverhalten des Menschen entspricht.

Sibert et al. [101] beheben dieses Phänomen mittels *Dwelling*. Blickt der Nutzer eine definierte Zeitspanne auf eine Stelle, wird die Aktion ausgeführt. Dadurch verhindert er, dass jeder Blick vom System als Kommando interpretiert wird. Die Ergebnisse ihrer Studie belegen eine doppelt so schnelle Interaktion im Vergleich zu einer Maus. Auch Jacob [54] verwendet *Dwelling*, um das *Midas-Touch*-Phänomen zu vermeiden. Als geeignete Zeitschwelle nennt er 150 - 250 Millisekunden und einen Zeitgewinn von 30 bis 50 Prozent gegenüber einer Standardmaus. In der gemeinsamen Studie von Sibert und Jacob [100] wurde kaum ein Zusammenhang zwischen dem Abstand eines Start- und Zielobjektes und der benötigten Zeit für die Blickbewegung gemessen. Auch nach Drewes [15] ist die Gültigkeit von *Fitt's Law* für blickbasierte *Pointing Tasks* nicht gegeben.

Fono et al. [24] kombinieren den Blick mit der Bestätigung per Tastendruck. Dabei konzentrieren sie sich auf die blickbasierte Selektion mehrerer parallel ausgeführten Anwendungsfenster. Die Bestätigung der Aktion erfolgt mittels Tastendruck. Das Resultat ihrer Untersuchung zeigt, dass die blickbasierte Interaktion doppelt so schnell als die Interaktion mit einem herkömmlichen Zeigergerät (Maus) ist. Folglich eignet sich der Blick vor allem zur Selektion weit entfernter Objekte. Außerdem entlastet er die taktile Beanspruchung der Nutzer [100].

3.4.2 Visuell-attentive Benutzerschnittstellen

Visual Attentive Interfaces (visuell-attentive Benutzerschnittstellen) sind eine spezielle Form von *Context Aware Interfaces* (kontextsensitive Benutzerschnittstellen). Sie fokussieren die Intension des Nutzers als zusätzliche Informationsquelle für die Interaktion mit einem System. Die Absichten von Personen manifestieren sich unter anderem in Aktionen wie der Blickzuwendung [97]. Vertegaal et al. [112] untersuchen das Blickverhalten bei der zwischenmenschlichen Kommunikation. Auch er stellt fest, dass anhand des Blickes der Adressat und Empfänger identifiziert

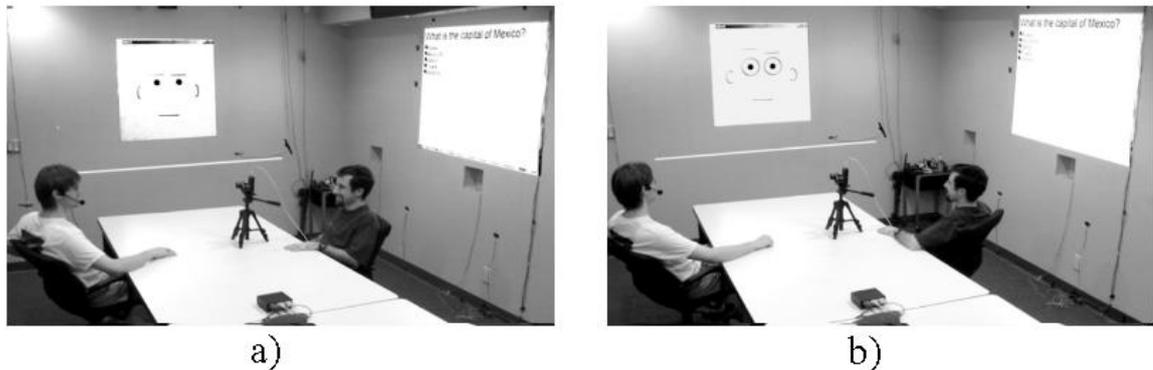


Abbildung 3.10: LTT-Avatar. a) Zuhörmodus. b) Nicht-Zuhörmodus. [80]

Mode	Activate	Feedback	Deactivate	Feedback
PTT	Switch the microphone to "on"	Physical status of the switch	Switch the microphone to "mute"	Physical status of the switch
LTT	Turn head toward Sam	Sam shows listening expression	Turn head away from Sam	Sam shows normal expression
TTT	Say "computer"	Special beep	Automatic (after 5 sec)	None

Tabelle 3.2: Funktionen der Varianten LTT, PTT und TTT [80].

werden kann. Das Blickverhalten bei der Interaktion mit einem Avatar (siehe Abbildung 3.10) evaluieren Oh et al. [80]. Die zwei Teilnehmer ihrer Studie wurden aufgefordert, Fragen zu beantworten und die Antwort einem Avatar mitzuteilen. Den Probanden standen folgende Strategien zur Auswahl: *Look-to-Talk* (LTT), *Push-to-Talk* (PTT) und *Talk-to-Talk* (TTT). Die Teilnehmer mussten alle verfügbaren Strategien einsetzen. Eine Funktionsübersicht der Varianten zeigt Tabelle 3.2. Die Grundlage von LTT ist die zwischenmenschliche Kommunikation, bei der der Empfänger einer Nachricht vom Sender angeschaut wird. Laut den Ergebnissen der Studie präferieren die Teilnehmer das LTT-System. Diese Strategie wurde am häufigsten verwendet und als natürlichste Interaktionsstrategie wahrgenommen, um mit dem Avatar verbal zu kommunizieren.

Im Gegensatz dazu untersuchen Maglio et al. [64] die Kommunikation mit unterschiedlichen Geräten. Das dabei verwendete digitale Adressbuch, der Kalender, das Diktiergerät und die Karte wurden per Sprachkommando gesteuert. Die 13 Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt (between-subject). Der ersten Gruppe wurde ein zentrales Feedback über die erfolgreiche Eingabe gegeben, der zweiten Gruppe ein Feedback direkt am betreffenden Gerät. Beide Gruppen bewerteten die Feedbackvariante als natürlich. Allerdings blickten die Teilnehmer beider Gruppen bei der Spracheingabe auf das Gerät, bevor sie den Sprachbefehl gaben.

Salvucci et al. [92] vergleichen eine klassische WIMP-Oberfläche mit einem *Gaze-added Interface* ergänzt durch ein intelligente Blickinterpretation. Letztere geht davon aus, dass die Anwender Elemente nahe dem Blickfokus selektieren. Die Selektion der infrage kommenden Elemente erfolgt mittels der Tastatur. Das *Intelligent Gaze Interpretation Interface* interpretiert aktuelle Aktionen und antizipiert anhand eines dafür entwickelten Algorithmus mögliche Folgeschritte. Die Nutzer waren in der Lage, den Blick schnell in die Interaktion zu integrieren. Sie bedienten das System annähernd gleich schnell, aber mit einer geringeren Fehlerrate als die WIMP-Oberfläche. Salvucci et al. bescheinigen dem Blick in Kombination mit anderen Eingabegeräten vor allem für non-WIMP-Benutzerschnittstellen ein großes Potenzial. Ihnen zufolge sollten Blickdaten eher als implizite Zusatzinformation und nicht zur expliziten Interaktion verwendet werden. Eine Schwäche der *Intelligent Gaze Interpretation* sind unvorhersehbare Nutzeraktionen, die durch ihren Algorithmus nicht erkannt werden.

Eine Kombination aus lenkrad- und blickgestützter Bedienung im Fahrzeug evaluieren Kern et al. [58]. In ihrer Studie wird ein Sprachdialogsystem, ein Touchscreen und die Lenkradbedienung kombiniert mit dem Blick verglichen. Der Blick dient in ihrem System als Selektionswerkzeug. Der Anwender kann so Menüeinträge auswählen und per Tastendruck bestätigen. Die Ergebnisse ihrer Simulatorstudie zeigen, dass die blickgestützte Variante in einer schlechteren Fahrleistung als das Sprachdialogsystem und der Touchscreen resultiert. Allerdings wurden mehr Fehler mit Sprachkommandos produziert. Subjektiv bewerteten die Probanden den Blick als ablenkender als Touch und Sprache. Dieses Konzept baut allerdings auf einer expliziten Blickinteraktion auf und beeinflusst das natürliche Blickverhalten des Fahrers.

Novak et al. [78] präsentieren ein Werkzeug zur Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von attentiven Benutzerschnittstellen. Ihr System bietet Informationen auf einem Display im Fahrzeug zu einem bestimmten Event (Telefonanruf) erst dann an, wenn der Nutzer dieses Display fokussiert. Die Information wird so lange vorgehalten bis sie abgerufen wird. Dann kann gegebenenfalls auch eine Aktion vom System gestartet werden. Eine Evaluierung ihres Prototyps wurde nicht durchgeführt.

3.5 Fazit und resultierende Fragestellungen

Der Anzeigeort und die Präsentation interaktiver als auch statischer Informationen wirken sich, wie der aktuelle Forschungsstand zeigt (siehe Abschnitt 3.1), auf die Fahr- und Nebenaufgabe aus. Für die Umsetzung eines verteilten Fahrerinteraktionsraumes müssen jedoch noch Leerstellen gefüllt werden.

Milicic [70] und Ablasmeier [1] evaluieren zwar die Menübedienung im HUD und vergleichen diese mit dem CID, das Kombiinstrument wurde jedoch nicht berücksichtigt.

Totzke [109] untersucht die Auswirkungen von Menübreite und -tiefe. In seinen Studien fand der Anzeigeort jedoch keine Beachtung. Da Totzke umfangreiche Resultate zur Menüstruktur im Fahrzeug vorstellt, knüpft diese Arbeit an seine Ergebnisse an und untersucht zusätzlich den Anzeigeort. Obwohl Milicic [70] die Menüstruktur außer Acht lässt, resümiert sie, dass flache und kurze Menüs für das HUD geeigneter sind als tiefe Menüs. Konkrete Versuchsergebnisse dazu werden nicht aufgeführt.

Ablassmeier [1] evaluiert fünf und neun angezeigte Listenelemente im HUD. Er vergleicht die Ergebnisse weder mit anderen Anzeigeorten noch evaluiert er sieben angezeigte Elemente, die nach Miller [72] das Optimum darstellen könnten. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass keine Definition von Informationseinheiten (*Information Chunks*) vorliegt. Zudem findet Kujala [59] den größten Unterschied in den Blickzeiten zwischen sechs und neun Listeneinträgen im Fahrzeug. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, wie viele Einträge auf den verschiedenen Displays angezeigt werden können. Dazu werden drei, fünf und sieben Elemente betrachtet.

Für die Informationspräsentation im verteilten Fahrerinteraktionsraum müssen somit essenzielle **Grundlagen** geklärt werden.

Wie wirkt sich die Menüpräsentation auf den *Anzeigeorten* im Fahrzeug unter Berücksichtigung der *Menüstruktur* und des *Informationsumfanges* auf die Fahr- und Nebenaufgabe aus?

Des Weiteren wurde in den vorgestellten Arbeiten ein Bedienelement am Lenkrad für die Menüinteraktion im HUD verwendet. Nur bei einzelnen Bedienhandlungen mussten die Probanden auf das ZBE zurückgreifen [70]. Ein systematischer Vergleich zwischen den Bedienelementen und deren Auswirkungen im Hinblick auf die Interaktion mit unterschiedlichen Anzeigeorten fand bislang nicht statt.

Wie wirkt sich das *Bedienelement* und das Zusammenspiel zwischen Bedienelement und Anzeigeort auf die Fahr- und Nebenaufgabe aus?

Zwei Grundlagenuntersuchungen im Fahrsimulator werden diese Kernfragen beantworten. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse präsentiert.

Mehrere Anzeigeorte können durch die räumliche Verteilung von Anwendungen das Verständnis der Nutzer fördern und die Bedienleistung verbessern (siehe Abschnitt 3.2), da Anwendungen parallel ausgeführt werden können [34] [110]. Norman [77] schlägt in seinem *Zoom in-Zoom out*-Konzept die Aufteilung von Hierarchieebenen eines Menüs auf mehrere Anzeigeorte vor. Er geht davon aus, dass das Kurzzeitgedächtnis der Nutzer dadurch entlastet wird, da mehrere Menüebenen sichtbar sind. Des Weiteren haben MCVs das Potenzial die kognitive Belastung zu reduzieren [115]. Vor allem große Datenmengen wie Musiksammlungen, Adress- oder Kalenderdaten bieten sich im Automobil an. Nach Milicic [70] kann im HUD nur ein kleiner Informationsumfang dargestellt werden. Um diesen Anzeigeort trotzdem für die Präsentation tertiärer Informationen und Funktionen zu nutzen, werden Konzepte zur Informationsaufteilung zwischen den Anzeigeorten entwickelt. Dem Prinzip der MCVs folgend, werden die Ansichten eines Datensatzes auf unterschiedliche Anzeigeorte verteilt und koordiniert.

Wie können Anwendungen auf unterschiedliche Displays im Fahrzeug aufgeteilt werden, um den Fahrer bei der Durchführung der Fahr- und Nebenaufgabe zu unterstützen?

Allerdings kann der Anwender bei der Interaktion mit mehreren Displays den Überblick über den aktuellen Bedienfokus verlieren [89]. Diese Gefahr besteht vor allem im Fahrzeug, da die Nebenaufgabe häufig durch die höher priorisierte Fahraufgabe unterbrochen wird und eine Rückwendung des Blickes zur Fahrszene erfordert. Auch bei MCVs stellt das *Attention Management* eine Herausforderung dar [115]. Das heißt der Bedienfokus muss immer auf der richtigen Ansicht liegen. Visuell-attentive Benutzeroberflächen erkennen durch den Blick die Intension der Nutzer. Basierend auf der Annahme, dass der Blick eines Anwenders sich auf das Gerät oder die Information richtet [92] [80] [64] bevor die Interaktion stattfindet, können so adaptive und intelligente Interaktionskonzepte entwickelt werden. Das Blickverhalten im automobilen Kontext darf allerdings nicht negativ beeinflusst werden. Die Studie von Kern et al. [58] weist auf diese Schwachstelle von blickbasierter Interaktion im PKW hin. Allerdings setzen sie einen Prototypen zur expliziten Blickbedienung um. Um die Bedienung des verteilten Fahrerinteraktionsraumes zu vereinfachen, werden im Rahmen dieser Arbeit Konzepte entwickelt, die auf der impliziten Nutzung des Blickes beruhen.

Wie kann die Interaktion mit dem verteilten Fahrerinteraktionsraum angemessen für die Fahraufgabe gestaltet werden?

Dazu werden sowohl visuell-attentive Ansätze als auch Input-Redirect-Ansätze betrachtet. Eine weitere Möglichkeit, die kognitive Beanspruchung des Anwenders zu reduzieren, ist die Adaptierbarkeit von Benutzeroberflächen [43]. Sie erlaubt eine aufgabenorientierte Anpassung des Fahrerinteraktionsraumes durch den Fahrer. Es werden Techniken basierend auf dem Drag-and-Drop-Prinzip untersucht und die Nutzerakzeptanz evaluiert (siehe Kapitel 5 und Kapitel 6).

Grundlagenuntersuchungen

Das Ablenkungspotenzial der Anzeigeorte im Fahrzeug ist abhängig von der Nähe zur Fahrscene, der Gestaltung des Inhalts und der dargestellten Information (siehe Kapitel 3). Aktuelle Interaktionskonzepte trennen die Inhalte und die Bedienung des Kombis mit dem MFL von der des CID mit dem ZBE (siehe Kapitel 2). Ein logischer Verbund und ein Zusammenspiel der Displays ist nicht vorgesehen. Um eine ganzheitliche und durchgehende Interaktion mit dem räumlich verteilten Fahrerinteraktionsraum zu ermöglichen, müssen einerseits noch Grundlagen für die sichere Informationspräsentation auf allen Anzeigeorten geschaffen werden. Vor allem die Darstellung von Anwendungen im Kombi wurden bislang unzureichend untersucht. Andererseits ist es notwendig, die Interaktion mit verteilten Informationen verkehrsgerecht zu gestalten. Bei der Umsetzung eines gesamtheitlichen Fahrerinteraktionsraumes über alle Anzeigeorte ist es nicht mehr sinnvoll, für jeden Anzeigeort ein eigenes Bedienelement bereitzustellen. Für die displayübergreifende Interaktion müssen Bedienelemente identifiziert werden, die eine vom Anzeigeort unabhängige, optimale Bedienung erlauben.

Daraus resultieren die in diesem Kapitel behandelten Fragestellungen. In Abschnitt 4.1 werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Controller-Display-Zuordnung vorgestellt sowie der Einfluss der Anzahl an sichtbaren Listenelementen und des Anzeigeortes auf die Bedien- und Fahrleistung evaluiert. In Abschnitt 4.2 wird eruiert, welche Auswirkungen Hierarchieebenen und Anzeigeorte auf die Ablenkung des Fahrers haben.

4.1 Einfluss von Bedienelementen, Anzahl sichtbarer Listenelemente und Anzeigeort

4.1.1 Hypothesen

Dem SEEV-Modell [120] (siehe Kapitel 3) zufolge haben die Salienz, die Frequenz der Ereignisse auf einem Anzeigeort, die Relevanz der Ereignisse sowie der Abstand der AOIs Auswirkungen auf die Aufmerksamkeitslenkung. AOIs sind in der vorliegenden Arbeit sowohl die Anzeigeorte als auch die Fahrszene. Der bedeutendste Faktor für die Umsetzung des räumlich verteilten Fahrerinteraktionsraumes, der Abstand zur Fahraufgabe, wirkt sich also auf die Aufmerksamkeit aus, die der Fahrer der Information zukommen lässt. Da alle derzeit im Fahrzeug vorhandenen Bildschirme (HUD, Kombi, CID) unterschiedliche Abstände zur Fahrszene aufweisen, wird die Auswirkungen auf das Fahr- und Blickverhalten in diesem Kapitel evaluiert. Des Weiteren wird geklärt, wie sich die Fülle listenbasierter Informationen (Anzahl sichtbarer Listenelemente) auf die Ablenkung von der Fahraufgabe auswirkt. Milicic [70] extrahiert aus ihren Studien zwar Gestaltungsrichtlinien für das HUD, Ergebnisse über die Informationsdichte werden nicht präsentiert. Zudem existiert keine Studie, die den Fahrerinteraktionsraum in seiner Gesamtheit und die drei verfügbaren Anzeigeorte im direkten Vergleich betrachtet.

Basierend auf den in Kapitel 3 gewonnen Erkenntnissen wird angenommen, dass durch die steigende Anzahl an sichtbaren Listenelementen (Zeilen) der visuelle Suchaufwand zunimmt und somit die visuelle Ablenkung von der Hauptaufgabe steigt, die Fahrleistung sinkt und die Bearbeitungszeit der Nebenaufgabe abnimmt.

- $H_{\text{Zeilen,visuell}}$: Die visuelle Ablenkung (durchschnittliche und maximale Blickzeiten) steigt mit einer größeren Anzahl an sichtbaren Listenelementen.
- $H_{\text{Zeilen,Fahrleistung}}$: Die Fahrleistung (mittlere Spurabweichung und Abstand zum Vordermann) nimmt mit der steigenden Anzahl an sichtbaren Listenelementen ab.
- $H_{\text{Zeilen,Bedienzeit}}$: Die Bearbeitungszeit der Nebenaufgabe sinkt mit der steigenden Anzahl an sichtbaren Listenelementen.

Dem SEEV-Modell folgend wird angenommen, dass abhängig vom Abstand zur Fahrszene (HUD, Kombi, CID) die visuelle Ablenkung steigt und die Bearbeitungszeit der Nebenaufgabe sinkt. Zudem zeigen Milicics [70] Studien eine Verbesserung der Fahrleistung bei der Interaktion mit dem HUD gegenüber dem CID. Es wird vermutet, dass auch gegenüber dem Kombi mit dem HUD eine bessere Fahrleistung erzielt wird. Aufgrund der Position des Kombis wird von Bedien- und Blickzeiten die zwischen denen des HUD und CID liegen ausgegangen.

- $H_{\text{HUD-Kombi,visuell}}$: Die visuelle Ablenkung (durchschnittliche und maximale Blickzeiten) bei der Bedienung im HUD ist größer als bei der Bedienung im Kombi.
- $H_{\text{Kombi-CID,visuell}}$: Die visuelle Ablenkung bei der Bedienung im Kombi ist größer als bei der Bedienung im CID.

- $H_{HUD-Kombi, Bedienzeit}$: Die Bearbeitungszeit der Nebenaufgabe im HUD ist kürzer als im Kombi.
- $H_{Kombi-CID, Bedienzeit}$: Die Bearbeitungszeit der Nebenaufgabe im Kombi ist kürzer als im CID.
- $H_{HUD, Fahrleistung}$: Die Fahrleistung bei der Bedienung des HUD ist besser als bei der Interaktion mit dem CID und Kombi.

Neben den Grundlagen für die Informationspräsentation wird die Basis für die Interaktion mit verteilten Anwendungen gelegt. Es werden die bestehenden Bedienelemente betrachtet: Rändelrad am MFL und ZBE. Die ergonomischen Gegebenheiten lassen annehmen, dass die Bedienung am MFL weniger Auswirkungen auf die Fahraufgabe hat als die Bedienung des ZBE, da der Fahrer beide Hände am Lenkrad hat. Auf die Bedienzeiten hingegen wirkt sich das ZBE positiv aus. Es können mehr Listeneinträge mit einem Bedienschnitt gescrollt werden. Zudem ist die Armposition besser für die Interaktion geeignet.

- $H_{Interaktion, Fahrleistung}$: Die Bedienung von Informationen auf allen Displays mit dem MFL führt zu einer besseren Fahrleistung als mit dem ZBE.
- $H_{Interaktion, Bearbeitungszeiten}$: Die Bearbeitung der Nebenaufgabe mit dem ZBE führt zu kürzeren Bedienzeiten als mit dem MFL.
- $H_{Interaktion, Blickzeiten}$: Die Bearbeitung der Nebenaufgabe mit dem ZBE führt zu kürzeren Blickzeiten als mit dem MFL.

4.1.2 Versuchsdesign

Die oben genannten Hypothesen wurden mit einer Dual-Task-Methode in einer Simulatorumgebung überprüft. Als Hauptaufgabe diente die AAM-Folgefahrt (siehe Abschnitt 2.4.2). Um die visuelle Ablenkung der Probanden zu erheben, wurde das Blickerfassungssystem von Dikablis eingesetzt (siehe Abschnitt 2.4.2). Die Nebenaufgabe bestand aus der Interaktion mit dem dafür entwickelten System, welches im nachfolgenden Abschnitt erläutert wird. Zur Reduktion der Versuchskomplexität wurde ein geschachteltes within-subject Design herangezogen. Die Reihenfolge wurde im lateinischen Quadrat permutiert. Diese Designentscheidung ermöglichte darüber hinaus den Fokus der Untersuchung auf die für diese Arbeit relevanten Fragestellungen zu legen. Die aus den Hypothesen resultierenden unabhängigen Variablen sind die Bedienelemente (2-stufig: MFL, ZBE), die Anzeigeorte (3-stufig: HUD, Kombi, CID) und die Anzahl der angezeigten Listenelemente (3-stufig: drei, fünf, sieben). Da für das CID im Serieneinsatz einiger Automobilhersteller (siehe Abschnitt 2.3) bereits mehr als sieben Zeilen-Displays eingesetzt werden, kann sich die unabhängige Variable der angezeigten Listenelemente auf das Kombi und HUD beschränken (siehe Abbildung 4.1).

Indikatoren für die Fahrleistung sind die SDLP, TTC und der Abstand zum Vorderfahrzeug. Um die visuelle Ablenkung zu bestimmen, werden die abhängigen Variablen maximale Blickdauer, minimale Blickdauer, durchschnittliche Blickdauer, die kumulierte Blickdauer, Blickan-

		Displays								
		HUD			Kombi			CID		
Anzahl sichtbarer Zeilen		3	5	7	3	5	7	3	5	7
Bedien- elemente	MFL	Z	Z B D Z		Z	Z B D Z			B D	
	ZBE		B D			B D			B D	

Z Anzahl sichtbarer Zeilen
B Bedienelemente
D Displays

Abbildung 4.1: Geschachteltes Versuchsdesign. Faktoren: Bedienelemente, Anzahl sichtbarer Listenelemente, Displays.

zahl und das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten gemessen. Die Leistung bei der Nebenaufgabenbearbeitung spiegelt die *Total Task Time* (TTT) wieder.

Zusätzlich zu den gemessenen Fahr- und Blickdaten wurde die subjektiv empfundene Ablenkung von der Fahraufgabe mittels des DALI-Fragebogens (siehe Abschnitt 2.4.3) erhoben. Zur Erhebung der subjektiven Nutzerpräferenzen kam ein Ranking der Anzeigorte, Bedienelemente und Anzahl sichtbarer Listenelemente zum Einsatz.

4.1.3 Aufgaben

Die für die Evaluierung umgesetzten Prototypen sind identisch in Schriftgröße, Design und Farbwahl für alle Anzeigorte und Bedienelemente, um mögliche Störvariablen zu eliminieren. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Auswahl unterschiedlicher Musiktitel in einer 126 Elemente langen, alphabetisch geordneten Liste. Zur Vermeidung von Lerneffekten wurde ein Scrollmuster entworfen, das die doppelte Auswahl eines Musiktitels verhindert. Ferner konnten mit diesem Scrollmuster die gleichen Bedingungen für alle Probanden geschaffen und die Vergleichbarkeit der Aufgaben garantiert werden. Zur Bearbeitung einer Aufgabe mussten die Versuchspersonen pro System neun Musiktitel auswählen. Dazu waren dreimal neun, 13 und 20 Scrolleinheiten notwendig. Die Reihenfolge und Richtung war zufällig. Die Bestätigung der Auswahl erfolgte über Drücken des Rändelrades am MFL oder des ZBE. Als systemseitiges Feedback wurde der ausgewählte Titel für 15 Sekunden angespielt. Abbildung 4.2 zeigt die dafür umgesetzten Prototypen.

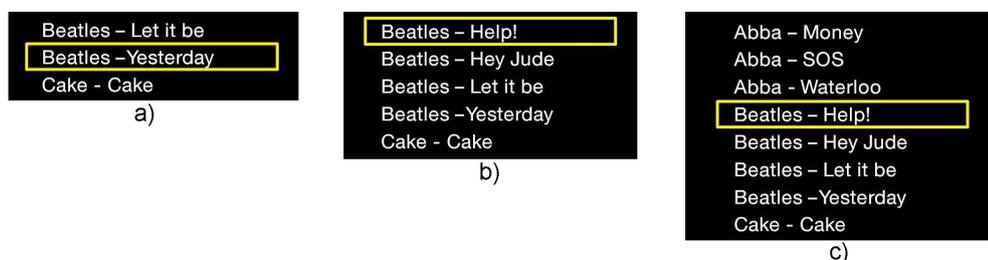


Abbildung 4.2: Listendarstellung der Prototypen zur Bearbeitung der Aufgaben. a) Drei Zeilen. b) Fünf Zeilen. c) Sieben Zeilen.

4.1.4 Versuchsablauf

Nach einer Begrüßung und kurzen Einführung in den Versuchsablauf wurden die Probanden gebeten, einen demografischen Fragebogen auszufüllen. Anschließend wurde eine Einführungsfahrt im Fahrsimulator durchgeführt und darauf hingewiesen, dass im Falle von Übelkeit der Versuch jeder Zeit abgebrochen werden kann. Danach trainierten die Teilnehmer die Fahraufgabe (Einhalten eines 50 Meter Abstandes zum Vorderfahrzeug). Dieses Maß ist ein Kriterium der AAM-Richtlinien für die Fahrleistung. Nach einer Eingewöhnungsphase wurde eine Baselinefahrt ohne die Bedienung der Nebenaufgabe absolviert. Anschließend erläuterte der Versuchsleiter die Prototypen. Nach Beendigung dieser Einführung installierte und kalibrierte der Versuchsleiter das Blickfassungssystem auf dem Kopf der Probanden. Zu Beginn der Messfahrt wurden die Teilnehmer aufgefordert den 50 Meter Abstand einzuhalten. Nach der korrekten Ausführung der Hauptaufgabe wurden die Nebenaufgaben instruiert und die Messung gestartet. Alle gemessenen Variablen umfassen sowohl die Instruktionszeit aller neun durchzuführenden Teilaufgaben als auch die zehn Sekunden Wartezeit zwischen den Teilaufgaben. Nach Bestätigung des letzten Musiktitels eines Prototyps bewerteten die Probanden anhand der DALI-Dimensionen die subjektiv empfundene Ablenkung. Am Ende des Versuches wurden die Teilnehmer befragt, welche Systemvariante und Display-Controller-Kombination sie bevorzugen. Dabei mussten alle Probanden für die ersten drei Plätze ein System nennen. Nach einem abschließenden informellen Gespräch wurden die Versuchspersonen verabschiedet. Die gesamte Versuchsdauer betrug durchschnittlich eine Stunde und 50 Minuten.

4.1.5 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde im Usability-Labor der BMW Group Forschung und Technik durchgeführt. Die Architektur und Integration der Prototypen in den Fahrsimulator wird in Abschnitt 2.5.2 beschrieben. Das verwendete Mock-up bestand aus einer Sitzkiste und drei 52" großen TFT-Monitoren zur Darstellung der Fahrsimulation. Die Sitzkiste setzt sich aus einem serienmäßigen Fahrersitz, einem Multifunktionslenkrad, einem frei programmierbaren CID und Kombiinstrument zusammen. Das HUD wurde mit einer Glasscheibe und einem Nickelmonitor mit ausreichender Leuchtkraft ca. 1,5 Meter vor dem Fahrer umgesetzt. Durch die Spiegelung in der Glasscheibe konnte ein realitätsgetreues HUD umgesetzt werden. Die Anordnung der Anzeigefläche entspricht einem 5er BMW E60. In der Mittelkonsole befand sich ein ZBE. Rund um die Anzeigeorte wurden optische Infrarotmarker angebracht, um eine automatische Auswertung der Blickdaten zu ermöglichen. Es wurde darauf geachtet, dass das Blickfeld des Fahrers nicht beeinträchtigt wird (Abbildung 4.3). Die Fahrsimulation entsprach den AAM-Richtlinien für das Folgefahrszenario mit gleichbleibender Geschwindigkeit.

4.1.6 Versuchspersonenkollektiv

Am Versuch nahmen 28 Freiwillige im Alter zwischen 21 und 60 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 35 Jahre, 26 waren männlich und zwei weiblich. Von allen Probanden benötigten sieben eine Brille während der Fahrt. Alle Versuchspersonen waren im Besitz einer gültigen



Abbildung 4.3: Versuchsaufbau mit Mock-up und Fahrszene

Fahrerlaubnis. Die durchschnittliche Fahrleistung ergab 10.000 bis 20.000 km pro Jahr. Die Teilnehmer gaben an, viel technisches Interesse zu haben. Die Erfahrung mit dem ZBE bewerteten die Probanden auf einer sechsstufigen Likert-Skala mit einem Mittelwert von 4,8 als hoch.

4.1.7 Statistisches Vorgehen

Um statistische Haupteffekte zu ermitteln, wurde eine mehrfaktorielle ANOVA für messwiederholte Daten angewandt. Mittels des Kolmorov-Smirnov-Anpassungstests wurde bestimmt, ob für die vorliegenden Daten eine Normalverteilung angenommen werden kann. Da der DALI eine Abwandlung des NASA-TLX-Fragebogens ist, wurden für die Auswertung der subjektiven Daten parametrische Tests eingesetzt. Zur Korrektur des Alphafehlers wurde die Bonferroni-Korrektur verwendet. Für die Bestimmung statistischer Unterschiede der Mittelwerte kamen Post-hoc-Tests zum Einsatz. Alle statistischen Tests wurden mittels SPSS¹ durchgeführt.

4.1.8 Ergebnisse

An dieser Stelle wird überprüft, welche der Hypothesen zu akzeptieren und welche abzulehnen sind. Mittels der mit der AAM-Folgefahrt und dem Blickerfassungssystem von Dikablis gemessenen Daten können die Hypothesen $H_{\text{Zeilen,visuell}}$ bis $H_{\text{Interaktion,Bearbeitungszeiten}}$ validiert oder falsifiziert werden. Für die Vergleiche der Anzeigeorte, der Anzahl an sichtbaren Listenelementen und der Bedienelemente wird in drei Abschnitte unterteilt: Blick-, Fahrdaten und Bedienzeiten. Eine tabellarische Übersicht aller erhobenen Daten für die einzelnen unabhängigen Variablen (UVs) ist dem Anhang zu entnehmen: Anzeigeorte (Abbildung A.1), Anzahl sichtbarer Listenelemente (Abbildung A.2) und Bedienelemente (Abbildung A.3).

¹www.ibm.com/training/de/spss

Anzeigeort

Blickdaten Der Anzeigeort hat einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche Blickdauer ($F(1.4, 33.605)=5.691, p=.014$). Die Post-hoc-Tests zeigen, dass die Informationspräsentation im HUD signifikant höhere durchschnittliche Blickzeiten verursacht als die im Kombi und CID (siehe Abbildung 4.4). In der durchschnittlichen Blickdauer unterscheiden sich Kombi und CID nicht. Ebenso wurde ein signifikanter Haupteffekt des Anzeigeortes auf die maximalen Blickzeiten festgestellt ($F(2, 48)=26.716, p<.001$). Die Post-hoc durchgeführten paarweisen Vergleiche zeigen, dass sich alle Anzeigeorte in der maximalen Blickdauer unterscheiden (HUD > Kombi: $p<.001$, HUD > CID: $p<.001$, Kombi > CID: $p=.012$). Des Weiteren wurde ein signifi-

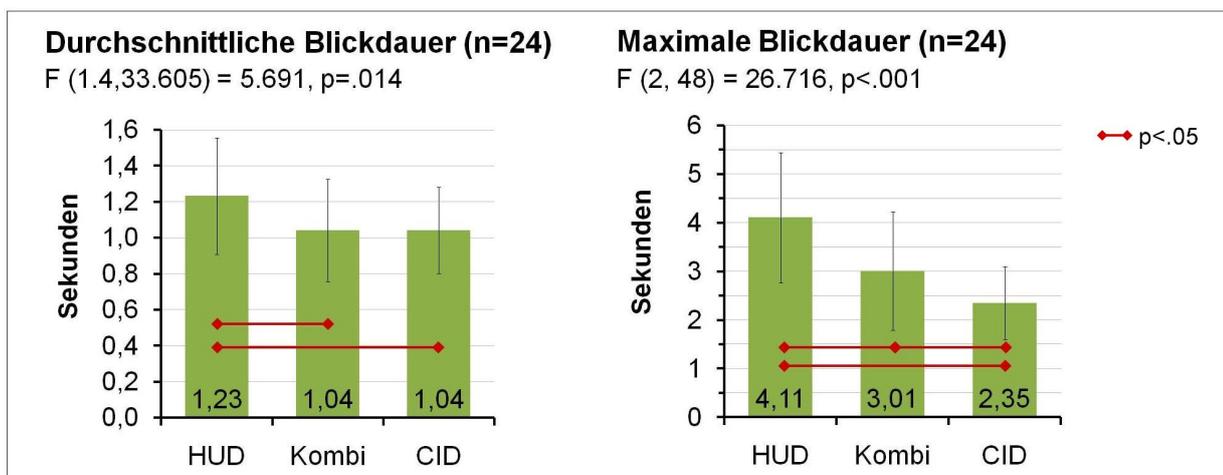


Abbildung 4.4: Vergleich der Anzeigeorte: durchschnittliche und maximale Blickdauer (in Sekunden).

kanter Einfluss des Anzeigeortes auf die kumulierte Blickdauer ($F(2,48)=13.166, p<.001$) und die Anzahl der Blicke nachgewiesen. Die Blickzeiten ins HUD sind in Summe länger als in das CID ($p<.001$) und Kombi ($p=.006$). Gleichzeitig weist das HUD die höchste Anzahl an Blicken auf (HUD > CID: $p=.010$, HUD > Kombi: $p=.167$). Abbildung 4.5 illustriert die kumulierten Blickzeiten und die Anzahl der Blicke. Basierend auf den gemessenen Blickdaten und statistischen Berechnungen kann die Hypothese $H_{HUD-Kombi,visuell}$ uneingeschränkt verifiziert werden. Hypothese $H_{Kombi-CID,visuell}$ wird aufgrund der Ergebnisse der maximalen Blickzeiten eingeschränkt bestätigt. Zwar weisen die maximalen Blickzeiten in das Kombi signifikant längere Werte auf als in das CID, für die Anzahl der Blicke, durchschnittliche Blickdauer und kumulierte Blickdauer können aber keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Es ist allerdings ein signifikanter Haupteffekt der Displays auf alle erhobenen Blickdaten zu erkennen.

Fahrdaten Die mittels der AAM-Folgefahrt erhobenen Fahrdaten zeigen einen signifikanten Haupteffekt auf die mittleren Spurabweichung ($F(2, 58)=8.128, p=.001$) und auf den maximalen Abstand zum Vordermann ($F(2, 58)=3.206, p=.048$). Die mittlere Spurabweichung bei der Bedienung des HUD ist signifikant geringer als die des Kombis und CID. Bei differenzierterer Betrachtung des maximalen Abstandes werden Tendenzen zwischen Kombi und CID festgestellt

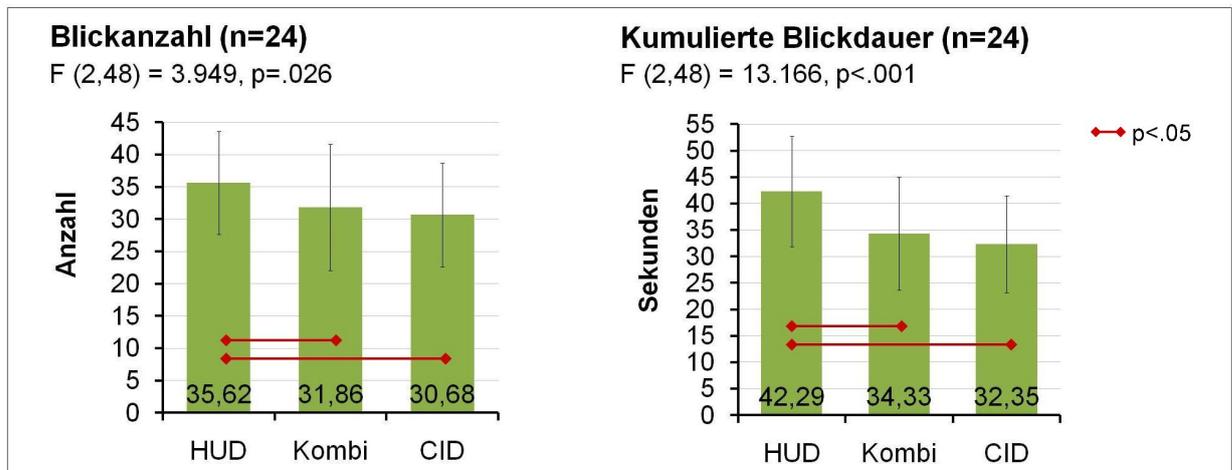


Abbildung 4.5: Vergleich der Anzeigeorte: Blickanzahl und kumulierte Blickdauer (in Sekunden).

($p = .081$). Auf die TTC konnten keine signifikanten Haupteffekte der Anzeigeorte gemessen werden. Entsprechend den Erwartungen bezüglich der Querführung des Fahrzeuges kann die Hypothese $H_{HUD, Fahrleistung}$ bestätigt werden. Des Weiteren kann aufgrund des tendenziell geringeren maximalen Abstandes bei der Bedienung des Kombis ein positiver Effekt auf die Längsführung der Fahraufgabe angenommen werden. Signifikante Unterschiede ergeben sich nicht.

Bedienzeiten Der Mittelwert der TTT zeigt einen signifikanten Einfluss des Anzeigeortes ($F(2, 58) = 9.796, p < .001$). Die Nebenaufgabe wurde am schnellsten mit dem HUD absolviert (HUD < Kombi: $p = .028$, HUD < CID: $p = .001$). Bei der genaueren Untersuchung der deskriptiven Werte (siehe Abbildung 4.6) wird eine stete Reduktion der TTT festgestellt, die abhängig vom Anzeigeort ist (HUD=5,8 sec, Kombi=6,4 sec, CID=6,7 sec). Der Unterschied zwischen Kombi und CID ist nicht signifikant ($p = .299$). Die Hypothese $H_{Kombi-CID, Bedienzeit}$ wird abgelehnt. Aufgrund der gemessenen Werte kann Hypothese $H_{HUD-Kombi, Bedienzeit}$ bestätigt werden.

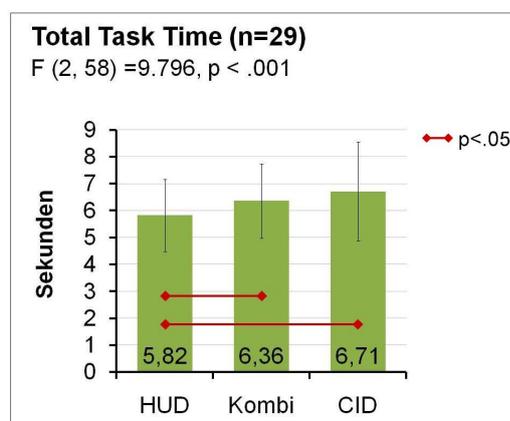


Abbildung 4.6: Vergleich der Anzeigeorte: Bearbeitungszeiten (in Sekunden).

Anzahl sichtbarer Listenelemente

Um die Anzahl sichtbarer Listenelemente zu vergleichen, wurden drei, fünf und sieben Zeilen mit dem MFL bedient und ausschließlich das HUD und IC betrachtet (siehe Abschnitt 4.1.2).

Blickdaten Auf die durchschnittliche Blickdauer wurde kein signifikanter Haupteffekt der Anzahl an Listenelementen gemessen ($F(2, 48)=.927, p=.403$). Ebenso ist der Einfluss der sichtbaren Listenelemente auf die maximalen Blickzeiten nicht signifikant ($F(2, 48)=.830, p=.442$). Die Anzahl der Blicke ($F(2, 48)=3.459, p=.040$) unterscheidet sich signifikant. Die paarweisen Vergleiche zeigen einen Unterschied zwischen drei und sieben sichtbaren Zeilen ($p=.006$) (Abbildung 4.7). Bei der Untersuchung der kumulierten Blickzeiten wurde ein tendenzieller Haupteffekt der angezeigten Zeilen gemessen ($F(1.475, 35.402)=2.844, p=.068$). Die Probanden blickten insgesamt signifikant länger mit drei als mit fünf Zeilen ($p=.040$) in die Displays. Tendenziell längere Blickzeiten weist die Anzeige von drei Elementen als die von sieben auf ($p=.103$) (Abbildung 4.7). Aufgrund der ermittelten Werte wird Hypothese $H_{\text{Zeilen,visuell}}$ verworfen. Es kommt bei

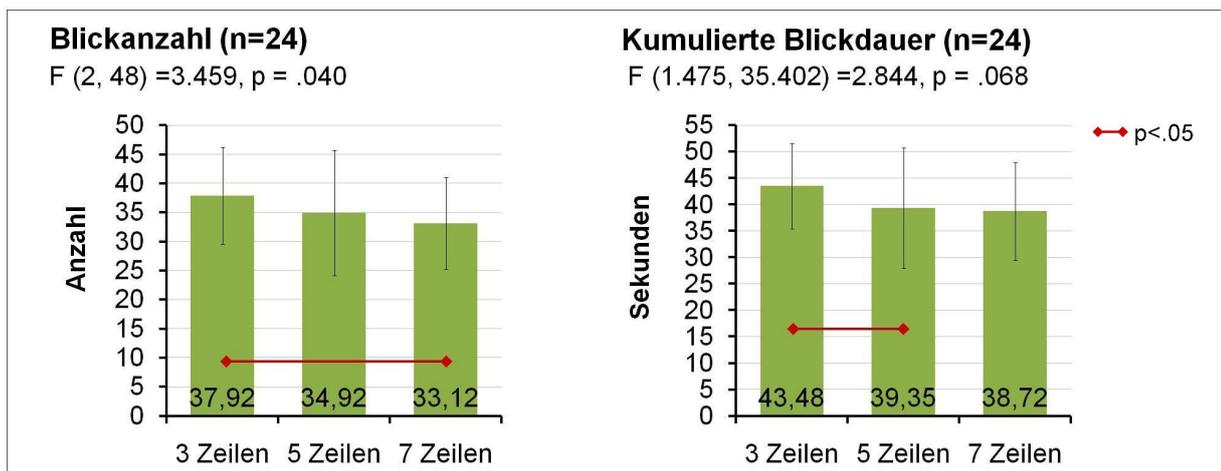


Abbildung 4.7: Vergleich der Anzahl sichtbarer Listenelemente: Blickanzahl und gesamte Blickdauer (in Sekunden).

mehr sichtbaren Listenelementen zu keiner höheren visuellen Ablenkung. Es wird ein gegenteiliger Effekt beobachtet. Durch die Anzeige von sieben beziehungsweise fünf Elementen werden die durchschnittlichen und maximalen Blickzeiten nicht beeinträchtigt. Sieben Zeilen bewirken zudem einen geringeren visuellen Aufwand (weniger Blicke und kürzere kumulierte Blickzeiten).

Fahrdaten Eine signifikante Beeinträchtigung der Fahrleistung konnte nicht beobachtet werden. Weder die SDLP ($F(2, 58)=0.209, p=.812$) noch die TTC ($F(2, 58)=0.063, p=.939$) oder der Abstand zum Vordermann ($F(2, 58)=1.059, p=.353$) weisen einen signifikanten Einfluss der angezeigten Elemente auf die Fahrleistung auf. Hypothese $H_{\text{Zeilen,Fahrleistung}}$ wird abgelehnt.

Bedienzeiten Die Versuchsteilnehmer beendeten die Nebenaufgabe mit sieben sichtbaren Listenelementen tendenziell schneller ($F(2, 58)=2.983, p=.058$). Mit drei und fünf angezeigten Zei-

len wurden Bedienzeiten von 6,5 Sekunden erreicht. Bei der Interaktion mit sieben Elementen erreichten die Probanden Bedienzeiten von 6,2 Sekunden. Dadurch ergibt sich ein p-Wert von .103 für den Unterschied zwischen drei und sieben und .093 für den Unterschied zwischen fünf und sieben Elementen. Aufgrund der tendenziell kürzeren Bearbeitungszeiten muss Hypothese $H_{\text{Zeilen, Bedienzeit}}$ abgelehnt werden.

Bedienelemente

Für den Vergleich der Bedienelemente kamen ausschließlich fünf dargestellte Listeneinträge zum Einsatz. Das System wurde mit beiden Bedienelementen und allen Anzeigeorten bedient. Es konnte weder ein signifikanter Einfluss der Bedienelemente auf die erhobenen Blickdaten noch auf die Fahrdaten festgestellt werden. Lediglich eine Tendenz des durchschnittlichen Abstandes zum Vorderfahrzeug ($F(1,29)=3.891$, $p=.058$) lässt eine bessere Eignung des MFL für die Interaktion während der Fahrt vermuten.

Die Bedienzeiten weisen einen signifikanten Haupteffekt der Bedienelemente auf ($F(1,29)=21.517$, $p<.001$). Mit dem MFL wurde eine durchschnittliche TTT von 6,7 Sekunden erreicht, wohingegen die Probanden die Aufgabe mit dem ZBE in 5,9 Sekunden bewerkstelligten. Hypothese $H_{\text{Interaktion, Bearbeitungszeiten}}$ wird bestätigt.

85-Prozent-Perzentil Das 85-Prozent-Perzentil ist ein Maß, um die Eignung eines Systems für die Verwendung während der Fahrt zu überprüfen (siehe Kapitel 2.4.2). Dieser Wert eliminiert die oberen 15 Prozent der maximalen Blickzeiten und muss unter dem AAM-Grenzwert von zwei Sekunden liegen. Für die Berechnung dieser Variable wurden die maximalen Blickzeiten jedes Probanden pro System herangezogen und das 85-Prozent-Perzentil berechnet. Abbildung 4.8 illustriert die Resultate. Alle Varianten der HUD-Bedienung resultieren mit den in diesem Kapitel untersuchten langen Listen in einem Wert von größer als zwei Sekunden. Erwartungsgemäß verletzt das HUD die AAM-Richtlinie. Sowohl das 85-Prozent-Perzentil des Kombis als auch des CID liegen unter den geforderten zwei Sekunden.

Subjektive Daten

Anhand des DALI [81] wurde die subjektiv empfundene Ablenkung verursacht durch die Anzeigeorte, Bedienelemente und Anzahl angezeigter Listenelemente geprüft. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, unmittelbar nach der Bedienung der Systemvarianten die Frage nach dem Aufwand an mentaler, visueller, auditiver und taktiler Beanspruchung sowie dem verursachten Stress, Druck und der Interferenz zur Fahraufgabe zu beantworten. Mit einem Ranking-Verfahren wurden die subjektiven Nutzerpräferenzen in Bezug auf den Anzeigeort, das Bedienelement und die Anzahl an dargestellten Listenelementen ermittelt. Die Bewertung der Anzeigeorte erfolgte in Kombination mit dem Bedienelement. Dieses Vorgehen sollte neben der präferierten Kombination die Frage beantworten, ob der Anzeigeort oder das Bedienelement eine übergeordnete Rolle bei der Interaktion mit listenbasierten Informationen spielen. Die Nutzer mussten die drei beliebtesten Kombinationen nennen.

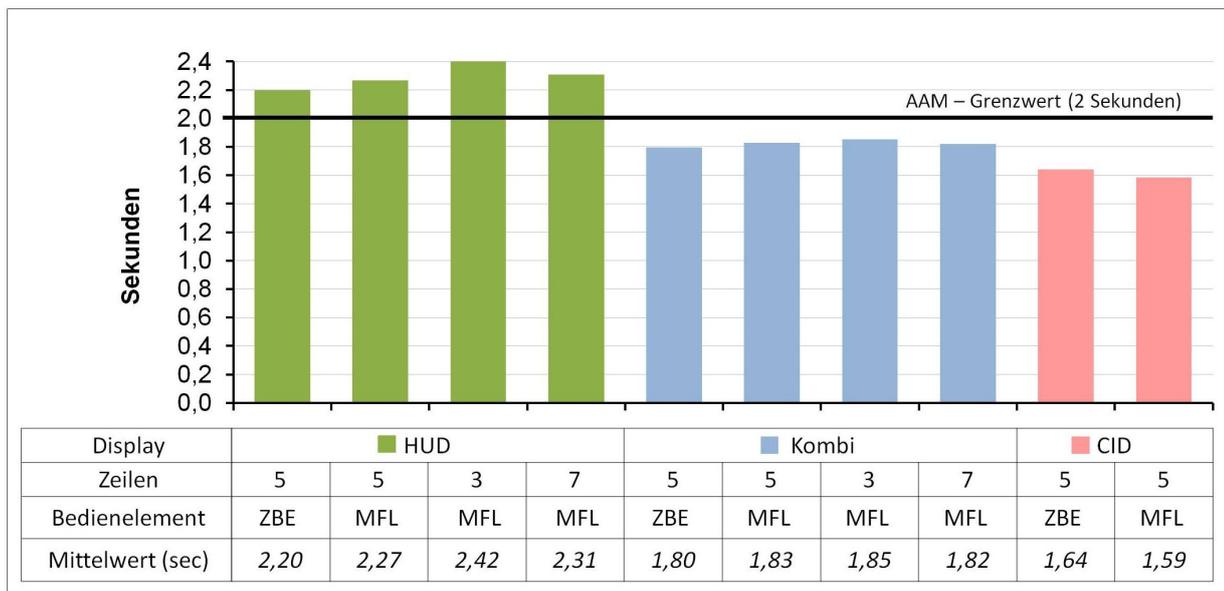


Abbildung 4.8: 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten (in Sekunden).

DALI Der Anzeigeort hat einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung von vier DALI-Dimensionen. Der mentale Aufwand ($F(1.636, 47.446)=29,088, p<.001$) für das HUD wurde signifikant geringer eingeschätzt als für das Kombi ($p<.001$) und CID ($p<.001$). Zudem unterscheidet sich das Kombi signifikant vom CID ($p<.001$). Ähnlich wurde der visuelle Aufwand eingestuft ($F(1.481, 42.942)=62.388, p<.001$). Die visuelle Beanspruchung ist aus Sicht der Probanden mit dem HUD am geringsten, gefolgt vom Kombi und CID ($p<.001$). Die Benutzer stufte den verursachten Stress ($F(2, 58)=20.286, p<.001$) bei der Bedienung des HUD am geringsten ein, das Kombi an zweiter Stelle und das CID am höchsten. Der Einfluss der Anzeigeorte auf den verursachten zeitlichen Druck weist zwar einen signifikanten Haupteffekt auf ($F(1.612, 46.748)=11.958, p<.001$), signifikant unterscheidet sich nur das CID vom Kombi und HUD (Abbildung 4.9).

Die Einschätzung der Probanden über den Einfluss der Bedienelemente auf die subjektiv empfundene Ablenkung von der Fahraufgabe zeigt einen signifikanten Haupteffekt auf die taktile Beanspruchung ($F(2,58)=17.059, p<.001$). Die Teilnehmer stufte die Interaktion mit dem ZBE signifikant weniger beanspruchend ein als die Interaktion mit dem MFL. Wie in Abbildung 4.10 zu erkennen ist, unterscheiden sich die restlichen DALI-Dimensionen nicht.

Die Anzahl der sichtbaren Listenelemente hat nach Angaben der Versuchsteilnehmer keine Auswirkung auf die persönlich wahrgenommene Ablenkung von der Fahraufgabe. Die Probanden empfinden keinen Unterschied zwischen drei, fünf oder sieben dargestellten Zeilen unabhängig vom Anzeigeort (siehe Abbildung 4.11). Interaktionseffekte zwischen den Bedienelementen und den Anzeigeorten existiert nicht. Für die getesteten Nutzer ist die Display-Controller-Zuordnung kein Kriterium für eine höhere oder geringere Ablenkung von der Fahraufgabe.

Ranking Am Ende der Untersuchung wurden die Probanden nach der beliebtesten Kombination von Anzeigeort, Bedienelement und Anzahl sichtbarer Listeneinträge befragt.

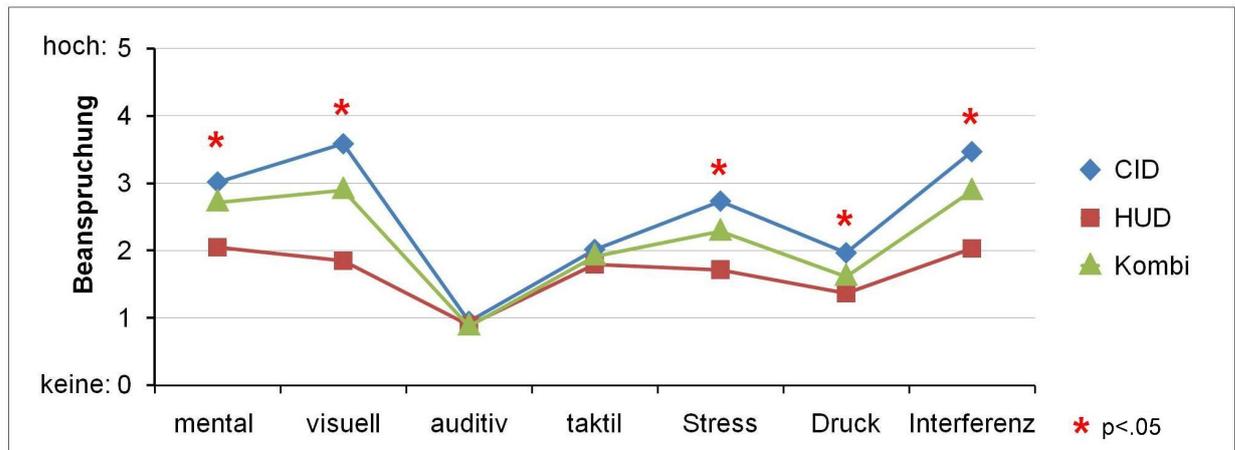


Abbildung 4.9: Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der Anzeigorte (n=28).

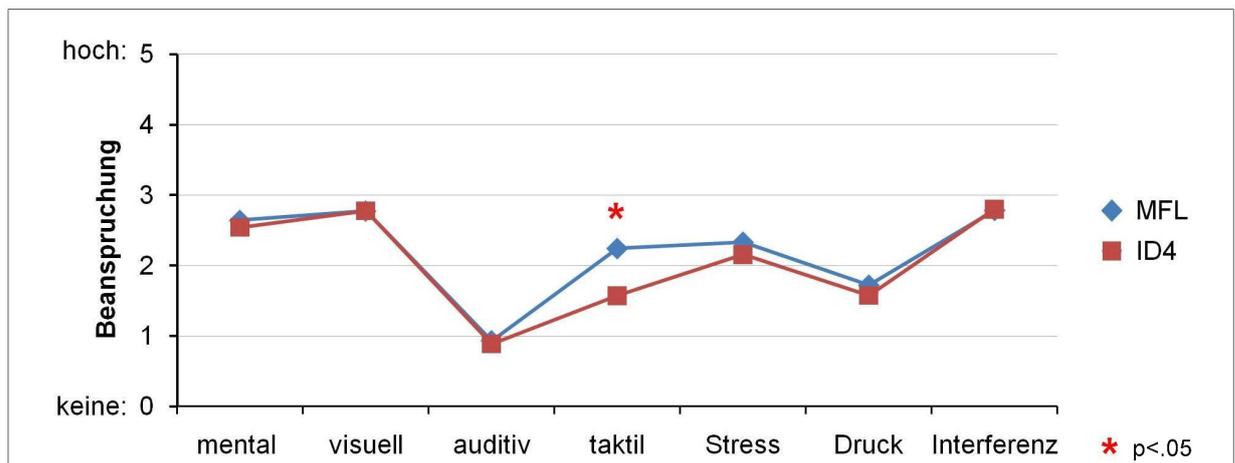


Abbildung 4.10: Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der Bedienelemente (n=28).

Bezüglich der angezeigten Zeilen wurden sieben und fünf sichtbare Listenelemente am häufigsten genannt (jeweils sechs Probanden). Die restlichen Teilnehmer konnten keine Präferenz nennen. Einen Zusammenhang zwischen sichtbaren Listenelementen und Anzeigort beziehungsweise Bedienelement existiert nicht.

Bei der Frage nach der beliebtesten Kombination von Anzeigort und Bedienelement entschieden sich 16 der 28 Versuchsteilnehmer für das HUD und das ZBE, neun für das HUD und das MFL. Ein Teilnehmer bevorzugte das Kombi und das ZBE. Das HUD wurde von 28 Versuchspersonen auf Platz eins oder zwei gewählt. Die Kombination mit dem ZBE wird der mit dem MFL vorgezogen. Die Teilnehmer präferieren den Anzeigort HUD vor dem Kombi und CID. Auffallend bei der präferierten Kombination von Anzeigort und Bedienelement ist, dass der Anzeigort gegenüber dem Bedienelement eine übergeordnete Rolle spielt (siehe Abbildung 4.12).

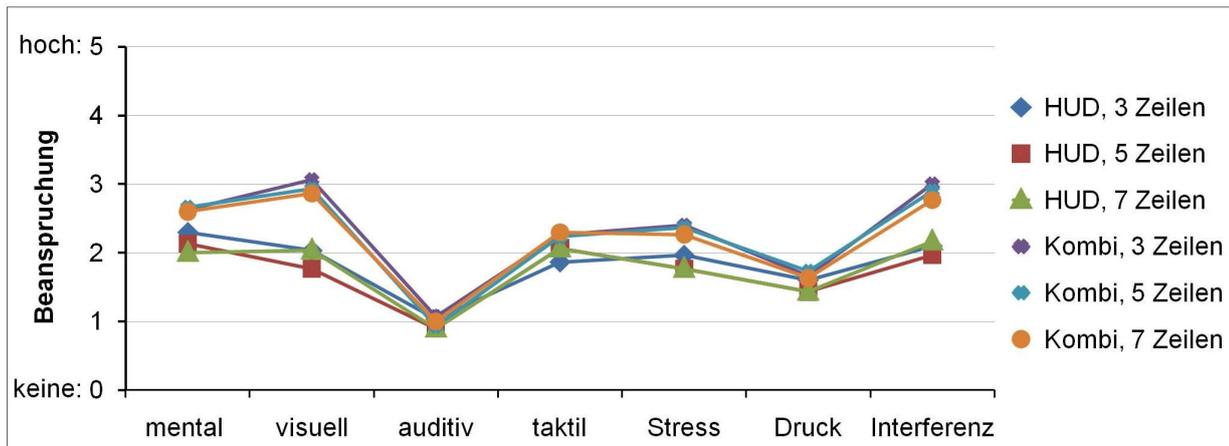


Abbildung 4.11: Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der sichtbaren Listenelemente (n=28).

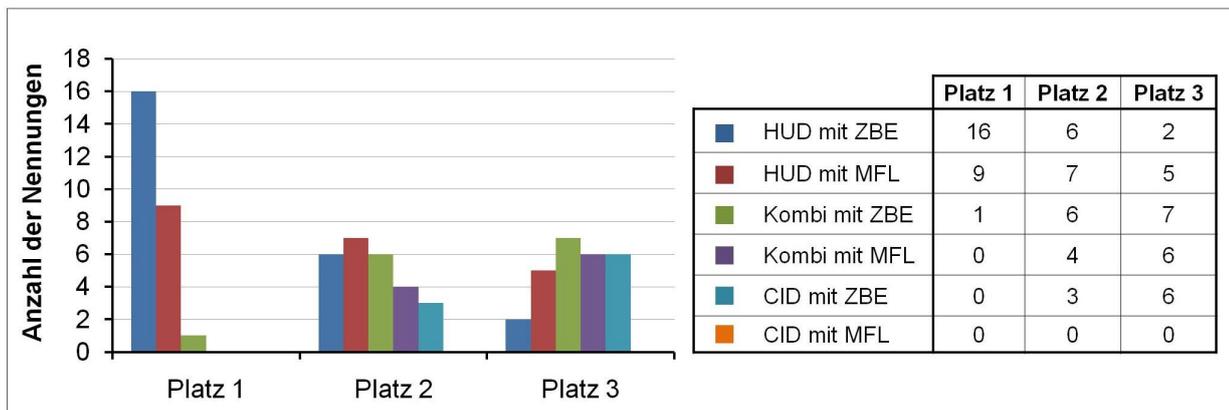


Abbildung 4.12: Ergebnisse des Rankings der Display-Controller-Kombinationen (n=28).

4.2 Einfluss der Hierarchieebenen und des Anzeigeortes

Neben den gerade erörterten Faktoren (Listenelementen, Bedienelementen und Anzeigeorten) wirkt sich ebenso die hierarchische Menügestaltung auf die visuelle Ablenkung, Fahr- und Bedienleistung aus.

Flache Hierarchieebenen resultieren in langen Listen. Um einen Eintrag in langen Listen zu finden, sind mehr Interaktionsschritte und visuelle Suchprozesse notwendig. Im Gegensatz dazu können hierarchische Menüs die Listenlänge und somit die Interaktionsschritte und den visuellen Suchaufwand reduzieren. Um einen Eintrag in hierarchischen Menüs auszuwählen, muss die Einordnung des gewünschten Elementes in die übergeordneten Hierarchieebenen bekannt sein. Diese Einordnung kann beim Benutzer zu einer höheren kognitiven Last führen und sich wiederum in der Fahr- und Bedienleistung niederschlagen. In Kapitel 3.1.2 wurden Arbeiten vorgestellt, welche die Gestaltung von hierarchischen Menüs beleuchten und den Trade-off zwischen Listenlänge und Anzahl an Hierarchieebenen untersuchen. Vor allem die Menüeinteilung stellt eine Herausforderung für die Systemdesigner dar. Eine nicht eindeutige Kategorisierung kann zu Be-

dienfehlern und Unzufriedenheit der Nutzer führen. Zur Abschätzung der geeigneten Menübreite und -tiefe existieren für GUIs Modelle, die den Einfluss für diese beiden Faktoren und den kognitiven Aufwand der Nutzer berücksichtigen. Norman [76] merkt allerdings an, dass das Design von Menüs für jeden Anwendungsfall unterschiedlich ist und diese Modelle eingeschränkt gültig sind. Besonders die automobilen Rahmenbedingungen erfordern eine genauere Betrachtung dieser Fragestellung. In diesem Abschnitt wird geprüft, welchen Einfluss Hierarchieebenen im Zusammenspiel mit den Anzeigebereichen im Fahrzeug haben. Dazu wurden drei Prototypen für die Anzeigebereiche HUD, Kombi und CID umgesetzt. Die Bedienung erfolgt über das ZBE. Es wurden vier, zwei und eine Hierarchie implementiert. Der semantische Aspekt bei der Umsetzung von Menüs wird außer Acht gelassen, da er sich von Menü zu Menü unterscheidet.

4.2.1 Hypothesen

Aufbauend auf Expertenmeinungen konstatiert Milicic [70], dass zwei Hierarchieebenen für den Einsatz im HUD das Maximum darstellen. Miller [71] hingegen stellt in seinen Untersuchungen fest, dass sechs und drei Menüebenen effizienter als eine sind und die Bedienleistung steigern. Zudem wird die Fehlerrate dadurch reduziert. Totzke [109] vergleicht in seinen Studien Tiefe mit breiten Menüs für den automobilen Einsatz (siehe Abschnitt 3.1.2). Im Fahrzeug wirken sich ihm zufolge tiefe Strukturen positiv auf das Blick- und Bedienverhalten aus. Es wird angenommen, dass mehr Hierarchieebenen einen positiven Einfluss auf die Interaktion im Fahrzeug haben, da der visuelle Suchaufwand abnimmt. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Unterbrechungen bei der Interaktion mit listenbasierten Informationen durch Menüebenen von den Nutzern für Kontrollblicke auf die Fahrszene genutzt werden. Dies würde geringere durchschnittliche und maximale Blickzeiten bewirken. Welchen Einfluss Hierarchieebenen auf das Blick- und Fahrverhalten haben, wird anhand der nachstehenden Hypothesen geprüft. Die Auswirkungen auf die Leistung bei der Bedienung von hierarchischen und listenbasierten Menüs unterschiedlicher Tiefe und Breite wurde in den Untersuchungen von Miller und Totzke gezeigt und wird in der vorliegenden Arbeit daher nicht betrachtet.

- $H_{\text{Ebenen,visuell}}$: Mit der steigenden Anzahl an Menüebenen (bis vier Ebenen) sinkt die durchschnittliche und maximale Blickdauer.
- $H_{\text{Ebenen,Fahrleistung}}$: Mit der steigenden Anzahl an Menüebenen (bis vier Ebenen) verbessert sich die Fahrleistung.

4.2.2 Versuchsdesign und Versuchsaufbau

Analog zu der oben beschriebenen Studie (siehe Abschnitt 4.1) wurde die AAM-Folgefahrt als Fahraufgabe und das Blickfassungssystem von Dikablis zur Ermittlung der visuellen Ablenkung eingesetzt. Der Versuch fand im selben Versuchsaufbau (siehe Kapitel 4.1.5) statt und es wurde dasselbe statistische Vorgehen angewandt (siehe Kapitel 4.1.7). Die abhängigen Variablen sind die maximalen, durchschnittlichen und kumulierten Blickzeiten, die Blickanzahl, der durchschnittliche Abstand zum Vorderfahrzeug, die SDLP und die TTC. Die unabhängigen Variablen

ergeben sich aus den Hierarchieebenen (3-stufig: eine Ebene, zwei und vier Ebenen) und den Anzeigeorten (3-stufig: HUD, Kombi, CID). Die Interaktion erfolgte mit dem ZBE. Die subjektiv wahrgenommene Ablenkung wurde mit dem DALI erhoben. Der Versuchsablauf erfolgte wie in Abschnitt 4.1.4 beschrieben.

4.2.3 Aufgaben

Die Prototypen für die Untersuchung waren identisch in Layout und Design. Das System mit einer Ebene entsprach dem in Abschnitt 4.1.3. Die Aufgabe bestand aus der Auswahl von neun Musiktiteln. Es wurden fünf sichtbare Listenelemente dargestellt. Bei einer Hierarchieebene mussten für die erfolgreiche Aufgabenbearbeitung insgesamt 126 Scrollvorgänge absolviert werden. Für zwei Hierarchieebenen waren neun Bestätigungsvorgänge und durchschnittlich 116 Scrollvorgänge notwendig. Der Prototyp für vier Ebenen erforderte 27 Bestätigungsvorgänge, um in die nächste Hierarchie zu gelangen, und 93 Scrolleinheiten. Insgesamt waren 126 Bedienschritte für eine Ebene, 125 für zwei und 120 für vier Ebenen nötig. Um den gewünschten Titel zu bestätigen oder in eine Menüebene tiefer zu gelangen, musste das ZBE gedrückt werden. Durch das Aufgabendesign wurde der Vorteil von Hierarchieebenen nicht genutzt, nämlich weniger Bedienschritte durch die Einteilung in Kategorien. Es kann allerdings die Auswirkung von Hierarchieebenen auf das Blickverhalten unabhängig von der Dauer der Nebenaufgabe evaluiert werden.

Die Hierarchieebenen mussten sich für alle Teilnehmer gleich erschließen und durften kein Training oder Vorwissen erfordern. Aus diesem Grund wurden die Aufgaben so entworfen, dass sich aufgrund des instruierten Musiktitels der Weg durch das Menü ergibt. Die Teilnehmer mussten bei einer Ebene beispielsweise den Song "Original" von "Ice-T" nach dem ersten Buchstaben des Interpreten in die Kategorie "G, H, I" einordnen und bestätigen (siehe Abbildung 4.13). Zu

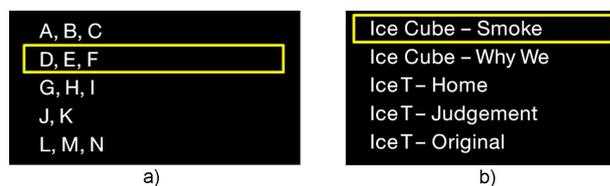


Abbildung 4.13: Prototypen für die Bearbeitung der Aufgabe mit zwei Hierarchieebenen. a) Erste Ebene, b) Zweite Ebene.

der Aufgabenbearbeitung mit vier Hierarchieebenen musste beispielsweise das Musikstück "Sgt. Peppers" von den "Beatles" erst in die Kategorie "B", danach in "BA-BF" und "Beatles" eingeordnet werden, um abschließend die Auswahl "Sgt. Peppers" treffen zu können (siehe Abbildung 4.14).

4.2.4 Beschaffenheit des Versuchspersonenkollektives

Insgesamt nahmen 27 Probanden an der Studie teil. Die Teilnehmer waren zwischen 21 und 50 Jahren alt. Das Durchschnittsalter betrug 29,8 Jahre. Es konnten zwei weibliche und 23 männliche Versuchspersonen akquiriert werden. Alle Probanden waren im Besitz eines gültigen Führerscheines (durchschnittlich seit 11,8 Jahren). Elf gaben an, während der Fahrt eine Sehhilfe zu



Abbildung 4.14: Prototypen für die Bearbeitung der Aufgaben mit vier Hierarchieebenen. a) Erste Ebene. b) Zweite Ebene. c) Dritte Ebene. d) Vierte Ebene.

benötigen. Die subjektiv eingeschätzte Fahrleistung betrug zwischen 10.000 und 20.000 km. Die Erfahrung mit dem ZBE bewerteten die Probanden als mittelmäßig mit einem Wert von 2,8 auf einer sechsstufigen Likert-Skala. Die Teilnehmer gaben an, viel technisches Interesse zu haben.

4.2.5 Ergebnisse

Eine tabellarische Übersicht der erhobenen Daten für die unabhängige Variable Hierarchieebene findet sich im Anhang Abbildung A.4.

Hierarchieebenen

Blickdaten Der Faktor Hierarchieebene hat einen signifikanten Haupteffekt ($F(2,50)=8.577$, $p=.001$) auf die durchschnittliche Blickdauer unabhängig vom Anzeigeort. Im Durchschnitt blickten die Probanden signifikant kürzer auf alle Displays bei der Bedienung von vier als bei zwei Menüebenen ($p<.05$). Zudem konnten tendenziell kürzere Blickzeiten bei vier Hierarchieebenen im Vergleich zu einer Hierarchieebene identifiziert werden ($p=.08$). Ein ähnliches Muster lässt sich bei der maximalen Blickdauer erkennen, die ebenso signifikant durch die Anzahl der Menüebenen beeinflusst wird ($F(1.546, 17.400)=8.811$, $p=.002$). Vier Menüebenen wurden mit kürzeren maximalen Blickzeiten bedient als zwei Hierarchieebenen ($p=.003$) und eine Hierarchieebene ($p=.004$) (siehe Abbildung 4.15). Bei der Analyse der kumulierten Blickdauer wird ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt sichtbar ($F(2,46)=36.393$, $p<.001$). Obwohl die durchschnittliche Anzahl an Bedienschritten bei vier (120) geringer ausfällt als bei zwei Menüebenen (125) und einer Menüebene (126), wird in Summe am längsten bei der Interaktion mit vier Ebenen in die Anzeigeflächen geschaut. Der Unterschied zu einer Ebene und zwei Ebenen ist signifikant ($p<.05$). Zwei Menüebenen werden mit einer signifikant kürzeren kumulierten Blickdauer als vier Ebenen bedient ($p<.05$), weisen aber eine signifikant längere gesamte Blickzeit als eine Ebene auf. Insgesamt wurde am kürzesten bei einer Hierarchieebene in die Displays geblickt (siehe Abbildung 4.16). Gleichzeitig wird eine Auswirkung auf die Anzahl der Blicke sichtbar ($F(2,42)=126.702$, $p<.001$). Trotz der erwähnten geringeren Anzahl an Bedienschritten benötigten die Probanden signifikant mehr Blicke bei der Bedienung von vier Hierarchieebenen als von zwei ($p<.001$) und einer Hierarchieebene ($p<.001$). Analog zur kumulierten Blickdauer fiel die Anzahl der Blicke bei zwei Ebenen signifikant geringer aus als bei vier und signifikant höher als bei einer Ebene ($p<.001$). Die wenigsten Blicke sind mit einer Ebene erforderlich (siehe Abbildung 4.16).

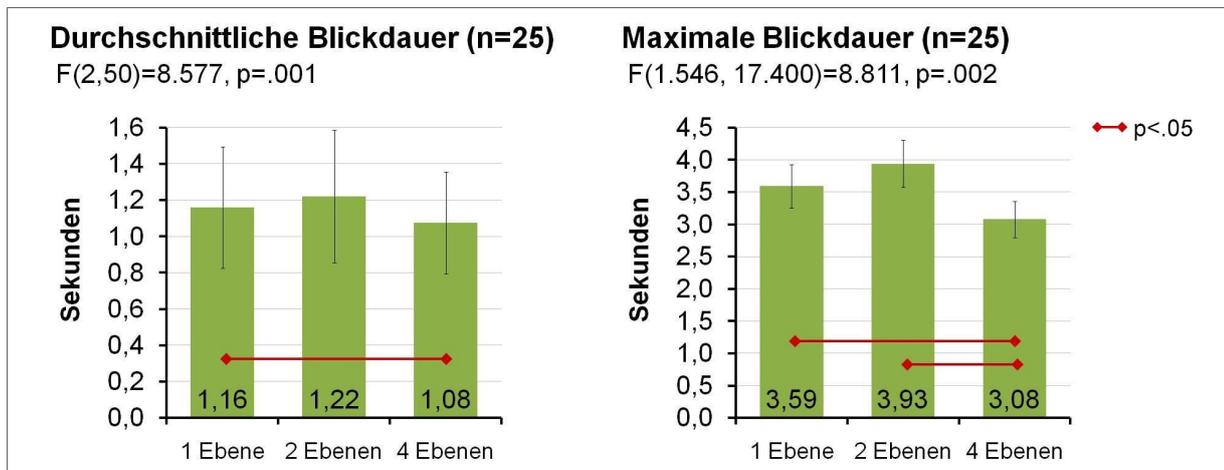


Abbildung 4.15: Vergleich der Anzahl an Menüebenen: durchschnittliche und maximale Blickdauer.

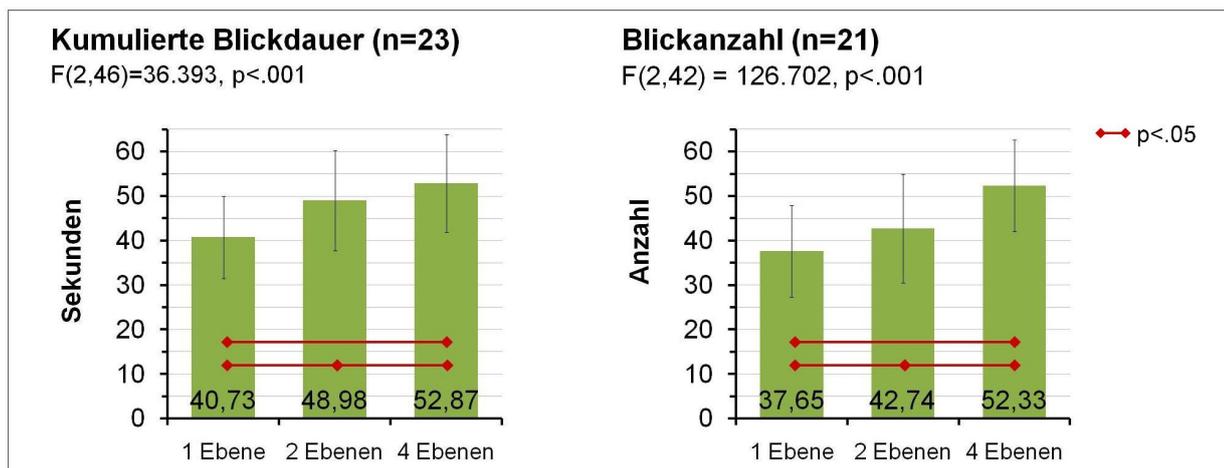


Abbildung 4.16: Vergleich der Anzahl an Menüebenen: kumulierte Blickdauer und Anzahl der Blicke.

Die differenzierte Betrachtung der prozentualen Verteilung an Blicken in die Fahrscene und Anzeigorte zeigt einen signifikanten Einfluss der Hierarchieebenen ($F(2,50)=6.286, p=.004$). Bei einer Menütiefe von eins wurde zu 36,2 Prozent, bei zwei 40,1 Prozent und bei vier 38,0 Prozent der Messfahrt in die Anzeigeflächen geblickt. Einen signifikanten Unterschied zeigen die durchgeführten paarweisen Vergleiche zwischen einer Menüebene und zwei Menüebenen ($p=.005$). Basierend auf diesen Ergebnissen kann Hypothese $H_{Ebenen,visuell}$ bestätigt werden. Mögliche Ursachen für die kumulierten Blickzeiten, die Anzahl der Blicke und die prozentuale Verteilung werden in Abschnitt 4.4 diskutiert.

Fahrdaten Die Analyse der Fahrleistung ergab einen signifikanten Einfluss der Hierarchieebenen auf den maximalen Abstand ($F(2,52)=6.825, p=.002$) und den durchschnittlichen Abstand ($F(2,52)=3.819, p=.028$) zum Vorderfahrzeug. Der maximale Abstand bei zwei Hierarchieebenen

ist signifikant höher als der bei einer Ebene ($p=.004$) und vier ($p=.016$) Ebenen (siehe Abbildung 4.17). Die Menütiefen eins und vier unterscheiden sich im maximalen Abstand nicht. Der durchschnittliche Abstand zum Vordermann bei der Interaktion mit zwei Ebenen ist größer als bei vier ($p=.047$) und einer Ebene ($p=.037$, siehe Abbildung 4.17). Die mittlere Spurabweichung wird von den Hierarchieebenen nicht beeinflusst ($F(2,52)=1.919$, $p=.157$). Hypothese $H_{\text{Ebenen},\text{Fahrleistung}}$ wird abgelehnt. Das heißt die Fahrleistung wird durch eine tiefere Menüstruktur nicht verbessert.

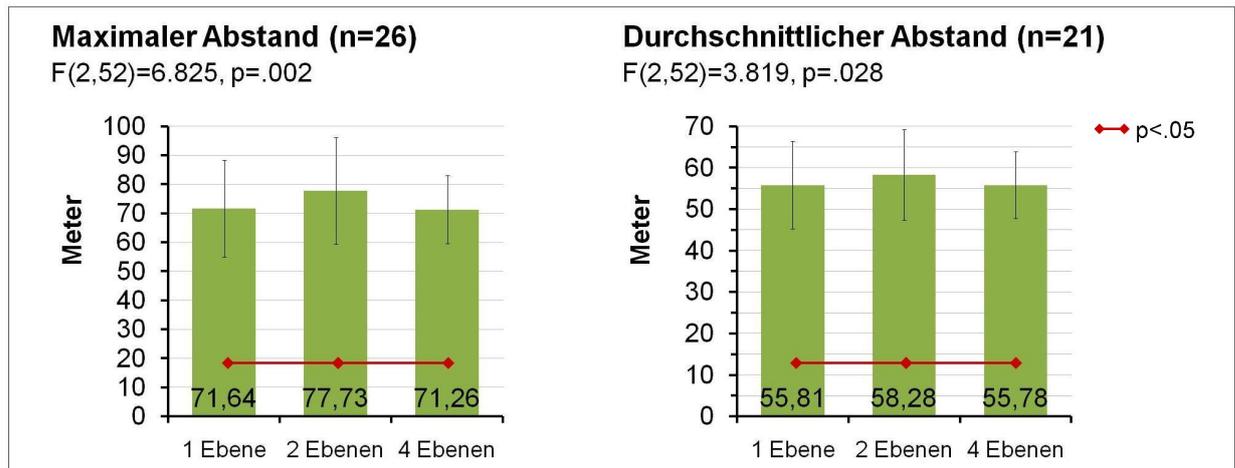


Abbildung 4.17: Vergleich der Anzahl an Menüebenen: maximaler und durchschnittlicher Abstand zum Vorderfahrzeug.

Subjektive Ergebnisse

DAI Der Einfluss der Menütiefe auf die subjektiv wahrgenommene Ablenkung von der Fahraufgabe ist nicht signifikant. Wie in Abbildung 4.18 zu erkennen ist, empfinden die Probanden keine negative Auswirkung bei zunehmender Menütiefe.

4.3 Ergebnisdiskussion

4.3.1 Anzeigeort

HUD Wie in Hypothese $H_{\text{HUD-Kombi,visuell}}$ angenommen, verursacht die Bedienung im HUD einen höheren visuellen Aufwand als die Bedienung im Kombi und CID. Die Versuchsteilnehmer blickten insgesamt länger und häufiger in das HUD. Auch die maximalen und durchschnittlichen Blickzeiten sind signifikant länger als in das Kombi und CID. Der AAM-Grenzwert von zwei Sekunden für das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten wird mit den evaluierten Prototypen und Inhalten im HUD überschritten. Trotzdem wurde die niedrigste SDLP mit diesem Anzeigeort erzielt und Hypothese $H_{\text{HUD,Fahrleistung}}$ bestätigt. Die Aufgabenbearbeitung wurde mit dem HUD zudem am schnellsten absolviert. Subjektiv empfinden die Probanden die Anzeigen im HUD als mental und visuell weniger beanspruchend als das Kombi und CID. Der

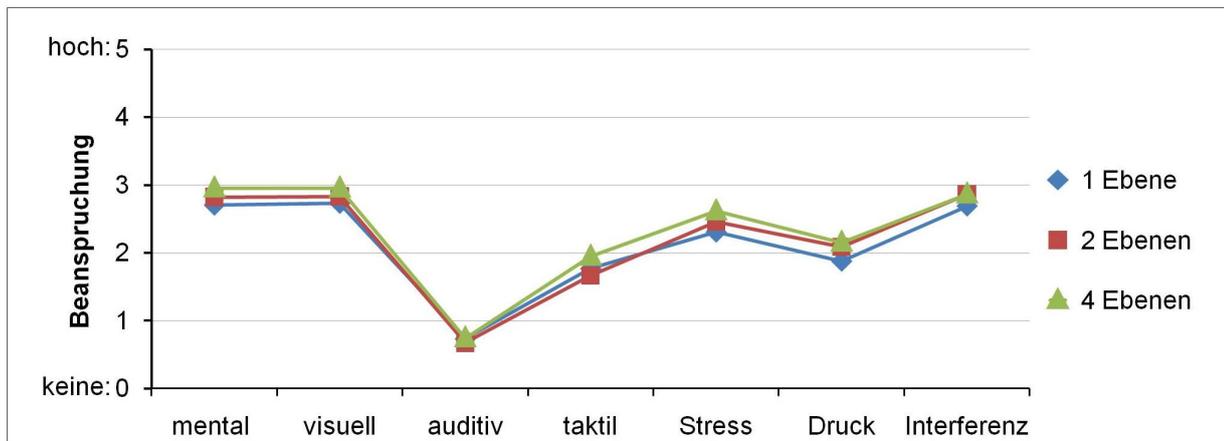


Abbildung 4.18: Subjektive Bewertung des Ablenkungspotenzials der Hierarchieebenen (n=27).

subjektiv wahrgenommene verursachte Druck und Stress sowie die Interferenz zur Fahraufgabe wird ebenfalls als geringer eingestuft. Den Versuchspersonen zufolge eignet sich das HUD am besten zur Informationspräsentation während der Fahrt. Da kürzere Bearbeitungszeiten der Nebenaufgabe als auch eine bessere Fahrleistung gemessen wurden, wird empfohlen, das AAM-Kriterium des 85-Prozent-Perzentiles der maximalen Blickzeiten für das HUD zu überdenken. Dieses Kriterium wurde für HDDs entworfen und wird dem HUD nicht gerecht. Eine Erklärung für die bessere Fahrleistung trotz längeren Blickabwendungszeiten stellt das Multiple Resource Model [45] bereit. Der visuelle Kanal unterteilt sich in zwei unabhängig Ressourcen: ambientes und fokales Sehen. Obwohl der Fahrer den Blickfokus auf das HUD gerichtet hat, kann er im ambienten Bereich die Fahrszene erkennen und eine bessere Fahrleistung erzielen.

Um jedoch eine endgültige Aussage über eine sichere Bedienung von komplexen, listenbasierten Informationen im HUD treffen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Dabei sollte das Hauptaugenmerk auf kritischen und unvorhersehbaren Situationen liegen. Kurze und flache Menüs im HUD eignen sich auch in solchen Situationen, wie Milicics [70] Studien zeigen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen darauf schließen, dass auch komplexere Menüs und umfangreichere Informationen während der Fahrt im HUD bedient werden können.

Kombi Entgegen der Erwartungen wird Hypothese $H_{Kombi-CID,visuell}$ lediglich eingeschränkt bestätigt, da sich das Kombi nur in den maximalen Blickzeiten vom CID unterscheidet. Das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten erfüllt mit einem Mittelwert von 1,81 Sekunde den AAM-Richtwert. Mit dem Kombi wird zudem eine tendenziell bessere Fahrleistung (Längsführung: maximaler Abstand zum Vordermann) als mit dem CID erreicht. Gegenüber dem HUD wurden keine Unterschiede gemessen. Hypothese $H_{Kombi-CID,Bedienzeit}$ wird abgelehnt, da mit dem Kombi keine kürzeren Bedienzeiten erzielt werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die getesteten Informationen im Kombi für die Fahraufgabe eignen und keine negativen Auswirkungen auf das Blick- und Fahrverhalten haben. Die subjektiv empfundene Ablenkung bewerteten die Probanden in allen relevanten DALI-Dimensionen geringer als im CID und höher als im HUD. Die Versuchsteilnehmer stuften diesen Anzeigort besser für die Fahr-

aufgabe ein als das CID.

CID Die Blickzeiten in das CID fallen am kürzesten aus (maximale und durchschnittliche Blickdauer). Gleichzeitig resultiert die Bedienung des CID in einer signifikant geringeren Blickanzahl und kumulierten Blickdauer als die des HUD. Die Bearbeitung der Nebenaufgabe im CID dauert signifikant länger als im Kombi und HUD. Im Vergleich zu den übrigen Anzeigeorten wirkt sich die Interaktion mit dem CID positiv auf das Blickverhalten aus. Die TTT jedoch ist höher und die Fahrleistung schlechter. Subjektiv stufen die Nutzer das CID als weniger geeignet ein als das HUD und Kombi.

4.3.2 Anzahl sichtbarer Listenelemente

Die Anzeige von drei, fünf oder sieben sichtbaren Zeilen hat unabhängig vom Display keinen Einfluss auf die Blickzeiten (durchschnittlich und maximal) der Probanden. Es wurde jedoch signifikant öfter bei drei Zeilen als bei sieben Zeilen auf die Anzeigorte geblickt. Die kumulierte Blickdauer fällt bei drei Elementen am höchsten aus und unterscheidet sich signifikant gegenüber fünf Einträgen. Eine tendenziell längere kumulierte Blickdauer wurde zwischen drei und sieben Listenelementen beobachtet, wobei sieben Einträge kürzere kumulierte Blickzeiten verursachen. Hypothese $H_{\text{Zeilen,visuell}}$ wird deshalb abgelehnt. Konträr zu dieser Annahme weisen die gemessenen Blickzeiten auf eine geringere visuelle Ablenkung bei mehr dargestellten Einträgen hin. Außerdem zeigt die Analyse der Fahrdaten, dass mehr Listenelemente keine schlechtere Fahrleistung verursachen. Hypothese $H_{\text{Zeilen,Fahrleistung}}$ wird abgelehnt. Die Analyse der Bedienzeiten ergab lediglich tendenziell kürzer Bearbeitungszeiten mit sieben Zeilen als mit drei und fünf, weshalb Hypothese $H_{\text{Zeilen,Bedienzeit}}$ nicht bestätigt wird.

Basierend auf diesen Resultaten kann konstatiert werden, dass sich sieben beziehungsweise fünf Elemente zur Informationspräsentation in allen Anzeigorten besser eignen als drei. Die Aufgabenbearbeitung ist tendenziell schneller, bewirkt aber keine schlechtere Fahrleistung oder längeren Blickzeiten. Dies verhält sich über alle Anzeigorte gleich (keine Interaktionseffekte). Subjektiv erzeugen mehr Listenelemente keine größere Interferenz zur Fahraufgabe oder eine höhere visuelle Ablenkung. Auch auf die übrigen DALI-Dimensionen konnten keine Auswirkungen festgestellt werden. Die Anwender können also auf einen Blick mehr Informationen aufnehmen und verarbeiten. Die Anzeige von sieben Elementen entspricht demnach der Kapazität der menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung. Diese Resultate stimmen mit Kujalas [59] Studien überein. Er zeigt, dass sich das Blickverhalten bei zwei und sechs sichtbaren Menüeinträgen kaum unterscheidet. Neun gleichzeitig dargestellte Listeneinträge hingegen verdoppeln annähernd die durchschnittlichen Blickzeiten.

4.3.3 Hierarchieebenen

Der Vergleich zwischen einer Hierarchieebene, zwei und vier Hierarchieebenen zeigt, dass die Probanden unabhängig vom Anzeigort durchschnittlich kürzere Blicke bei vier Ebenen durchführen als bei zwei. Tendenziell kürzere durchschnittliche Blickzeiten bewirken vier Ebenen gegenüber einer Ebene. Die maximalen Blickzeiten, die durch vier Menüebenen verursacht wer-

den, sind signifikant kürzer als mit einer Ebene und zwei Ebenen. Hypothese $H_{Ebenen,visuell}$ wird dadurch bestätigt. Bei der Analyse der kumulierten Blickzeiten müssen die unterschiedlichen BediENAufgaben für die untersuchten Menüebenen beachtet werden. Insgesamt wurden annähernd gleich viele Bedienschritte benötigt. Es handelt sich jedoch um unterschiedliche Arten von Bedienschritten: Bei einer Menüebene waren 126 Scrolleinheiten zur Aufgabenbearbeitung notwendig, bei zwei Ebenen 116 Scrolleinheiten und neun Mal der Wechsel in die nächsttiefere Ebene. Bei vier Ebenen wurden 93 Scrollvorgänge und 27-mal der Wechsel in die nächste Ebene durchgeführt. Die kumulierten Blickzeiten und die Anzahl der benötigten Blicke steigen mit der zunehmenden Anzahl an Ebenen. Bestätigungsvorgänge sind aufwändiger als Scrollvorgänge, so kann angenommen werden. Aufgrund der kürzeren durchschnittlichen und maximalen Blickzeiten wird dennoch ein positiver Einfluss auf das Blickverhalten der Nutzer deutlich und bestätigt die Ergebnisse von Totzke [109] für die Anzeigeorte Kombi und HUD. Diese Aussage wird vom 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickdauer gestützt. Vier Menüebenen im HUD senken den Mittelwert von 2.07 Sekunden auf nur knapp über zwei Sekunden. Die Mittelwerte für eine Ebene und zwei Ebenen liegen über 2,4 Sekunden. Auch im Kombi und CID reduzieren vier Ebenen die Mittelwerte für das 85-Prozent-Perzentil. Über die gemessenen Bedienzeiten kann keine Aussage getroffen werden, da die Vorteile von Menüebenen nicht Bestandteil der Untersuchung waren. Der durchschnittliche und maximale Abstand zum Vorderfahrzeug ist jeweils bei zwei Menüebenen höher als bei einer Ebene und vier Ebenen. Hypothese $H_{Ebenen,Fahrleistung}$ kann deshalb nicht bestätigt werden. Dies legt den Schluss nahe, dass die Aufgabenstellung bei zwei Ebenen kognitiv beanspruchender ist als die Aufgaben für eine Ebene und vier Ebenen. Die semantische Menügestaltung kann Auswirkungen auf die Menüinteraktion haben. Insbesondere beeinflusst sie das Nutzerverständnis, das sich auf die kognitive Ablenkung [76] von der Fahraufgabe auswirken kann. Die subjektiven Resultate des DALI-Fragebogens bestätigen diese Annahmen allerdings nicht. Es wurde kein Einfluss der Hierarchieebenen auf die subjektiv wahrgenommenen Ablenkung gemessen.

4.3.4 Bedienelemente

Entgegen der in Hypothese $H_{Interaktion,Fahrleistung}$ und $H_{Interaktion,Blickzeiten}$ angenommenen besseren Eignung des Rändelrades am MFL für die Fahraufgabe wurden keine Unterschiede der Blickzeiten und der Fahrleistung festgestellt. Ebenso wenig besteht ein Zusammenhang zwischen Anzeigeorten und Bedienelementen (keine Interaktionseffekte). Die Versuchspersonen absolvierten die Nebenaufgabe jedoch signifikant schneller mit dem ZBE als mit dem MFL. Hypothese $H_{Interaktion,Bearbeitungszeiten}$ wird somit bestätigt. Die Teilnehmer bevorzugten das ZBE gegenüber dem MFL, wie das Ranking der Display-Controller-Kombination zeigt. Trotz der Positionierung des Rändelrades am Lenkrad wurden keine positiven Effekte auf Fahr- und Nebenaufgabe gemessen.

Auffallend bei der subjektiv präferierten Kombination von Anzeigeort und Bedienelement ist, dass der Anzeigeort gegenüber dem Bedienelement eine übergeordnete Rolle spielt. Den Nutzern ist ein optimaler Anzeigeort also wichtiger als das Bedienelement (siehe Abbildung 4.12).

4.4 Fazit und Kritik

Das HUD eignet sich laut der AAM-Richtlinie mit den in dieser Studie verwendeten Informationen nur eingeschränkt zur Informationspräsentation. Das AAM-Kriterium wird verletzt, die beste Fahrleistung wird allerdings mit dem HUD erzielt. Um eine endgültige Aussage über die Gültigkeit der AAM-Richtlinien für das HUD treffen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Der Einsatz von vier Hierarchieebenen bewirkt eine Annäherung an den AAM-Richtwert von zwei Sekunden. Mit Konzepten zur Informationsverteilung auf die Anzeigorte kann versucht werden, die visuelle Ablenkung des HUD weiter zu reduzieren (siehe Kapitel 5). Das Kombi und CID hat keine negativen Auswirkungen auf das Blick- und Fahrverhalten.

Es ergeben sich weder Interaktionseffekte zwischen den Displays und der Anzahl an sichtbaren Listenelementen noch zwischen den Displays und Hierarchieebenen, wie die Resultate zeigen. Unabhängig vom Anzeigort verändern sich die Blickzeiten bei einer größeren Anzahl an dargestellten Elementen hin zu einer kürzeren kumulierten Blickzeit. Es konnten keine Unterschiede in der durchschnittlichen Blickdauer ermittelt werden. Sieben sichtbare Zeilen verursachen hingegen tendenziell kürzere Bedienzeiten als fünf und drei Elemente. Der Einsatz von Hierarchien resultiert in kürzeren durchschnittlichen Blickzeiten und hat keine negative Auswirkung auf die Fahrleistung der Nutzer. Es wird jedoch auf das Design der gestellten Aufgaben aufmerksam gemacht, das die Vergleichbarkeit der Hierarchieebenen in Bezug auf die Bedien- und kumulierten Blickzeiten nicht zulässt. Außerdem wurde die semantische Menügestaltung in den vorliegenden Untersuchungen nicht berücksichtigt. Sie hat aber einen wesentlich Einfluss auf die kognitive Beanspruchung des Fahrers. Es wird an dieser Stelle auf Totzke [109] und Norman [76] verwiesen.

Die derzeit im Fahrzeug verwendeten Bedienelemente haben keine Auswirkung auf das Blickverhalten und die Fahrleistung. Mit dem ZBE wurden jedoch die Bedienzeiten verkürzt. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden allerdings lange Listen und Hierarchien verwendet. Wie sich ein kleinerer Umfang von Informationen auf die Bedienung auswirkt, wurde nicht betrachtet. Ebenso wenig wurden kritische Fahrsituationen untersucht, die schnelle Lenkmanöver erfordern. In beiden Fällen kann sich die Bedienung am Lenkrad positiv auf die Versuchsergebnisse auswirken.

Bei dem Ranking der beliebtesten Controller-Display-Kombination gaben die Probanden an, die beiden HUD-Varianten gefolgt von den Anzeigen im Kombi unabhängig vom Bedienelement zu bevorzugen. Den Nutzern ist also ein optimaler Ausgabeort von Informationen wichtiger als das Eingabemedium.

Dieser Abschnitt legt die Grundlage für die Umsetzung eines verteilten Fahrerinteraktionsraumes. Es wurden alle verfügbaren Anzeigorte relativ zueinander betrachtet. Darüber hinaus wurde der Frage nachgegangen, welche listenbasierten Informationen angezeigt werden dürfen, ohne negative Auswirkungen auf die Fahraufgabe zu verursachen. Zudem wurde der Einfluss der bisher vorhandenen Bedienelemente auf die Interaktion mit den Anzeigorten evaluiert. Da das 85-Prozent-Perzentil bei langen Listen im HUD verletzt wurde, werden im Folgenden kurze Listen für diesen Anzeigort verwendet.

Verteilte Informationspräsentations- und Interaktionskonzepte

Für die gesamtheitliche Nutzung des Fahrerinteraktionsraumes werden neue FIS-Konzepte benötigt. Einerseits müssen Informationen auf die Displays verteilt und dort bedient werden können. Andererseits gilt es zu klären, welche logischen Verbindungen zwischen den Anzeigeflächen und Bedienelementen bestehen.

Basierend auf den verwandten Arbeiten und einem Workshop werden Konzeptideen gesammelt und bewertet. Darauf aufbauend werden Prototypen entwickelt und in einer abschließenden Nutzerstudie evaluiert¹.

5.1 Analyse des bestehenden Systems

Die Analyse bestehender Anwendungen soll den Informationsumfang und logische Zusammenhänge identifizieren, die sich für die Verteilung auf die Anzeigorte eignen. Für das HUD muss zudem eine geeignete Informationsmenge bestimmt werden, da dieser Anzeigort für interaktive Anwendungen nur eingeschränkt nutzbar ist (im Sinne der AAM-Richtlinien, siehe Kapitel 4).

Das serienmäßige FIS (am Beispiel des BMW iDrive-Systems, siehe Abschnitt 2.3) besteht überwiegend aus listenbasierten hierarchischen Menüs. Insofern liegt das Hauptaugenmerk auf diesen Interaktionsprimitiven. Die Analyse umfasst die Menüstruktur, Informationsbeschaffenheit, die Bedienung sowie die Konfigurationsfunktionalitäten der einzelnen Anzeigorte.

¹Die in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte und Untersuchungen wurden in der im Rahmen dieser Dissertation betreuten Diplomarbeit von Simon Stusak erarbeitet.

5.1.1 Menüstruktur und Informationsbeschaffenheit

Die oberste Menüebene des BMW iDrive-Systems besteht aus acht Listeneinträgen: CD/Multimedia, Radio, Telefon, Navigation, Kontakte, BMW Dienste, Fahrzeuginformation und Einstellungen. Darauf folgende Untermenüs können mehr als acht Einträge enthalten. Pro Seite werden maximal sieben Einträge angezeigt. Für den Kunden relevante und häufig verwendete Inhalte werden an oberster Stelle platziert. Die Inhalte langer Listen hingegen wie Adressen, Telefonkontakte oder Musiktitel sind alphabetisch sortiert. Die FIS-Anwendungen CD/Multimedia, Radio, Telefon und Kontakte wurden im Hinblick auf ihre Struktur und den Informationsumfang detailliert analysiert.

Abbildung 5.1 zeigt die Struktur der Telefonanwendung beginnend mit dem Hauptmenüeintrag "Telefon". Die zweite Hierarchieebene enthält eine Auswahl verschiedener Listen wie das Telefonbuch, die Wahlwiederholung sowie weitere telefonspezifische Funktionen (Nummer wählen oder Bluetooth). Die Inhalte der dritten Hierarchieebene können bezüglich der Listenlänge stark variieren. Die Auswahl der Bluetooth-Geräte beispielsweise besteht aus maximal fünf Einträgen. Die eingegangenen Anrufe können bis zu 20 Nummern enthalten und das Telefonbuch besteht bei den meisten Nutzern aus mehr als 100 Kontakten (basierend auf den Kontaktlisten der Mobiltelefone von fünf Personen). Die farbliche Kennzeichnung der Knotenpunkte des Diagrammes in Abbildung 5.1 symbolisiert die Listenlänge. Weiße Knoten enthalten null bis zehn Einträge, orange Knoten kleiner gleich 30 und gelbe Knoten größer als 30 Listeneinträge. Die tiefste Hierarchieebene in diesem Menü sind die aktiven Gespräche im Telefonbuch (sechste Menüebene). Die Baumdiagramme der restlichen Untermenüs können der Arbeit von Stusak [107] entnommen werden.

5.1.2 Menübedienung

Durch das Drehen des iDrive-Controllers können Listeneinträge und Menüoptionen ausgewählt werden. Das Drücken des Controllers bestätigt die Auswahl. Um von einem Untermenü in die übergeordnete Menüebene zu gelangen, wird der Controller nach links geschoben. Alternativ kann das Hauptmenü auch über eine dafür vorgesehene Taste aus jeder Hierarchieebene aufgerufen werden.

Eine Statusleiste am oberen Bildschirmrand und die farbliche Kennzeichnung zeigen den ausgewählten Hauptmenüpunkt an. Zusätzlich enthält die Statusleiste die aktuelle Audioquelle und die Uhrzeit. Eine Scrollbar am rechten Bildschirmrand illustriert die Listenlänge und wie tief in der Liste sich der markierte Eintrag befindet.

Wird der Controller nach rechts geschoben, können kontextabhängige Optionen zu jedem Inhalt aufgerufen werden. Aktuelle Anzeigen werden dazu teilweise überblendet. Am Beispiel des Telefonmenüs werden dort Optionen wie "Bluetooth-Schnittstelle für das Telefon de-/aktivieren" präsentiert.

5.1.3 Konfiguration der Anzeigeorte

Unter dem Hauptmenüpunkt "Einstellungen" können die Inhalte und Eigenschaften aller Anzeigeorte angepasst werden. Darin wird für das CID die Konfiguration der Displayhelligkeit angebo-

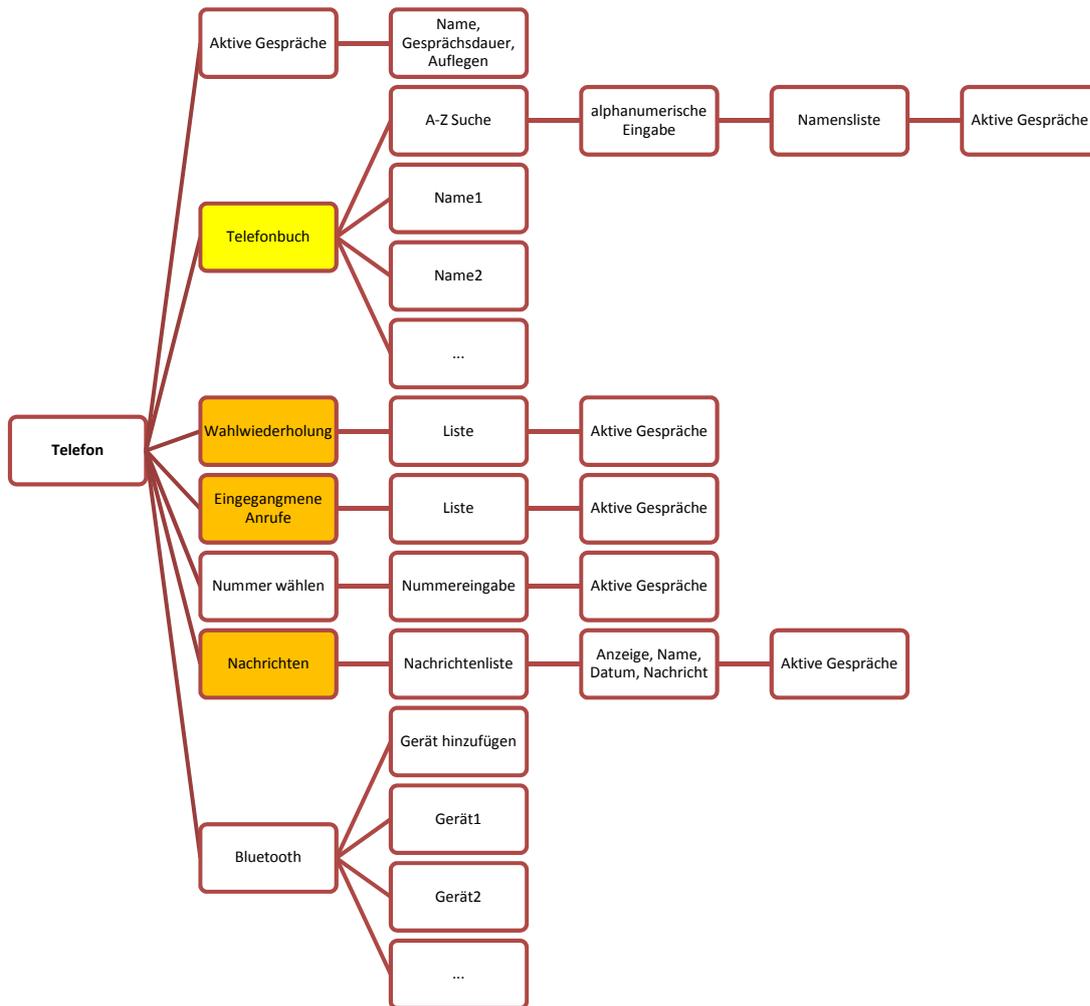


Abbildung 5.1: Baumdiagramm des Telefonmenüs. Weiße Knoten ≤ 10 Einträge, orange Knoten ≤ 30 Einträge, gelbe Knoten > 30 Einträge.

ten. Für das HUD kann zusätzlich zur Helligkeit die Anzeigehöhe der Informationen festgelegt werden, um die optimale Lesbarkeit für alle Anwender zu garantieren. Zudem kann der Inhalt des HUD teilweise fahrerseitig bestimmt werden wie das Ein- und Ausblenden von Navigationsinhalten. Ebenso besteht für das Kombi die Möglichkeit, den Informationsgehalt zu adaptieren (Ankunftszeit, Durchschnittsgeschwindigkeit oder die Entfernung zum Ziel).

Die Konfiguration aller Displays ist mittels Checkboxes umgesetzt. Auswählbare Inhalte für das Kombi und HUD beschränken sich zurzeit auf FAS-Informationen.

5.2 Konzeption der Prototypen

Die Anzeigeorte können entweder als drei unabhängige frei konfigurierbare Displays fungieren oder miteinander logisch verbunden sein. Erstere, im Folgenden unkoordinierte Anzeigen ge-

nannt, erlauben die parallele Präsentation von drei Anwendungen. Der zweite Ansatz ermöglicht die Erweiterung der Anzeigefläche einer Anwendung auf mehr als ein Display, im Folgenden als koordinierte Anzeigen bezeichnet.

Für beide Ansätze werden Konzepte zur Interaktion und nutzerseitigen Individualisierung entwickelt. Für koordinierte Anzeigen muss zusätzlich geklärt werden, in welcher Beziehung die unterschiedlichen Displays zueinander stehen. In diesem Abschnitt werden Konzeptideen vorgestellt und auf ihre Potenziale im Fahrzeug untersucht.

5.2.1 Präsentation verteilter Informationen

Der Vorteil unkoordinierter Anzeigen liegt in der unabhängigen Verteilung von Anwendung auf die drei Anzeigorte. Dadurch können Anwendungen abhängig vom Aufgabenkontext des Anwenders parallel dargestellt werden. Durch die räumlich verteilte Anordnung können zudem Statusinformationen ohne einen Hierarchiewechsel gefunden und abgelesen werden (siehe Abschnitt 3.2.1). So könnte beispielsweise gleichzeitig ein MP3-Liste im HUD, die Kartenansicht im CID und das Telefonbuch im Kombi angezeigt werden. Der Fahrer kann alle Anwendungen einsehen, ohne zusätzliche Bedienschritte ausführen zu müssen.

Bei koordinierten Anzeigen können hingegen unterschiedliche Ansichten auf einen Datensatz angeboten werden (MCV). So kann sowohl die übergeordnete Struktur als auch die Detailansicht auf die Daten gleichzeitig dargestellt werden. Durch die Koordinierung (Master/Slave) bedingen sich die Ansichten im Falle einer nutzerseitigen Interaktion gegenseitig (siehe Abschnitt 3.2.2). Im PKW muss auf eine ausreichende Schriftgröße und die eingeschränkte Bildschirmgröße geachtet werden. Mehrere Ansichten auf umfangreiche Datensätze können deshalb nicht auf einem einzigen Display präsentiert werden. Durch die Verteilung von Ansichten auf unterschiedliche Anzeigorte ist es möglich, MCV auch im Fahrzeug einzusetzen.

Beide Ansätze können die kognitive Belastung der Nutzer reduzieren und sich positiv auf die Fahraufgabe auswirken (siehe Abschnitt 3.2). Die Entscheidung, welche dieser Varianten zum Einsatz kommt, ist von der zugrunde liegenden Anwendung sowie den Einschränkungen der Anzeigorte abhängig. Wie in Kapitel 4 und in anderen Studien (siehe Abschnitt 3.1.2) gezeigt, gelten die meisten Einschränkungen für das HUD. Demzufolge sollen im HUD kurze Listen und flache Hierarchien verwendet werden. Das Ablenkungspotential des Kombis liegt zwar zwischen dem CID und dem HUD, erfüllt allerdings die AAM-Richtlinien für die visuelle Ablenkung. Bezüglich der Fahrdaten konnten keine negativen Auswirkungen der Informationspräsentation im HUD und Kombi festgestellt werden (siehe Kapitel 4).

Im Rahmen eines Workshops mit acht Experten der automobilen MMI wurden potentielle Konzeptideen besprochen und weiterentwickelt. Aufgrund der Nähe zwischen HUD und Kombi eignen sich demnach diese Displays besonders für koordinierte Anzeigen. Eine detaillierte Übersicht dazu bietet Stusak [107].

Im Folgenden werden vier Ideen für koordinierte Konzepte vorgestellt, aus denen die finalen Prototypen hervorgehen: Detail - Übersicht, Übersicht - Detail, Kategorisierung, Focus Context Cursor.

Detail - Übersicht

Die zugrunde liegende Anwendung für die Detail-Übersicht-Variante ist das Adressbuch. Der Informationsumfang dieser Anwendung umfasst ca. 100 Einträge. Im Kombi wird die umfangreiche Adressliste (Übersicht) und im HUD die Detailinformationen (Wohnort, Straße, Telefonnummer) präsentiert (siehe Abbildung 5.2). Der Nutzer kann infolgedessen ohne weitere Bedienschritte die im HUD sichtbaren Detailinformationen zu dem im Kombi selektierten Kontakt ablesen. Wird die Auswahl im Kombi bestätigt, springt der Fokus des Bedienelementes auf das HUD und die gewünschte Aktion kann dort gestartet werden (Anruf starten, Navigation starten, Email schreiben).

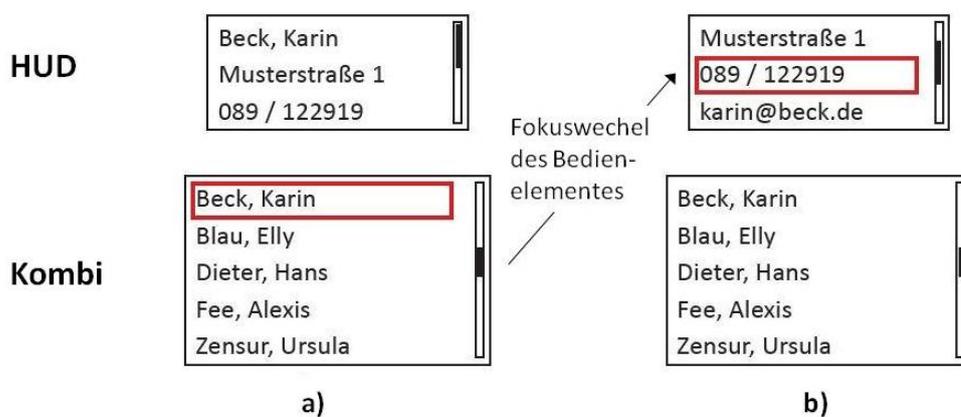


Abbildung 5.2: Detail-Übersicht-Konzept. a) Kontaktübersicht im Kombi und Kontaktdetails im HUD (Cursor befindet sich im Kombi). b) Nach Bestätigung der Auswahl wechselt der Fokus des Eingabegerätes auf das HUD. [107]

Übersicht - Detail

Analog zum Detail-Übersicht-Konzept werden zwei Menüebenen auf zwei Displays verteilt. Der Unterschied liegt in der Datenbeschaffenheit. Die Übersicht-Detail-Variante zeigt im HUD eine Übersicht, die eine limitierte Anzahl an Möglichkeiten enthält und sich für die Präsentation im HUD eignet. Beispiele dafür sind Musikgenres, Nachrichtenüberschriften oder CD-Listen. Im Kombi werden die umfangreicheren Details präsentiert wie Songs, Nachrichtentext oder CD-Titel (siehe Abbildung 5.3). Somit kann im HUD eine schnelle Auswahl getroffen und der Inhalt im Kombi abgelesen werden.

Kategorisierung

Das Konzept der Kategorisierung kann für Daten verwendet werden, die sich durch Attribute, Genres, Nutzerprofile oder Abstraktionsniveaus beschreiben lassen (siehe Abschnitt 3.2.2). Umfangreiche Kontaktlisten und MP3-Sammlungen werden als solche Daten gehandelt. Durch die Einteilung der gesamten Listen in Kategorien wird die Listenlänge reduziert. Am Beispiel der MP3-Sammlung unterteilt dieses Konzept die Musiktitel in alphabetische Kategorien. Die

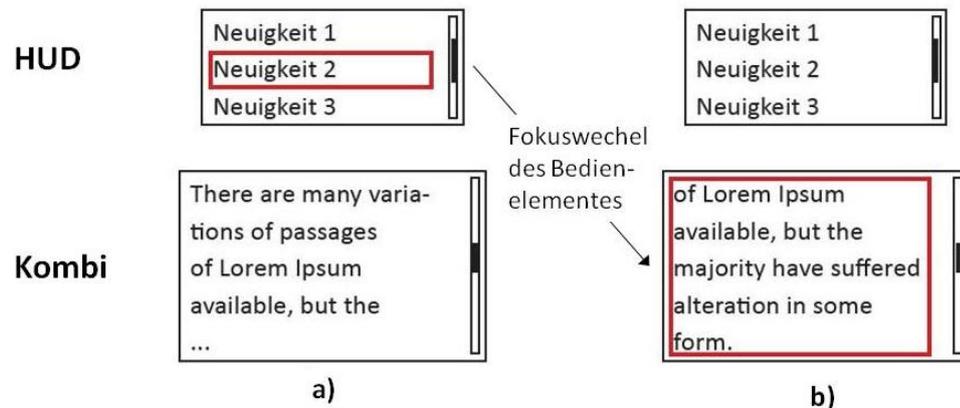


Abbildung 5.3: Übersichts-Detail-Konzept. a) Limitierte Anzahl an Nachrichtenüberschriften im HUD und Nachrichtentext im Kombi (Fokus des Cursors liegt im HUD). b) Bestätigung der Auswahl und Fokuswechsel des Eingabegerätes auf das Kombi zum Scrollen im Text. [107]

Kategorien werden im Kombi und die resultierenden Songs im HUD präsentiert (siehe Abbildung 5.4). Ein Vorteil der alphabetischen Unterteilung ist, dass die korrespondierende Listenlänge durch eine weitere Eingrenzung (zweiter und dritter Buchstabe des Musiktitels) nach Belieben angepasst werden kann.

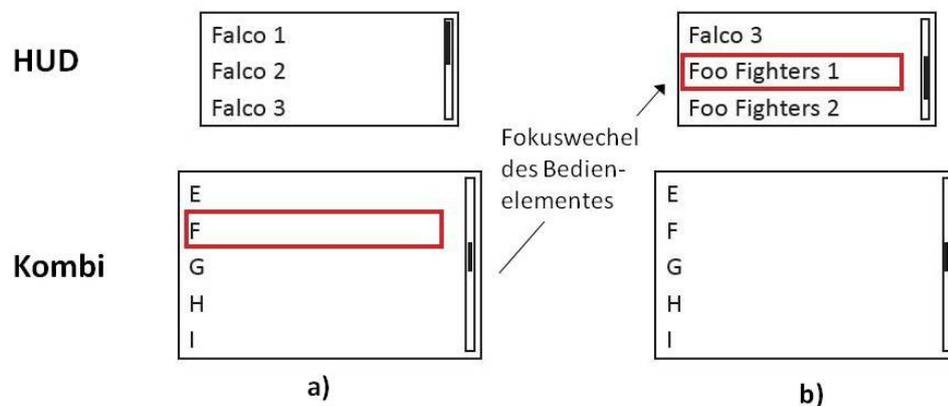


Abbildung 5.4: Kategorisierungskonzept am Beispiel einer MP3-Sammlung. a) Kategorien im Kombi und resultierende Titelliste im HUD (Cursor-Fokus liegt im Kombi). b) Durch die Bestätigung der selektierten Kategorie wechselt der Fokus des Eingabegerätes auf das HUD. [107]

Focus Context Cursor (FoCoCu)

Der FoCoCu ermöglicht die Bedienung einer Liste auf zwei Arten: Focus-Modus und Kontext-Modus. Die Listeneinträge werden redundant im Kombi und HUD angezeigt. Im Fokus-Modus,

der im HUD dargestellt ist, kann ein einzelner Listeneintrag ausgewählt werden. Der Kontext-Modus im Kombi ermöglicht eine schnelle Navigation durch die Liste. Dabei werden statt nur einem Eintrag ganze Seiten oder mehrere Listenelemente gescrollt. Die schnelle und grobe Orientierung in der Liste findet im Kombi statt. Die Feinauswahl kann im HUD getroffen werden (siehe Abbildung 5.5).

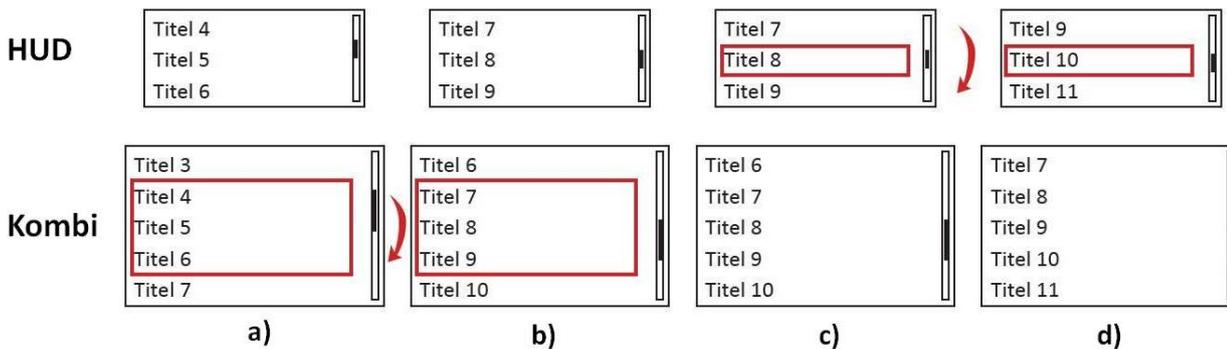


Abbildung 5.5: FoCoCu für lange Listen. a) - b) Zur schnellen Navigation durch Listen wird die sichtbare Seite in Dreierschritten gescrollt (Bedienfokus liegt auf dem Kombi). c) - d) Wird der Bereich bestätigt, springt der Fokus des Bedienelementes auf das HUD. Dort kann die Feinauswahl getroffen werden. [107]

Alle vier Konzeptideen haben das Ziel, die Eigenschaften der Anzeigeorte optimal zu nutzen und den Fahrer bei der Interaktion mit dem FIS zu unterstützen. Durch die Präsentation des FIS im HUD werden die Blickabwendungswege so gering wie möglich gehalten und die Bedienzeiten verkürzt. Um keine negativen Effekte auf das Blickverhalten der Fahrer zu verursachen, wird dort ein geringer Informationsumfang dargestellt. Umfangreichere Listen und Hierarchien werden in das Kombi ausgelagert (siehe Kapitel 4).

5.2.2 Interaktion mit verteilten Anzeigen

Eine weitere Herausforderung in Multiple Display Environments stellt die Interaktion dar. Im Fahrzeug stehen verschiedene Eingabemodalitäten zur Verfügung (siehe Abschnitt 2.3.2): Touchscreens, Sprachdialogsysteme und das ZBE. Eine Touchinteraktion ist nur mit dem CID möglich, da das Kombi und HUD nicht in Reichweite des Anwenders liegen. Sprachdialogsysteme werden bis dato nur von einem Bruchteil der Anwender benutzt. Für die Konzeption der Prototypen werden deshalb ausschließlich das ZBE und MFL berücksichtigt (siehe Abbildung 5.6).

Für das HUD wird aktuell kein Eingabemedium benötigt. Die hier vorgestellten Konzepte sehen jedoch interaktive Inhalte auf allen drei Anzeigeorten (HUD, Kombi, CID) vor. Folglich muss entweder ein zusätzliches Eingabemedium geschaffen oder ein Eingabegerät für mehrere Displays eingesetzt werden. Ein zusätzliches Bedienelement benötigt Bauraum im Fahrzeug und verursacht zusätzliche Kosten. Deshalb ist die Entscheidung zugunsten eines Bedienelementes ausgefallen, mit dem mehr als ein Display bedient werden kann.



Abbildung 5.6: Bedienelemente im Fahrzeug. a) ZBE in der Mittelkonsole. b) Bedienelemente des MFL.

Die Techniken Input Redirect und Output Redirect erlauben die Interaktion mit mehreren Displays über ein Eingabemedium (siehe Abschnitt 3.2.1). Aufgrund der Anforderungen an die automobilen Benutzerschnittstelle ist Output Redirect ungeeignet, da der Wechsel des Ausgabeortes das Auffinden von Informationen erschwert. Außerdem würde auf zwei der drei Anzeigeflächen derselbe Inhalt präsentiert werden.

Input Redirect verschiebt den Eingabefokus des Bedienelementes auf das Zieldisplay. Bei den vorgestellten Konzepten wird teilweise proaktiv zwischen den Eingabeorten gewechselt. Damit weiterhin der Fahrer die volle Kontrolle über das System hat, muss diese Aktion rückgängig gemacht werden können. Dieser Vorgang kann mittels eines zusätzlichen Tasters realisiert werden.

Für die Bedienung mit listenbasierten hierarchischen Menüs müssen folgende Funktionen verfügbar sein:

- Scrollen in Listen
- Listeneintrag (Menüoption) auswählen
- Menüebene zurückspringen
- Optionsmenü aufrufen

Zudem muss der Wechsel des Eingabegerätes zwischen den Anzeigeorten durchgeführt werden. Für die koordinierten Konzepte ist dieser Bedienschritt gleichzusetzen mit Menüebene zurückspringen. Bei der unkoordinierten Informationsverteilung muss ein zusätzlicher Taster zur Auswahl des Eingabeortes definiert werden.

Da sich die Informationsverteilung ausgehend vom CID auf die Anzeigeorte HUD und Kombi beschränkt, werden die Bedienelemente des MFL eingesetzt. Den oben genannten Funktionen wurden die in Abbildung 5.7 gezeigten Bedienelemente zugeordnet.

5.2.3 Individualisierung der Anzeigeorte

Adaptierbare Benutzerschnittstellen erlauben eine individuelle und aufgabenorientierte Anpassung von Systemen. Dabei kann grundsätzlich zwischen Adaptierbarkeit und Adaptivität unterschieden werden. Adaptivität findet systemseitig basierend auf Nutzerinformationen statt und



- a) Mode-Taster: Auswahl des Eingabeortes
- b) Rändelrad (Drehen): Scrollen in Listen
Rändelrad (Drücken): Listeneintrag auswählen
- c) Telefon-Taster: Menüebene zurückspringen
- d) PTT-Taster: Optionsmenü aufrufen

Abbildung 5.7: Funktionsbelegung der Bedienelemente am MFL zur Interaktion mit verteilten Anwendungen.

kann nicht vom Nutzer beeinflusst werden. Der Anwender hat somit nicht mehr die Kontrolle über das System und Anpassungen können ungewollt vorkommen.

Adaptierbarkeit wird nutzerseitig durchgeführt und steigert deshalb die Systemkomplexität, da zusätzlich die Funktionen zur Individualisierung bedient werden müssen. Der Vorteil der Adaptierbarkeit liegt jedoch in der Vorhersehbarkeit. Für den automobilen Einsatz bietet sie sich deshalb besonders an (siehe Abschnitt 3.3).

Angelehnt an das Drag-and-Drop-Prinzip (siehe Abschnitt 3.3.3) werden folgende Optionen für den Vorgang der Informationsverteilung im Fahrzeug identifiziert:

- *Kopieren*: Der Inhalt eines Displays wird dupliziert und auf ein zweites Display kopiert. In beiden Anzeigertypen werden dieselben Informationen dargestellt.
- *Verschieben*: Informationen werden auf einem Display ausgeblendet und in einem anderen präsentiert.
- *Löschen*: Entfernt die Information aus einem Anzeigertyp.
- *Remoten*: Durch das Bestätigen eines Listen-/Menüeintrages auf einem Display A werden Informationen auf einem anderen Display B angezeigt. Die Informationen auf Display A bleiben davon unbeeinträchtigt. Display B kann beispielsweise eine andere Anwendung oder eine nächste Hierarchieebene beinhalten.
- *Promoten*: Der Zustand einer Anwendung wird von einem Display auf ein anderes übertragen. Die Anwendungen auf den zwei Anzeigertypen befinden sich im gleichen Zustand. Durch die Verschiebung auf einen anderen Anzeigertyp wird jedoch der Funktionsumfang der Anwendung erweitert. So kann beispielsweise vom HUD der Zustand einer Anwendung in das CID promotet werden, um dort eine alphanumerische Eingabe durchzuführen. Im HUD ist dies nicht möglich.

Im CID ist jederzeit der Informationsumfang aller Anwendung in toto verfügbar. Ausgehend vom CID können Informationen auf das HUD und Kombi kopiert, remotet oder promotet werden. Remoten und Promoten ist dann notwendig, wenn die Restriktionen eines Anzeigertypen

(Anzeigefläche, Listenlänge, Darstellungsform) die gewünschte Aktion nicht zulässt. So kann beim Remoten aus der Listendarstellung im HUD beispielsweise die alphanumerische Eingabe im CID geöffnet werden. Der Nutzer muss also nicht im CID zur gewünschten Anwendung navigieren, um die alphanumerische Eingabe zu starten. Somit wird von einem Anzeigeort aus eine zusätzliche Funktion in einem anderen Anzeigeort geöffnet. Promoten hingegen verschiebt den Anwendungsstatus (Hierarchieebene) und öffnet dieselbe Anwendung im Zieldisplay. Dadurch kann zum Beispiel die Liste der letzten Navigationsziele vom Kombi in das CID übernommen werden.

Des Weiteren muss geklärt werden, wie sich der Fokus der Bedienelemente (ZBE, MFL) bei den oben genannten Aktionen verhält. Einerseits kann er an die Information gebunden sein und mit ihr den Anzeigeort wechseln. Dabei muss mit dem ZBE und dem MFL derselbe Anzeigeort bedient werden. Andererseits kann der Fokus der Bedienelemente an ein Display gebunden sein. Bei dem Wechsel des Anzeigeortes muss der Anwender also auch das Eingabemedium wechseln. Da mit einem Bedienelement mindestens zwei Displays bedient werden, ist bei beiden Varianten ein zusätzlicher Taster für den Displaywechsel notwendig (siehe Abschnitt 5.2.1).

Für den Vorgang der Informationsverteilung und den Displaywechsel mit dem ZBE oder MFL wurden verschiedene Möglichkeiten entworfen:

- *ZBE gleichzeitig drücken und drehen (oder schieben):* Abhängig von der Dreh- oder Schieberichtung wird der Fokus des ZBE auf das nächste Display verschoben.
- *Langdruck auf ZBE oder MFL:* Aktiviert den Verteilmodus. Die markierte Anwendung kann mittels Drehen oder Schieben auf ein anderes Display kopiert werden. Dieser Vorgang wird durch erneutes Drücken beendet.

Auf diesen Überlegungen aufbauend, wurden fünf Konzepte entwickelt. Anders als in Abschnitt 5.2.1 handelt es sich dabei um unkoordinierte Ansichten. HUD und Kombi werden nicht als Displayverbund angesehen, sondern als unabhängige Anzeigeorte. Deshalb muss zwischen allen drei Anzeigeflächen gewechselt werden. Die Ansätze zur Verteilung sind ebenso auf die koordinierten Konzepte anwendbar.

Konzeptvarianten zur Individualisierung

Die Verteilung von Informationen kann auf unterschiedlichen Menüebenen geschehen. Am Beispiel des CD/DVD-Menüs kann die gesamte CD-Anwendung oder lediglich der Inhalt einer CD vom CID aus in einen anderen Anzeigeort kopiert werden. Ob eine Anwendung in das gewünschte Zieldisplay kopiert werden darf, ist von den Restriktionen des Anzeigeortes abhängig. Im Kombi kann folglich die gesamte CD-Anwendung präsentiert werden. Im HUD werden nur die Titel einer CD angezeigt, um nicht zu lange Blickzeiten in diesen Anzeigeort zu provozieren. Die folgenden Konzepte adressieren sowohl die Individualisierung der Displays als auch den Fokuswechsel der Bedienelemente.

Konzept 1 orientiert sich am bestehenden Konfigurationsmenü der Anzeigeorte. Unter dem Menüpunkt "Einstellungen" kann vom Fahrer der Inhalt dieser Anzeigeorte angepasst werden

(siehe Abschnitt 5.1.3). Die Auswahl der Informationen erfolgt über Checkboxes. Um ausgehend von dem aktuellen Menüpunkt Informationen auf ein anderes Display verschieben zu können, werden die Auswahloptionen in das Optionsmenü ausgelagert. Dieses wird durch das Schieben des ZBE nach rechts aufgerufen. Im Optionsmenü werden die Menüpunkte der aktuellen Menüebene zur Verteilung angeboten. Der Wechsel des Bedienfokus des MFL zwischen HUD und Kombi findet über eine Taste oberhalb des Rändelrades statt (siehe Anhang, Abbildung A.5).

Bei *Konzept 2* wird im CID ein beliebiger Menüpunkt per Langdruck des ZBE markiert und durch gleichzeitiges Schieben auf ein Display kopiert (links = Kombi, oben = HUD). Das räumliche Mapping der Anzeigeorte auf die Schieberichtungen des Controllers soll dem Anwender die Bedienung erleichtern. Im HUD und Kombi befindet sich am Ende der verschobenen Listen eine Option zum Entfernen der Anwendung (siehe Anhang, Abbildung A.6). Der Wechsel zwischen den Anzeigeorten wird durch das Scrollen in der obersten Hierarchieebene in die entsprechende Richtung durchgeführt. Scrollt man vom ersten Menüeintrag im Kombi nach oben, wird der Bedienfokus auf das HUD gelegt. Wenn man vom letzten Eintrag im HUD nach unten scrollt, gelangt man ins Kombi.

Konzept 3 erlaubt das Verschieben von Informationen von jedem Display aus. Bei Konzept 1 und 2 können Anwendungen ausschließlich im CID ausgewählt werden. Die Verschiebung wird direkt per Langdruck des Rändelrades oder ZBE initiiert. Anschließend erscheint ein Pop-Up mit den Optionen Löschen oder neues Zieldisplay auswählen. Der Wechsel des MFL zwischen den Anzeigeorten wird mit dem Taster oberhalb des Rändelrades durchgeführt (siehe Anhang, Abbildung A.7).

Bei *Konzept 4* wird der Bedienfokus des ZBE und MFL zusammengefasst. Infolgedessen kann also mit beiden Bedienelementen immer nur dasselbe Display bedient werden. Die Verteilung von Informationen wird sowohl mit dem MFL als auch mit dem ZBE mittels Doppeldruck auf den Menüeintrag gestartet. Durch das Drehen wird das Zieldisplay ausgewählt. Vom CID aus werden Anwendungen kopiert, wohingegen eine Verschiebung vom HUD und Kombi aus gestartet wird. Erneutes Drücken am Zieldisplay bestätigt den Vorgang. Der Fokuswechsel beider Bedienelemente ist über gleichzeitiges Drücken und Drehen mit dem ZBE oder über den Taster oberhalb des MFL möglich (siehe Anhang, Abbildung A.9).

Konzept 5 erlaubt die Bedienung aller Displays mit beiden Bedienelementen unabhängig voneinander. Sowohl die Informationsverteilung als auch der Fokuswechsel beider Bedienelemente wird per Langdruck eingeleitet. Ein Pop-Up ermöglicht die Auswahl, ob der Fokus oder die Anwendung verschoben werden soll. Anschließend wird das Zieldisplay durch Drehen ausgewählt und durch Drücken bestätigt (siehe Anhang, Abbildung A.8).

Bewertung der Konzeptvarianten

Zur Evaluierung der Konzeptideen wurden alle Systeme prototypisch umgesetzt. Es wurden minimale gestalterische Mittel eingesetzt, um eine grundsätzliche Beurteilung der Konzeptideen zu erhalten. Die Darstellung der Systeme erfolgte über einen 23 Zoll TFT-Monitor und ein Notebookdisplay. Das HUD und Kombi wurden auf dem Monitor angezeigt. Als CID fungierte das Notebook. Ein ZBE sowie ein serienmäßiges Lenkrad wurden an das Notebook angeschlossen und ermöglichten die Steuerung der rudimentären Prototypen. Sechs Experten bewerteten mit

diesem Aufbau die Konzeptideen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.1 veranschaulicht.

Konzept	Kurzbeschreibung	positiv	negativ
Konzept 1	Verteilung und Löschen: Checkbox im Optionsmenü, Fokuswechsel MFL: Taster	Nähe zum bestehenden System, Bedienelement-Display Zuordnung, Taster für Verteilung	Optionsmenü durch neue Einträge ggf. unübersichtlich
Konzept 2	Verteilung: ZBE drücken und schieben, Löschen: Letzter Listeneintrag, Fokuswechsel MFL: Drehen des Rändelrades	Schnelle und einfache Verteilung durch Drücken und Schieben	Fokuswechsel durch Drehen bei langen Listen aufwendig und verwirrend, Löschen von Einträgen bei langen Listen aufwendig, Verteilvorgang ist versteckte Funktion
Konzept 3	Verteilung und Löschen: Langdruck und Pop-Up, Fokuswechsel MFL: Taster	Pop-Up als Feedback, Löschen und Verschieben auch im HUD und Kombi, Langdruck für schnelle und einfache Verteilung (bekannt von iPhone)	Verteilungsvorgang ist versteckte Funktion
Konzept 4	Verteilung: Doppeldruck, Drehen und Drücken (Bestätigung), Fokuswechsel (MFL und ZBE auf einem Display): Drücken und Drehen (ZBE), Taster (MFL)	-	Nur ein aktives Display, häufigerer Fokuswechsel, Beifahrer und Fahrer können nicht gleichzeitig interagieren, Doppeldruck nicht geeignet für die Fahrt
Konzept 5	Verteilung und Löschen: Langdruck und Pop-Up, Fokuswechsel (MFL und ZBE auf beliebigem Display): Langdruck und Pop-Up	Beide Bedienelemente können alle Displays bedienen	Feedback schwierig zur Darstellung der Bedienelement-Display-Zuordnung, Hierarchie in Pop-Up (Fokuswechsel und Anwendungsverteilung)

Tabelle 5.1: Bewertung der Konzeptvarianten.

Des Weiteren wiesen die Experten auf die ähnliche Funktionsweise der Prototypen hin. Bei einer Evaluierung besteht demnach die Gefahr, dass die Probanden die Systemvarianten schwer voneinander unterscheiden können. Um daraus resultierende Verzerrungen der Ergebnisse zu

minimieren, wurden nur zwei Varianten ausgewählt.

5.3 Prototypen

Für die Umsetzung der Prototypen wurde angenommen, dass das Kombi aus einem digitalen Display besteht und Daten zwischen allen Anzeigeorten ausgetauscht werden können. Gestaltungsvorlage ist das aktuelle BMW iDrive-System. Die technische Implementierung ist in Abschnitt 2.5 beschrieben.

5.3.1 Allgemeine Designentscheidungen

Im Kombi ist bislang nur ein kleiner Bereich für die Interaktion mit dem FIS vorgesehen. Das HUD wird momentan nicht für die Listen- und Menüdarstellung eingesetzt (siehe Abschnitt 2.3.1). Deshalb mussten für diese zwei Anzeigeorte Displayflächen für die Menüpräsentation bestimmt werden.

Im Kombi wurde dafür der Drehzahlmesser überblendet, da er während der Interaktion mit dem FIS nicht benötigt wird. Der Fahrer benötigt ihn nicht für das verkehrsgerechte Manövrieren des Fahrzeuges. Viele Automobilhersteller verzichten daher auf dieses Instrument². Diese Position erlaubt es zudem Kammerleuchten, Warnmeldungen und FAS-Anzeigen weiterhin einen eindeutigen Ort zuzuweisen. Für diese Informationen ist eine feste Verortung unabdingbar, da sie nicht nutzerinitiiert, sondern vom Fahrzeug verursacht werden. Die meist sicherheitsrelevanten Inhalte müssen eine eindeutige Position aufweisen, um vom Fahrer gefunden und beachtet zu werden.

Die Hierarchieebenen der Anwendungen werden anhand von Tafeln symbolisiert, die einander überlagern (siehe Abbildung 5.8).



Abbildung 5.8: Menübereich im Kombi. a) Oberste Hierarchieebene. b) Zweite Hierarchieebene.

Das Hauptmenü entlang der rechten Kombiseite kann mehrerer Anwendungen enthalten. Wird eine neue Anwendung auf das Kombi kopiert, erscheint diese im Hauptmenü und beendet die aktuell geöffnete Anwendung. Dadurch wird ein ausreichendes Feedback zur Bestätigung der Aktion gegeben. Die Farbgebung der Anwendungen ist analog zum CID (siehe Abbildung 5.9).

²www.fiat.it, www.renault.fr



Abbildung 5.9: Hauptmenü im Kombi.

Ebenso wie im Kombi werden die FIS-Anwendungen im HUD rechts neben der Geschwindigkeitsanzeige präsentiert. Um Überdeckungen der Fahrszene zu vermeiden und die visuelle Ablenkung zu minimieren, werden die Inhalte nach einem Timeout ausgeblendet. Ein Hauptmenü ist im HUD nur für unkoordinierte Anzeigen notwendig, da dort bei den koordinierten Varianten keine eigenständigen Anwendungen platziert werden können. Das HUD dient der Erweiterung der Anzeigefläche des Kombis (siehe Abbildung 5.10 b). Das Hauptmenü wird entlang der rechten Displaykante dargestellt.

Die Bedienung beider Anzeigeorte (HUD, Kombi) erfolgt über das MFL. Für den Fokuswechsel ist der Taster oberhalb des Rändelrades vorgesehen. Wenn der Anwender eine Menüebene zurückspringen will, muss der Taster unterhalb der Walze gedrückt werden (siehe Abschnitt 5.2.2). Zur Visualisierung des aktiven Displays wird der Cursor ausgeblendet, wenn sich der Bedienfokus nicht in dem Anzeigeort befindet. Im inaktiven Display wird der Cursor nur schemenhaft angezeigt (siehe Abbildung 5.10).

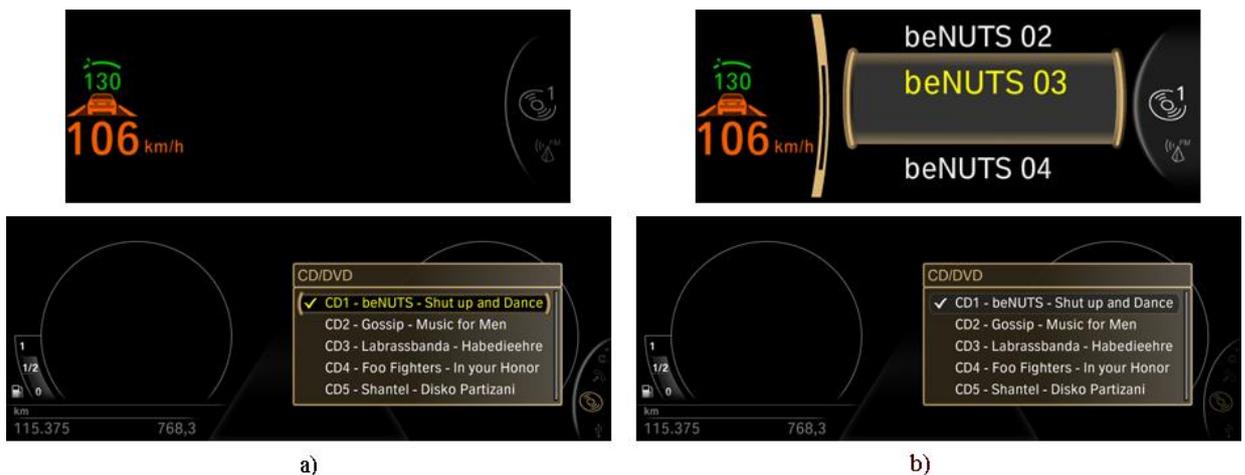


Abbildung 5.10: Unkoordinierte Ansicht im HUD und Kombi. a) HUD inaktiv und Bedienfokus des MFL liegt auf dem Kombi. b) HUD aktiv und Bedienfokus des MFL liegt auf dem HUD.

5.3.2 Prototypen für verteilte koordinierte und unkoordinierte Anzeigen

Alle koordinierten Anzeigeconzepte (siehe Abschnitt 5.2.1) wurden prototypisch realisiert. Die Bedienung erfolgt wie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben. Anhand einer POI-Liste von Apotheken wurde das Detail-Übersicht-Konzept umgesetzt. Die Apothekenliste wird im Kombi dargestellt und die Detailinformationen zum markierten Eintrag sind im HUD sichtbar (siehe Abbildung 5.11).



Abbildung 5.11: Detail-Übersicht-Konzept mit Apothekenlisten im Kombi und Details im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.

Die Übersicht-Detail-Variante zeigt eine Übersicht aller CDs im HUD in Form eines Coverflows an. Im Kombi werden die Musiktitel der selektierten CD präsentiert (siehe Abbildung 5.12).



Abbildung 5.12: Übersicht-Detail-Konzept mit Coverflow im HUD und Titelliste. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.

Das Kategorisierungskonzept entspricht im Wesentlichen der Aufteilung von Hierarchieebenen. Im Kombi werden alphabetische Kategorien präsentiert und im HUD die dazugehörigen

Einträge. Als Beispielanwendung wurde eine lange MP3-Liste realisiert (siehe Abbildung 5.13).



Abbildung 5.13: Kategorisierungskonzept mit alphabetischen Kategorien im Kombi und einer Liste im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.

Der FoCoCu präsentiert die MP3-Liste im Kombi. Durch einen Cursor über drei Einträge kann dort schnell durch die lange Liste navigiert werden. Im HUD wird die Titelauswahl getroffen (siehe Abbildung 5.14).

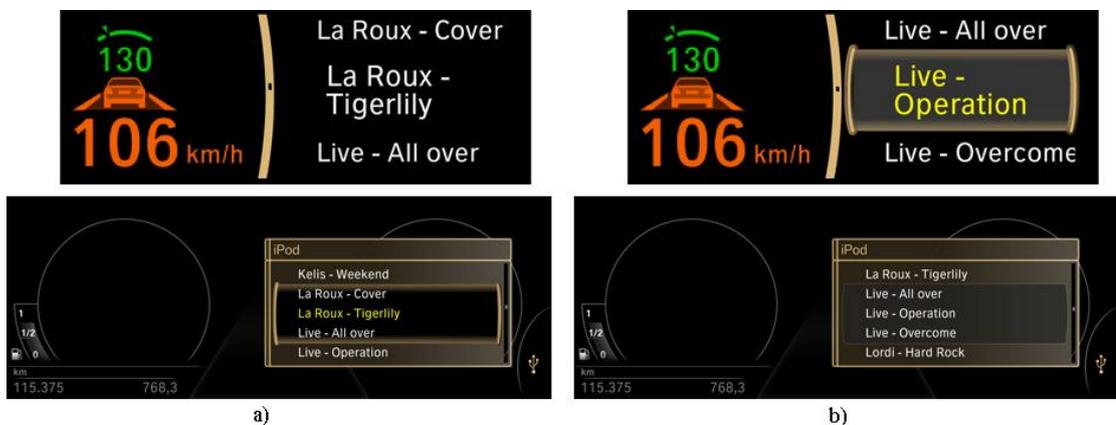


Abbildung 5.14: FoCoCu-Konzept mit schneller Navigation im Kombi und Detailauswahl im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.

5.3.3 Prototypen zur Individualisierung

Anhand einer Expertenbefragung wurden aus den vorgeschlagenen Varianten zur Individualisierung zwei Prototypen entwickelt (siehe Abschnitt 5.2.3). Konzept 1 wurde wegen seiner Nähe zum aktuellen System positiv bewertet. Der Vorgang der Informationsverteilung ist in das bestehende Optionsmenü integriert. Dadurch muss die Bedienung nicht neu erlernt werden. Bei

Konzept 3 wurde zwar der Langdruck für den Verteilungsvorgang als versteckte Funktion kritisiert, gleichzeitig aber als sinnvolle Lösung bezeichnet, da sie von anderen Geräten bereits bekannt ist (Apples iPhone³). Positiv wurde die Visualisierung durch ein Pop-Up bewertet. Einen weiteren Vorteil beider Konzepte sahen die Experten in der eindeutigen Bedienelement-Display-Zuordnung.

Es wurden zwei Varianten zur Individualisierung umgesetzt. Die moderne Variante kombiniert den Langdruck mit einem Pop-Up, das eine grafische Repräsentation des Verteilungsvorganges enthält. Die klassische Variante orientiert sich am bestehenden Optionsmenü und ermöglicht das Verteilen von Informationen über eine Liste.

Abbildung 5.15 veranschaulicht die klassische Variante basierend auf Konzept 1. Wird das ZBE nach rechts geschoben, erscheint das Optionsmenü. Dort können die Funktionen der aktuellen Hierarchieebene ausgewählt werden. Dabei findet eine Einschränkung abhängig vom Anzeigort statt. Im HUD können beispielsweise die Titel einer einzelnen CD angezeigt werden. Für die Anzeige im Kombi können alle CD/DVD-Inhalte ausgewählt werden. Die Auswahl erfolgt über Checkboxes. Durch das Deaktivieren der Checkbox wird die Information vom Display entfernt.

Bei der modernen Variante wird der Vorgang der Individualisierung durch einen Langdruck auf das ZBE beziehungsweise MFL initiiert. Die Verteilung der Funktionen kann von jedem Display aus gestartet werden. Anschließend erscheint ein Pop-Up mit den zulässigen Zieldisplays der gewählten Anwendung. Im HUD besteht das Pop-Up aus einer Liste. Im Kombi und CID erscheint eine grafische Repräsentation der Anzeigorte im Fahrzeuginnenraum. Zusätzlich symbolisiert ein Pfeil die bevorstehende Aktion. Durch Drücken des ZBE wird der Vorgang bestätigt. Im HUD und Kombi sind folgende Aktionen möglich: Promoten, Remoten und Löschen (siehe Abbildung 5.16). So kann beispielsweise die alphanumerische Eingabe vom Kombi oder HUD aus im CID gestartet werden (Remoten). Diese beiden Optionen werden über das Pop-Up angeboten.



Abbildung 5.15: Klassische Variante der Individualisierung der Displays. a) Optionsmenü in der Telefonanwendung. b) Optionsmenü der Multimediaanwendung.

³www.apple.de/iPhone



Abbildung 5.16: Moderne Variante zur Individualisierung der Displays. a) HUD. b) Kombi. c) CID.

5.4 Evaluierung

Während sich Kapitel 4 den Grundlagen des verteilten Fahrerinteraktionsraumes widmet, untersucht dieser Abschnitt die Effekte von Konzepten verteilter koordinierter und unkoordinierter Anzeigen auf die Fahr- und Nebenaufgabe.

Die Studie gliedert sich in drei Teile: (1) Anhand des LCT (siehe Abschnitt 2.4.2) wird überprüft, ob sich verteilte koordinierte Anzeigen für die Fahrt eignen. Mit einem Eye-Tacker (siehe Abschnitt 2.4.2) wurde das Blickverhalten der Anwender erhoben. Dieser Teil der Untersuchung konzentriert sich auf die Konzepte der Kategorisierung KatIC+HUD sowie den FoCoCu, die als repräsentativ für verteilte koordinierte Ansichten angenommen wurden. Um die Auswirkungen auf das Blickverhalten, die Fahrleistung und die Bedienung der Nebenaufgabe zu ermitteln (Intra-Display-Vergleich), wurden die verteilten koordinierten Anzeigen mit den unkoordinierten Anzeigen Kategorisierung im Kombi (KatIC) und Kategorisierung im HUD (KatHUD) verglichen. (2) Im zweiten Versuchsteil bewerteten die Probanden weitere koordinierte Konzepte (Übersicht-Detail, Detail-Übersicht). (3) In der letzten Untersuchungsphase wurden mittels Fragebögen und Interviews die Prototypen zur Individualisierung des Fahrerinteraktionsraumes evaluiert.

5.4.1 Hypothesen

Im ersten Versuchsteil, dem Intra-Display-Vergleich, werden die Auswirkungen der Konzepte auf die einzelnen Anzeigeorte (HUD, Kombi) untersucht. Die Displays wurden im Rahmen dieser Studie ebenfalls untereinander verglichen (Inter-Display-Vergleich). Dazu wurde die Listenbedienung im Kombi (ListeIC) der im CID (ListeCID) und die Menübedienung im HUD (KatHUD) der im Kombi (KatIC) gegenübergestellt. Für die Ergebnisse des Inter-Display-Vergleiches wird auf Stusak [107] sowie auf die Grundlagenuntersuchungen in Kapitel 4 verwiesen.

Ziel der verteilten koordinierten Varianten ist es einerseits, das Blickverhalten auf das HUD zu optimieren: Reduktion der maximalen und durchschnittlichen Blickdauer. Andererseits soll

die Performanz der Fahr- und Nebenaufgabe gesteigert werden: kürzere Bedienzeiten und bessere Fahrleistung.

Für das HUD werden die verteilten koordinierten Varianten KatIC+HUD und FoCoCu sowie die unkoordinierte Variante KathUD verglichen. Bei KathUD werden sowohl die Kategorien als auch die Liste der Einträge im HUD angezeigt. Somit ist der Wechsel zwischen zwei Hierarchieebenen notwendig, um eine Auswahl zu treffen. Der KatIC+HUD-Prototyp verteilt diese Hierarchieebenen auf zwei Displays: Kategorien im Kombi und Listen im HUD. Wird eine Kategorie im Kombi bestätigt, springt der Cursor automatisch in die Liste im HUD. Nach der Auswahl des Listeneintrages muss der Fokus des Bedienelementes mit dem Taster über dem Rändelrad wieder auf das Kombi gelegt werden. Ebenso wird der Fokuswechsel des Cursors bei der FoCoCu-Variante vollzogen. Bei den verteilten koordinierten Prototypen werden dadurch die Interaktion und der Informationsumfang im HUD reduziert. Die maximalen und durchschnittlichen Blickzeiten verkürzen sich, so wird vermutet. Des Weiteren sind beim FoCoCu weniger Blicke ins HUD notwendig als bei KatIC+HUD, da im Kombi direkt zum gewünschten Eintrag in Dreierschritten gescrollt wird und erst dann die Feinauswahl im HUD erfolgt. Es wird daher angenommen, dass weniger Blicke auf das HUD verursacht werden. Folgende Hypothesen bezüglich des Blickverhaltens auf das HUD werden formuliert:

- $H_{HUD,1}$: KathUD verursacht längere maximale und durchschnittliche Blickzeiten auf das HUD als die verteilten koordinierten Varianten (KatIC+HUD und FoCoCu).
- $H_{HUD,2}$: KatIC+HUD verursacht längere maximale und durchschnittliche Blickzeiten auf das HUD als der FoCoCu.
- $H_{HUD,3}$: Die Bedienung von KathUD resultiert in mehr Blicken auf das HUD als die Bedienung der verteilten koordinierten Varianten (KatIC+HUD und FoCoCu).
- $H_{HUD,4}$: Die Bedienung von KatIC+HUD resultiert in mehr Blicken auf das HUD als die Bedienung des FoCoCu.

Die Konzepte KatIC (analog zu KathUD), KatIC+HUD und der FoCoCu dienen der Evaluierung des Blickverhaltens auf das Kombi. Ausgehend von den Annahmen für das HUD werden folgende Hypothesen für das Kombi abgeleitet:

- $H_{IC,1}$: Die verteilten koordinierten Systeme (KatIC+HUD und FoCoCu) verursacht längere maximale und durchschnittliche Blickzeiten auf das Kombi als die unkoordinierten Varianten (KatIC und ListeIC).
- $H_{IC,2}$: FoCoCu verursacht längere maximale und durchschnittliche Blickzeiten auf das Kombi als KatIC+HUD.
- $H_{IC,3}$: Die Bedienung von KatIC und ListeIC resultiert in mehr Blicken auf das Kombi als die verteilten koordinierten Varianten (KatIC+HUD und FoCoCu).
- $H_{IC,4}$: Die Bedienung des FoCoCu resultiert in mehr Blicken auf das Kombi als KatIC+HUD.

Die Bedienzeiten, die Fahrleistung und die subjektiven Nutzerpräferenzen beziehen sich jeweils auf das gesamte System. Deshalb werden neben dem Intra-Display-Vergleich displayunabhängig, systembezogene Hypothesen geprüft. Die Unterschiede zwischen den Systemen KatIC+HUD, KatIC und KatHUD können ausschließlich auf das Konzept der verteilten Koordination und die Anzeigeorte zurückgeführt werden.

- $H_{Sys,1}$: Die Bedienung von KatIC+HUD erfordert weniger Zeit als die Bedienung der unkoordinierten Systeme (KatIC und KatHUD).
- $H_{Sys,2}$: Die Bedienung von KatHUD erfordert weniger Zeit als die Bedienung von KatIC.

Bezüglich der Fahrleistung werden alle Systeme explorativ einander gegenübergestellt. Es werden jedoch keine Unterschiede in der Spurabweichung vermutet (siehe Ecker et. al [17] [18]). Ebenso werden die Konzepte zur Individualisierung der Anzeigeorte explorativ evaluiert.

5.4.2 Versuchsdesign

Zur Überprüfung der Hypothesen kam ein within-subject Design zum Einsatz. Um alle Fragestellungen beantworten zu können, wurde der erste Versuchsteil in drei weitere Blöcke unterteilt: Die Blöcke 1 und 2 dienen dem Inter-Display-Vergleich von HUD, Kombi und CID mit den Systemen ListeCID, ListeIC, KatIC und KatHUD. Block 3 vergleicht die unkoordinierten Prototypen KatIC und KatHUD mit der verteilten koordinierten Variante KatIC+HUD. Sowohl die Reihenfolge der Blöcke als auch die Systeme innerhalb eines Blockes wurde permutiert (siehe Anhang, Abbildung A.10). Am Ende wurde der FoCoCu bedient, um einen Eindruck gewinnen zu können, wie sich dieses Konzept für die Fahraufgabe eignet.

Daraus ergibt sich für die Evaluierung des HUD und Kombis jeweils eine unabhängige Variable (Systemvariante) mit zwei Stufen (KatHUD, KatIC+HUD). Darüber hinaus wurde trotz der fehlenden Permutierung der Vergleich mit dem FoCoCu durchgeführt.

Durch die abhängigen Variablen (durchschnittliche Blickdauer, maximale Blickdauer und Blickanzahl) wird das Blickverhalten der Probanden beschrieben. Zudem wurde das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten als externes Kriterium berechnet. Die Erhebung erfolgte mittels des Eye-Trackers von Dikablis. Die Qualität der Primäraufgabe spiegelt die MDEV als Resultat des LCT wieder. Diese Variablen wurden beginnend mit der ersten Aufgabeninstruktion der ersten Teilaufgabe bis zum Ende des letzten Bedienschlusses der letzten Teilaufgabe gemessen. Mit dem DALI wurde die subjektiv empfundene Beanspruchung der Systeme ermittelt. Die Nutzerpräferenz wurde durch ein Rankingverfahren und die Benotung der Systeme bestimmt.

Abbildung 5.17 illustriert den Versuchsablauf. Nach der Begrüßung und der allgemeinen Einführung wurde die Fahraufgabe des LCT trainiert. Anschließend wurden die Prototypen vorgestellt und die Bedienung solange geübt, bis sich die Probanden sicher im Umgang mit den Systemen fühlten. Darauf folgte die Dual-Task-Bedingung. Nach jeder Fahrt mit einem System wurde der DALI sowie ein selbst erstellter Fragebogen zur Bedienung der Systeme ausgefüllt. Am Ende des ersten Versuchsteiles kam ein vergleichendes Rankingverfahren und die Bewertung der Systeme mittels Schulnoten zum Einsatz. Versuchsteil 2 startete mit der Vorstellung der verbleibenden Konzeptvarianten für verteilte koordinierte Anzeigen (siehe Abschnitt 5.3.2: Detail-Übersicht,

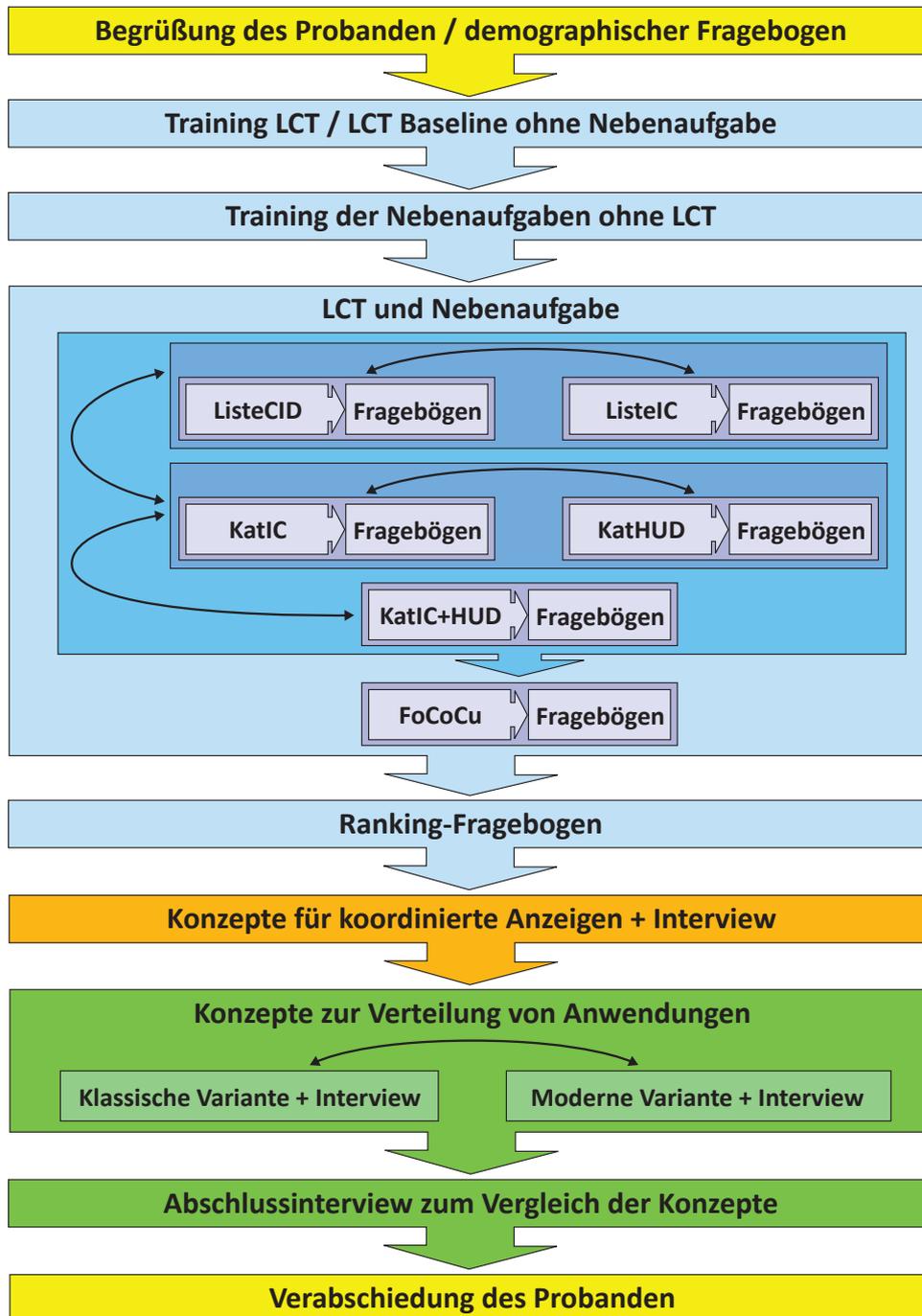


Abbildung 5.17: Versuchsablauf zur Evaluierung der verteilten koordinierten Anzeigen und der Konzepte zur Individualisierung der Anzeigeorte [107].

Übersicht-Detail). Die Probanden wurden aufgefordert, laut zu denken und die Bedienschritte zu kommentieren. Abschließend interviewte der Versuchsleiter die Teilnehmer. In Entsprechung dazu wurden in Versuchsteil 3 die Individualisierungskonzepte untersucht.

5.4.3 Aufgaben

Versuchsteil 1 stellt die Dual-Task-Bedingung der Untersuchung dar. Die Probanden mussten die Nebenaufgabe (Interaktion mit dem System) und Hauptaufgabe (LCT) gleichzeitig bearbeiten. Als Nebenaufgabe wurde eine Musikanwendung umgesetzt (siehe Abschnitt 5.3.2). Die Aufgabe bestand aus der Auswahl folgender Musiktitel pro System: "Tele - Rot", "Beatles - Let It Be", "Juli - Warum", "Falco - Jeanny", "Glashaus - Licht", "Pink - Money", "Peter Fox - Haus". Die Versuchsteile 2 und 3 wurden ohne eine Hauptaufgabe (Single-Task) durchgeführt.

Kategorisierungssysteme

Es wurde eine alphabetische Kategorisierung vorgenommen, um eine Verzerrung der Versuchsergebnisse zu vermeiden. Eine Einteilung der Musiktitel in beispielsweise Genres oder Jahreszahl würde von den Versuchsteilnehmern musikalisches Vorwissen erfordern. Alphabetische Kategorien können von allen Teilnehmern auch ohne Vorkenntnisse gleichermaßen bearbeitet werden.

Ausgangspunkt der Aufgabenbearbeitung war der erste Eintrag der MP3-Liste. Die erste Hierarchieebene umfasst 15 Kategorien ("A...B", "C...D", "E...F", ..., "X...Y...Z") (siehe Abbildung 5.18).

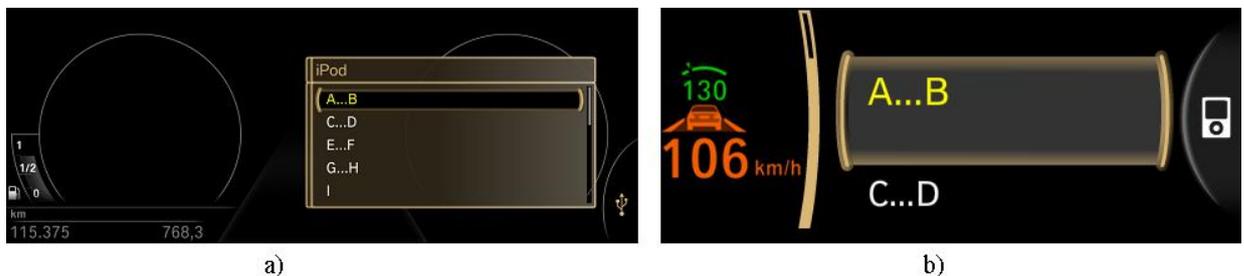


Abbildung 5.18: a) Startpunkt der Aufgabenbearbeitung bei den Prototypen KatIC+HUD und KatIC im Kombi. b) Startpunkt der Aufgabenbearbeitung des KathUD-Prototypen im HUD.

Nachdem die richtige Kategorie durch Drehen des Rändelrades ausgewählt und durch Drücken bestätigt wurde, wechselt das System in die nächste Hierarchieebenen (siehe Abbildung 5.19 a) KatIC und b) KathUD). Bei der verteilten koordinierten Anzeige springt der Bedienfokus des MFL vom Kombi auf das HUD (siehe Abbildung 5.19 c) KatIC+HUD). Dort kann der gewünschte Eintrag selektiert werden. Mit dem Taster unterhalb des Rändelrades konnte anschließend wieder in die übergeordnete Kategorienansicht gewechselt werden. Diese Funktion ist notwendig für den Fall, dass sich der gesuchte Musiktitel nicht in der angezeigten Kategorie befand.

Um die sieben Musiktitel erfolgreich auszuwählen, sind mit den Systemen KatIC, KatHUD und KatIC+HUD folgende Bedienschritte erforderlich: 74 Scrollschritte, sechs Mal der Wechsel in die nächste Hierarchieebene, fünf Mal der Wechsel in die übergeordnete Hierarchieebene und sieben Bestätigungsvorgänge der instruierten Musiktitel. In Summe mussten also 92 Bedienschritte durchgeführt werden. Davon wurden mit dem KatIC+HUD 36 der 74 Scrollschritte und die sieben Bestätigungsvorgänge im HUD absolviert.



Abbildung 5.19: a) KatIC: Hierarchiewechsel im Kombi. b) KatHUD: Hierarchiewechsel im HUD. c) KatIC+HUD: Hierarchie- und Displaywechsel.

FoCoCu

Der Startpunkt der Aufgabenbearbeitung mit dem FoCoCu korrespondiert mit den Kategorisierungssystemen: der erste Eintrag der MP3-Liste im Kombi. In beiden Anzeigeorten (HUD, Kombi) ist der Listenumfang in toto abrufbar. Durch Drehen des Rändelrades mit dem Fokus auf dem Kombi kann in Dreierschritten (*Triple Cursor*) durch die Liste gescrollt werden (siehe Abbildung 5.20 a). Drücken des Rändelrades wechselt den Eingabefokus des Bedienelementes auf das HUD. Dort wurde der gewünschte Musiktitel selektiert und bestätigt (siehe Abbildung 5.20 b)).

Zur Auswahl der Musiktitel sind im Idealfall 109 Scrollschritte mit dem Triple Cursor und sieben Bestätigungsvorgänge im Kombi, 6 Scrollschritte und sieben Bestätigungsvorgänge im HUD sowie sieben Mal der Wechsel von der Feinauswahl im HUD zur Liste im Kombi notwendig. Da im Kombi nicht exakt zum gewünschten Eintrag navigiert werden musste, variiert die tatsächliche Anzahl der Bedienschritte abhängig vom Bedienverhalten des Anwenders. Der Triple Cursor dient zur schnellen und groben Orientierung in der Liste. Folglich sind weniger Scrollschritte im Kombi und mehr im HUD zu vermuten.

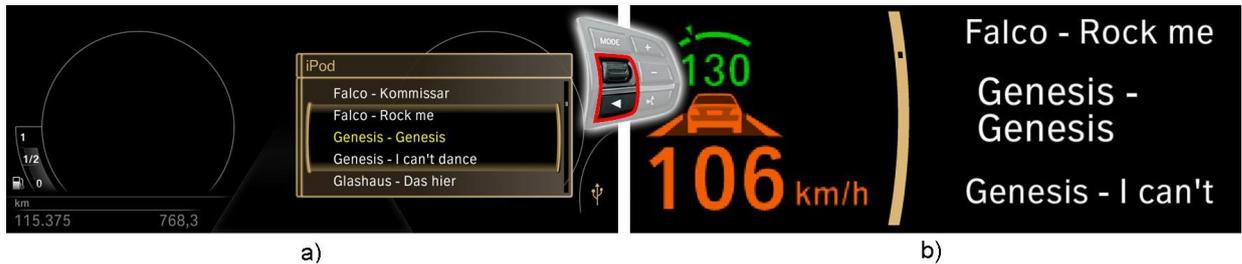


Abbildung 5.20: Aufgabenbearbeitung mit dem FoCoCu. a) Triple Cursor im Kombi zur schnellen Navigation durch MP3-Sammlung. b) Feinauswahl des Musiktitels im HUD.

Individualisierung

Zur Evaluierung der Individualisierungskonzepte (siehe Abschnitt 5.3.3: klassische und moderne Variante) wurden die Versuchsteilnehmer aufgefordert, Informationen ausgehend vom CID mit dem ZBE zu verteilen. Aus dem Navigationsmenü musste das Adressbuch und die letzten Ziele in das HUD kopiert werden. Das Telefonbuch und die Wahlwiederholung wurden in das Kombi kopiert. Nach dem Verteilungsvorgang wurde mit den Anwendungen im HUD und Kombi über das MFL interagiert. Dabei konnten die Probanden frei entscheiden, welche Bedienschritte sie durchführten. Abschließend mussten die Anwendungen wieder von den Anzeigeorten gelöscht werden. Bei der klassischen Variante wurde zusätzlich das Promoten einer Anwendung demonstriert. Die Prototypen und die für die Aufgabenbearbeitung nötigen Bedienschritte sind in Abschnitt 5.3.3 erläutert.

5.4.4 Versuchspersonenkollektiv

An der Studie nahmen 27 Personen im Alter von 23 bis 56 Jahren teil. Das Durchschnittsalter lag bei 31,5 Jahren. Sieben der Teilnehmer waren weiblich. Zehn Probanden gaben an, während der Fahrt eine Sehhilfe zu benötigen, und vier waren Linkshänder. Vier Versuchspersonen schätzten ihre jährliche Fahrleistung höher als 20.000 km ein, zehn zwischen 10.000 und 20.000 km, sechs zwischen 5.000 und 10.000 km und sieben niedriger als 5.000 km. 14 Probanden stuften sich als erfahrene Autofahrer ein und elf als unerfahrene. Zwei ordneten sich weder der einen noch der anderen Gruppe zu. Alle Teilnehmer waren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis. 18 Personen hatten Erfahrung mit dem HUD und 21 mit dem MFL.

Für die Auswertung konnten nur die Daten von 24 Versuchspersonen verwendet werden, da drei Datensätze der Blickdaten fehlerhaft waren. Nach der Hälfte des Versuches wurde eine Kompensationsstrategie bei den verteilten koordinierten Varianten KatIC+HUD und FoCoCu erkannt. Trotz einer intensiven Trainingsphase vor Versuchsbeginn bedienten die Probanden die Konzepte nur im HUD, ohne das Kombi zu benutzen. Die verbleibenden Probanden wurden deshalb nochmal explizit aufgefordert, beide Anzeigeorte für die Aufgabenbearbeitung einzusetzen. Der Berechnung des Intra-Display-Vergleiches liegen daher 12 Datensätze zugrunde.

5.4.5 Statistisches Vorgehen

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest wurde geprüft, ob die empirisch gefundene Verteilung einer Normalverteilung entspricht. Für vereinzelte Variablen wurde eine Abweichung festgestellt. Die Einsicht der Häufigkeitsverteilungsdiagramme ergab lediglich eine Verschiebung des Maximums nach links oder rechts. Diese Datensätze wurden ebenso als normalverteilt eingestuft, um eine konsistente Datenauswertung zu ermöglichen.

Die Hypothesen aus Abschnitt 5.4.1 für Versuchsteil 1 wurden mittels T-Tests für verbundene Stichproben überprüft. Für die Auswertung der Fahrdaten und subjektiv empfundenen Beanspruchung wurde ein ANOVA für messwiederholte Daten gerechnet. Die Anpassung des Konfidenzintervalls erfolgte nach Bonferroni. Das Signifikanzniveau wird auf fünf Prozent festgelegt.

5.5 Ergebnisse

Mit den objektiven Ergebnissen des Intra-Display-Vergleiches werden die Hypothesen aus Abschnitt 5.4.1 überprüft. Dazu wurden die mit dem LCT und dem Eye-Tracker erhobenen Daten für die verteilten koordinierten und unkoordinierten Prototypen ausgewertet. Anhand der subjektiven Resultate können Aussagen über die gefühlte Ablenkung und die Nutzerpräferenz getroffen werden. Die Konzepte zur Individualisierung des Fahrerinteraktionsraumes wurden anhand von Fragebögen, Rankings und Interviews bewertet.

5.5.1 Objektive Ergebnisse

Intra-Display-Vergleich

Der Intra-Display-Vergleich dient der Evaluierung der anzeigeortsbezogenen Hypothesen $H_{HUD,1}$ bis $H_{HUD,4}$ und $H_{IC,1}$ bis $H_{IC,4}$. Dazu werden die Blickdaten der Systeme KatIC+HUD, KatIC und KatHUD miteinander verglichen. Um die Eignung des FoCoCu zu bewerten, wird auch dieser Prototyp in den Vergleich einbezogen. Es wird aber auf die fehlende Permutation dieses Systems und auf mögliche Verzerrungen durch Reihenfolgeeffekte hingewiesen.

Blickdaten HUD Wie in Hypothese $H_{HUD,3}$ angenommen, nimmt die Anzahl der Blicke auf das HUD bei den verteilten koordinierten Prototypen (KatIC+HUD und FoCoCu) im Vergleich zum unkoordinierten KatHUD-Prototypen ab. Vermutet wird, dass die Probanden nur einen Teil der Aufgabe im HUD bearbeiteten. Die Aufgabe wurde mit dem FoCoCu mit signifikant weniger Blicken ins HUD gelöst als mit dem KatHUD-System ($p=.007$). Die Anzahl der Blicke auf die Systeme KatIC+HUD und FoCoCu weisen keine Unterschiede auf (siehe Abbildung 5.21). $H_{HUD,3}$ kann nur für den FoCoCu bestätigt werden. $H_{HUD,4}$ wird abgelehnt, da keine Unterschiede zwischen KatIC+HUD und dem FoCoCu gemessen wurden.

Die durchschnittliche Blickdauer auf das HUD fällt bei dem unkoordinierten System KatHUD signifikant länger aus als bei den koordinierten Systemen KatIC+HUD ($p=.001$) und FoCoCu ($p<.001$). Die Hypothese $H_{HUD,1}$ kann deshalb für die durchschnittlichen Blickzeiten ak-

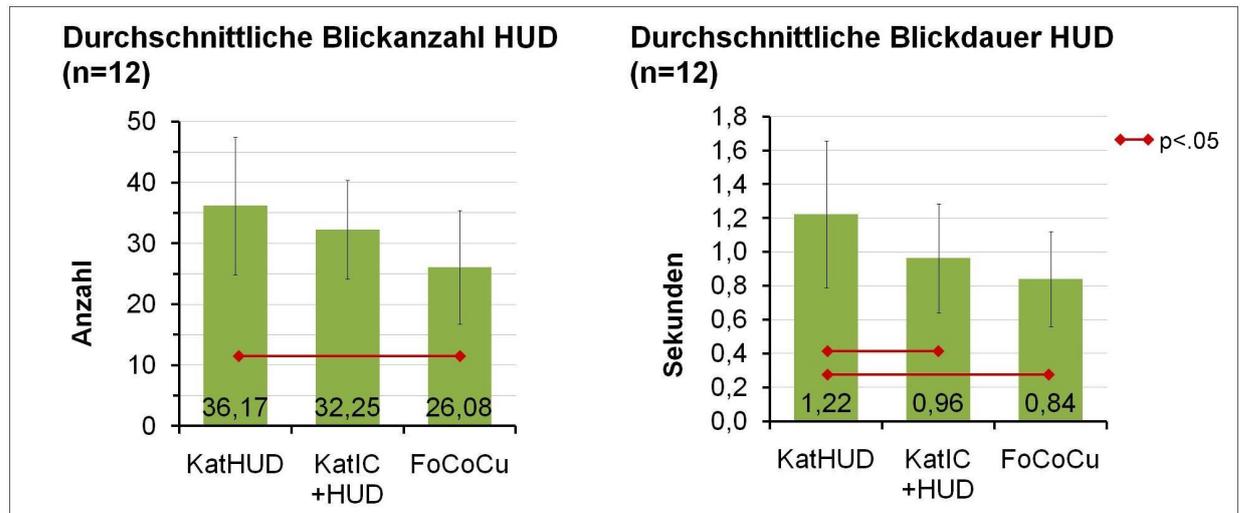


Abbildung 5.21: Anzahl der Blicke und durchschnittliche Blickdauer auf das HUD.

zeptiert werden. Da keine Unterschiede zwischen KatIC+HUD und dem FoCoCu vorhanden sind, wird $H_{HUD,2}$ verworfen (siehe Abbildung 5.21).

Die maximalen Blickzeiten auf das HUD sind mit dem KatHUD-System am längsten. Der KatIC+HUD-Prototyp liegt von den Bediensritten, die im HUD notwendig sind, zwischen KatHUD und dem FoCoCu. Die maximale Blickdauer bei der Bedienung des KatIC+HUD-Systems korrespondiert mit den Bediensritten und ist signifikant länger als mit dem FoCoCu ($p=.033$) und signifikant kürzer als mit dem KatHUD-Prototypen ($p=.016$). Der FoCoCu produziert die geringsten maximalen Blickzeiten auf das HUD (KatHUD: $p=.001$, KatIC+HUD: $p=.033$) (siehe Abbildung 5.22). Die Hypothesen $H_{HUD,1}$ und $H_{HUD,2}$ können folglich für die maximalen Blickzeiten bestätigt werden.

Zwischen dem 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten des KatHUD-Systems und des FoCoCu wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt ($p=.002$), wobei die Zeiten mit dem FoCoCu am kürzesten sind. Das KatIC+HUD-System verursacht ein tendenziell kürzeres 85-Prozent-Perzentil als der KatHUD-Prototyp ($p=.055$). Der Unterschied zwischen KatIC+HUD und dem FoCoCu ist nicht signifikant (siehe Abbildung 5.22). Die tabellarische Übersicht aller erhobenen Blickdaten sind dem Anhang, Abbildung A.11, zu entnehmen.

Blickdaten Kombi Die gemessene Blickanzahl auf das Kombi bestätigt die Hypothesen $H_{IC,3}$ und $H_{IC,4}$. Beide verteilte koordinierten Prototypen resultieren in einer geringeren Anzahl an Blicken als das KatIC-System (KatIC+HUD: $p<.001$, FoCoCu: $p=.003$). Ebenso bestätigt sich die Annahme, dass aufgrund der höheren Anzahl an Bediensritten der FoCoCu signifikant mehr Blicke erfordert als der KatIC+HUD-Prototyp ($p<.001$) (siehe Abbildung 5.23).

Bei der Bearbeitung der Nebenaufgabe blickten die Probanden durchschnittlich am längsten mit dem FoCoCu auf das Kombi. Dabei ist der Unterschied zum KatIC+HUD signifikant ($p=.031$). Die Hypothese $H_{IC,2}$ wird also für die durchschnittlichen Blickzeiten bestätigt. $H_{IC,1}$ muss abgelehnt werden, da sich die durchschnittlichen Blickzeiten von KatIC+HUD und KatIC nicht unterscheiden (siehe Abbildung 5.23).

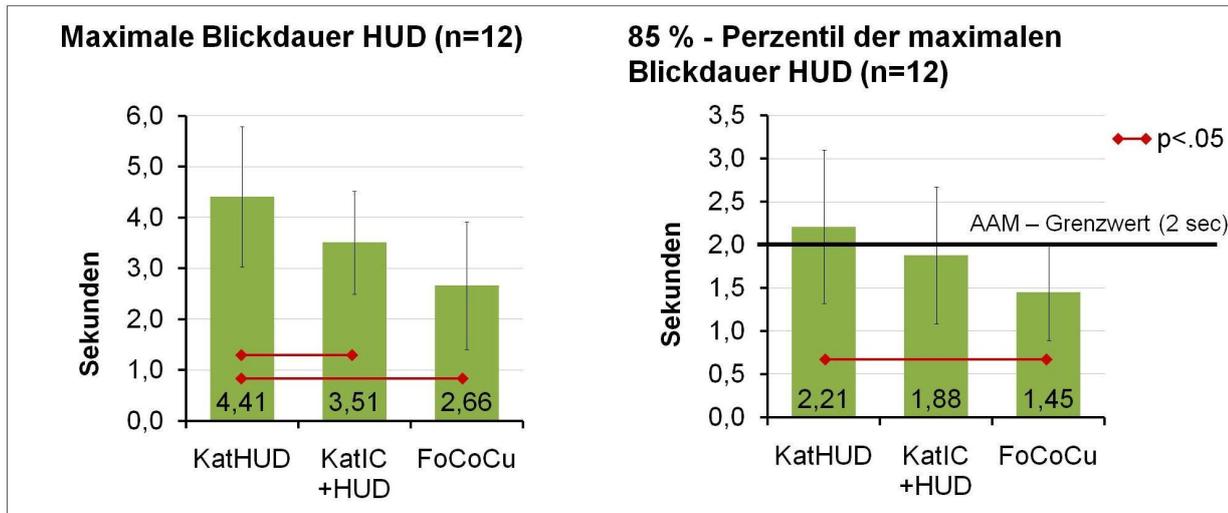


Abbildung 5.22: Maximale Blickdauer und 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickdauer auf das HUD.

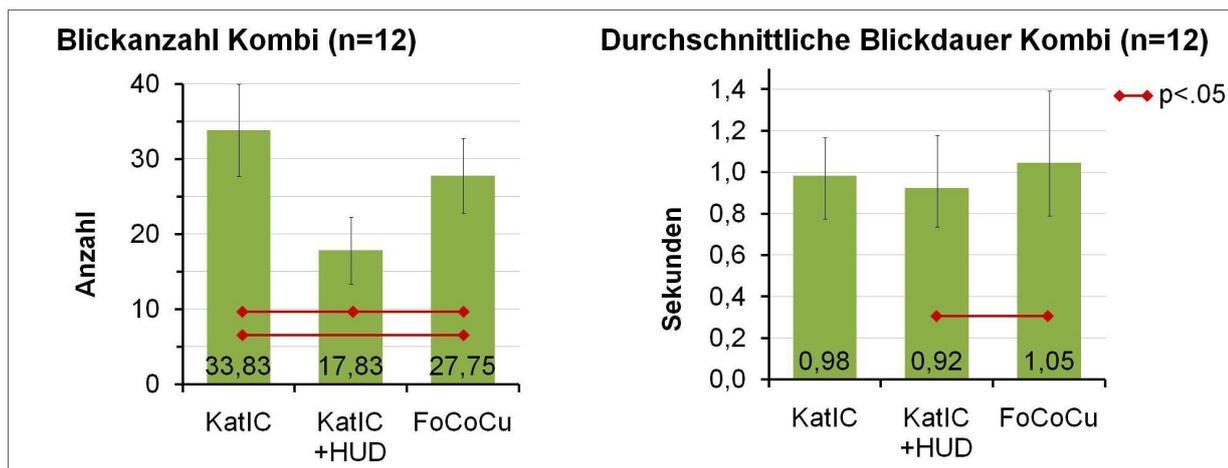


Abbildung 5.23: Blickanzahl und durchschnittliche Blickdauer auf das Kombi.

Die Hypothesen $H_{IC,1}$ und $H_{IC,2}$ werden verworfen, da sich weder die maximalen Blickzeiten noch das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten der drei Systeme unterscheiden (siehe Abbildung 5.24). Eine tabellarische Übersicht der Blickzeiten auf das Kombi ist im Anhang, Abbildung A.12, zu finden.

Systembezogener Vergleich

Bedienzeiten Mit den unkoordinierten Systemen wurde die Nebenaufgabe signifikant schneller bearbeitet als mit den verteilten koordinierten Systemen. Mit KatHUD wurden kürzere Bearbeitungszeiten erreicht als mit den Systemen KatIC+HUD ($p < .001$) und FoCoCu ($p < .001$). Ebenso wurde die Aufgabe schneller mit KatIC bearbeitet als mit den verteilten koordinierten Varianten (KatIC+HUD: $p = .006$, FoCoCu: $p < .001$). Die verteilten koordinierten und unkoordinierten

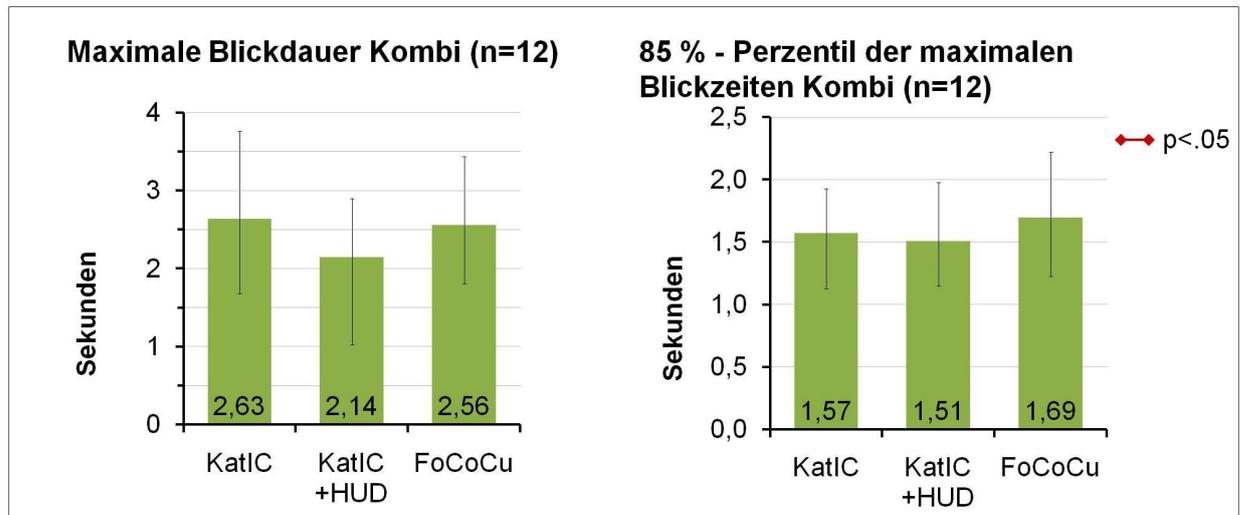


Abbildung 5.24: Maximale Blickdauer und 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten auf das Kombi

nierten Prototypen unterscheiden sich untereinander nicht (siehe Abbildung 5.25).

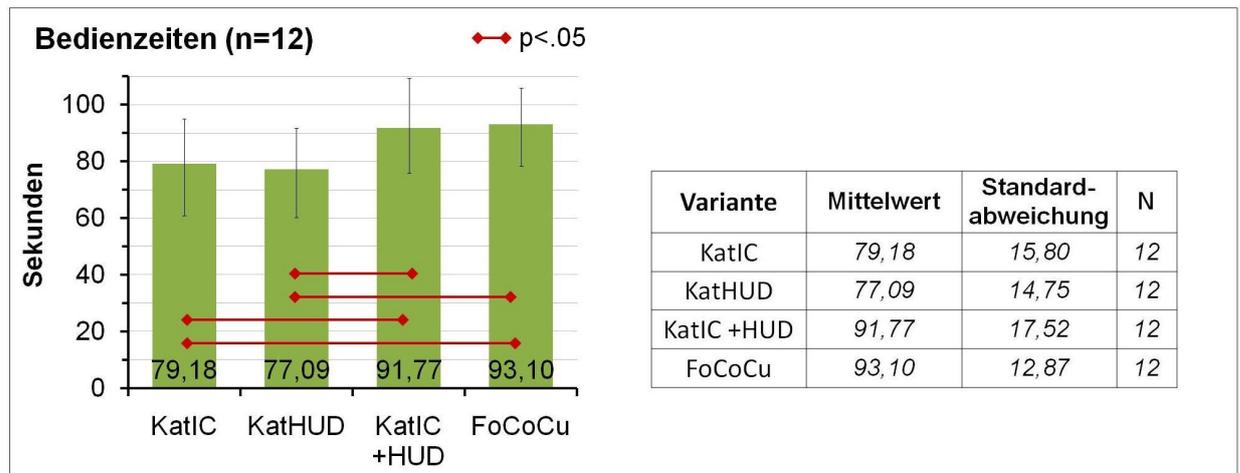


Abbildung 5.25: Bedienzeiten aller Systeme (KatHUD, KatIC, KatIC+HUD und FoCoCu).

Blickstrategien Um die Blickstrategie der Anwender zu bestimmen, wurden die Blickanzahl, die kumulierte Blickdauer und die durchschnittliche Blickdauer in die Fahrscene analysiert. Zudem wurde für die verteilten koordinierten Systeme die Reihenfolge ausgewertet, in der die Probanden zwischen HUD, Kombi und Fahrscene wechseln.

Durchschnittlich blickten die Versuchsteilnehmer am häufigsten bei der Bedienung der verteilten koordinierten Systeme in die Fahrscene (FoCoCu >KatHUD: $p < .001$, >KatIC: $p < .001$ und KatIC+HUD >KatHUD: $p = .010$, >KatIC: $p < .001$). Die längste durchschnittliche Blickdauer in die Fahrscene resultierte aus der Bedienung des KatIC-Prototypen (KatHUD: $p = .003$, Kat-

IC+HUD: $p=.046$, FoCoCu: $p<.001$). Die restlichen Vergleiche ergaben keine signifikanten Unterschiede (siehe Abbildung 5.26).

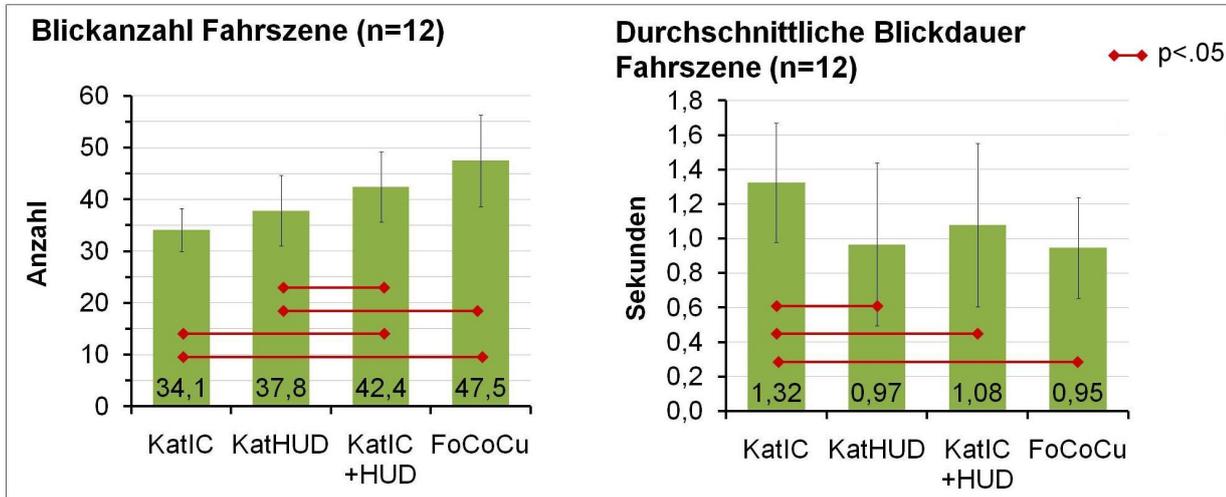


Abbildung 5.26: Anzahl der Blicke und durchschnittliche Blickdauer in die Fahrszene.

Die kumulierten Blickzeiten in die Fahrszene mit dem KatHUD-System sind am kürzesten. Die Teilnehmer verweilten mit ihrem Blick während der Interaktion mit dem KatHUD-System durchschnittlich am kürzesten in der Fahrszene. Gleichzeitig wurde mit diesem System nach dem KatIC-Prototypen am seltensten in die Fahrszene geblickt. Die Probanden blickten mit dem KatHUD-System kürzer in die Fahrszene als mit dem KatIC+HUD ($p=.002$), KatIC ($p<.001$) und dem FoCoCu ($p=.033$).

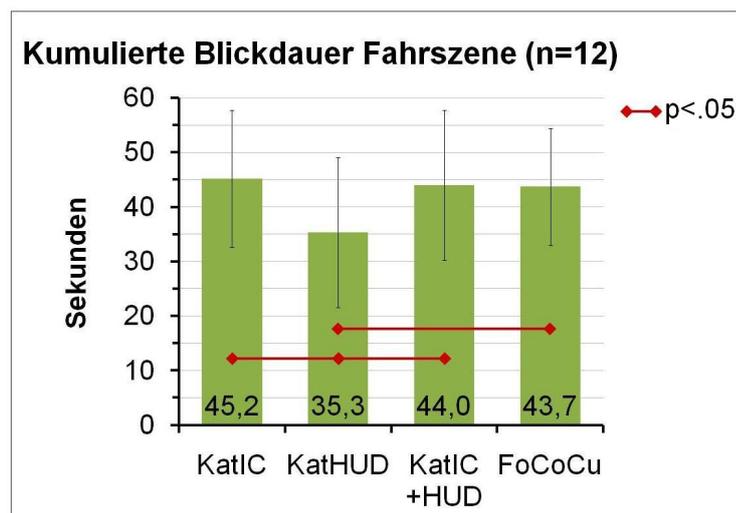


Abbildung 5.27: Kumulierte Blickdauer in die Fahrszene.

Die Blickreihenfolge bei der Bedienung der verteilten koordinierten Varianten zwischen den AOIs (Kombi, HUD und Fahrszene) zeigt meist folgendes Muster: 1. Kombi → 2. Fahrszene → 3.

HUD. Diese Strategie wurde in 81 Prozent der Fälle mit dem KatIC+HUD und in 76 Prozent der Fälle mit dem FoCoCu verfolgt. In den verbleibenden 19 beziehungsweise 24 Prozent wechselten die Teilnehmer direkt vom Kombi in das HUD.

Fahrdaten Wie erwartet, ergab die Auswertung der Fahrdaten keine signifikanten Unterschiede. Bei der Systembedienung kamen folgende MDEVs zustande: KatIC: 1.27 m, KatHUD: 1.35 m, KatIC+HUD: 1.36 m, FoCoCu: 1.38 m.

5.5.2 Subjektive Ergebnisse

Die subjektiven Ergebnisse gliedern sich in drei Teile: 1) die Befragung nach der Dual-Task-Bedingung, 2) die Interviews zur Evaluierung der Informationsverteilung und 3) der Individualisierung. Ersteres stellt die verteilten koordinierten und unkoordinierten Konzepte einander gegenüber und untersucht die subjektiv empfundene Beanspruchung während des LCT. Die Interviews ermitteln die Nutzerakzeptanz der verbleibenden verteilten koordinierten Varianten. Zudem werden die Varianten zur Individualisierung der Anzeigorte bewertet.

Koordiniert vs. unkoordiniert

DALI Die Probanden stuften das Ablenkungspotenzial des KatHUD-Systems am geringsten ein (33,12). Die kumulierten DALI-Resultate zeigen, dass eine signifikant geringere subjektiv empfundene Beanspruchung von diesem System ausgeht (KatIC: $p < .001$, KatIC+HUD: $p < .001$, FoCoCu: $p < .001$). Am höchsten ist der Wert der empfundenen Beanspruchung für den FoCoCu (49,74). KatIC+HUD liegt mit einer kumulierten Beanspruchung von 45,93 knapp über dem KatIC-System (44,87). Diese Einschätzung spiegelt sich auch bei der Analyse der einzelnen DALI-Dimensionen wider. KatHUD liegt bei der taktilen, visuellen und mentalen Beanspruchung sowie dem verursachten Stress, zeitlichen Druck und der Interferenz zur Nebenaufgabe signifikant unter den anderen evaluierten Systemen, die sich nicht statistisch voneinander unterscheiden.

Beurteilung der Varianten Das Ranking der Konzepte bestätigt die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung in Kapitel 4. Die Variante KatHUD, bei der die Aufgaben ausschließlich im HUD bearbeitet wurden, wird von den Probanden signifikant bevorzugt (KatIC: $p = .001$, KatIC+HUD: $p = .013$, FoCoCu: $p < .001$). Es wird am häufigsten als beliebtestes System genannt. Der FoCoCu befindet sich im Ranking an letzter Stelle (KatIC: $p = .002$, KatIC+HUD: $p < .001$, KatHUD: $p < .001$). Die Systeme KatIC+HUD und KatIC unterscheiden sich statistisch nicht (siehe Abbildung 5.28). Ein ähnliches Bild zeigt die Benotung der Konzeptvarianten, bei der ebenso das KatHUD die beste Note erhielt (1,81) und der FoCoCu die schlechteste (3,43) (KatIC: 2,68, KatIC+HUD: 2,93).

Zusätzlich wurden in den Fragebögen nach jeder Fahrt Aussagen über die verteilten koordinierten Konzepte auf einer sechsstufigen Likert-Skala bewertet (5 für starke Zustimmung, 0 für starke Ablehnung):

- "Die Verteilung der Information auf die zwei Displays war sinnvoll."

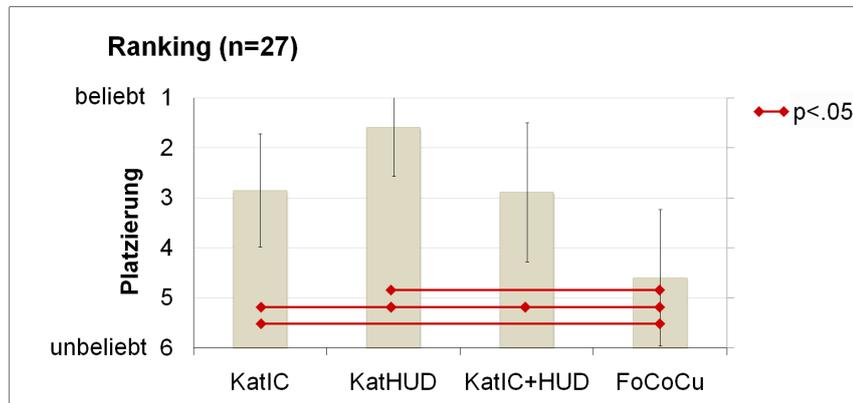


Abbildung 5.28: Ranking der Konzeptvarianten am Ende der LCT-Bedingung.

- "Ich wusste zu jedem Zeitpunkt, auf welchem der zwei Displays die für mich relevanten Informationen sind."
- "Ich wusste zu jedem Zeitpunkt, welches Display aktiv ist / mit welchem Display ich interagieren kann."
- "Der Wechsel zwischen den Displays war nachvollziehbar."

Die Aussage, dass die Informationsverteilung sinnvoll ist, wurde für den FoCoCu mit 1.37 und für das KatIC+HUD mit 1.81 abgelehnt. Für die Versuchsteilnehmer haben die koordinierten Konzepte keine Vorteile. Die Probanden konnten den Grund für eine Aufteilung der Information nicht nachvollziehen. Die restlichen Aussagen wurden neutral bewertet (ca. 3.1). Grundsätzlich war die Interaktion, das Auffinden der richtigen Information und der Wechsel zwischen den Anzeigeorten also verständlich.

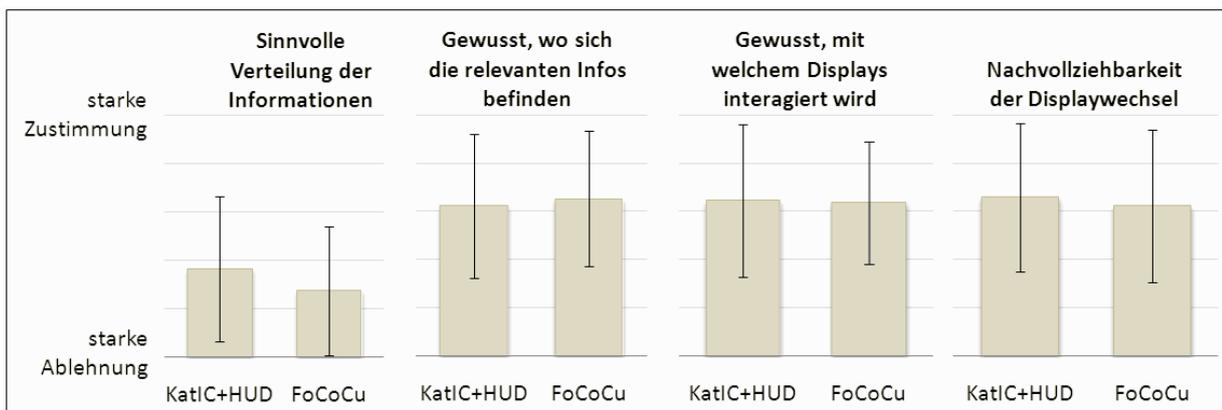


Abbildung 5.29: Bewertung der Aussagen über die verteilten koordinierten Konzepte.

Bewertung der Konzepte zur Informationsverteilung

Nach der Dual-Task-Bedingung wurden Beispiele für weitere verteilte koordinierte Prototypen (Übersicht-Detail, Detail-Übersicht) vorgestellt und die Informationsverteilung erläutert. Die Probanden wurden aufgefordert, die Informationsverteilung der koordinierten Systeme zu bewerten. 18 Probanden gaben an, dass die Anzeige im Kombi des KatIC+HUD-Systems überflüssig ist und dass sie lieber darauf verzichten würden. Beide Displays wurden erst genutzt, nachdem der Versuchsleiter explizit darauf hingewiesen hatte, da die Aufgaben auch ohne Kombi bearbeitet werden konnten.

Der FoCoCu wurde von allen Systemen am schlechtesten bewertet. Die zugrunde liegende Idee wurde verstanden und für gut empfunden. Die Probanden bemängelten jedoch folgende Punkte: zu hohe kognitive Anforderung (n=9), der Wechsel zwischen den Displays ist schwierig und anstrengend (n=7), Scrollgeschwindigkeit bei Triple Cursor nicht einschätzbar (n=5) und die grafische Umsetzung, die klarer zwischen Kombi und HUD trennen sollte (n=4). Den hohen kognitiven Aufwand führten die meisten Probanden auf die Orientierung nach einem Lenkmanöver zurück. Bei der Interaktion mit dem FoCoCu war nicht auf Antrieb erkennbar, welches der Displays mit dem MFL bedient werden kann.

Dem Konzept der verteilten koordinierten Anzeigen gaben die Versuchsteilnehmer die Note 3,0 (n=27, Schulnoten: 1,0 bis 6,0). Es wird also nicht grundsätzlich abgelehnt. Allerdings konnten die umgesetzten Prototypen die Teilnehmer nicht überzeugen. Folgende Kommentare wurden am häufigsten zu den verteilten koordinierten Anzeigen geäußert: Aufteilung von Informationen ist wichtig, muss aber verständlich und intuitiv sein (n=9), Fokussierung des Auges ist beim Blickwechsel schwierig (n=8), Gewöhnungssache (n=7), gute Idee / hat Potenzial (n=6), Informationen lieber auf einem Display anzeigen (n=6).

Bewertung der Konzepte zur Individualisierung

Die Individualisierung mittels der klassischen Variante wurde mit der Note 2,13 bewertet, die modernen Variante mit 2,22 (n=27, Schulnoten: 1,0 bis 6,0). Statistisch unterscheiden sich die Varianten nicht. Außerdem mussten sich die Probanden für eine der Varianten entscheiden: Sieben wählten die klassische Variante, acht die moderne Variante und zwölf wünschten sich eine Kombination aus beiden.

Die Vorteile der klassischen Variante sahen die Teilnehmer in der vertrauten Bedienung und Darstellung, aufgrund der Nähe zum bestehenden System. Zudem bezeichneten die Anwender diese Prototypen als übersichtlicher. "Praktisch" war des Weiteren die zentrale Einstellungsoption, in der die verteilten Anwendungen wieder von den Anzeigeorten entfernt werden konnten. Zusätzlich äußerten viele Teilnehmer den Wunsch, dort auch Anwendungen auf die Anzeigeorte kopieren zu können, also eine Liste aller kopierbaren Informationen. Die gewählte Darstellung wurde im Vergleich zur modernen Variante als "trocken" und "anstrengend" wahrgenommen, da die Listeneinträge genau gelesen werden müssen.

Die moderne Variante wurde vor allem aufgrund der Darstellung positiv bewertet. Die Teilnehmer gaben an, "Spaß" an der Bedienung zu haben. Außerdem konnte die Verteilung ohne viel zu Lesen und intuitiv durchgeführt werden. Dies war durch den Langdruck auf den Controller möglich, der aber gleichzeitig als versteckte Funktion kritisiert wurde. Die zusätzliche Funk-

tionalität Promoten stufen die meisten Versuchspersonen als zu komplex ein. Ähnlich wie bei der klassischen Variante wurde ein zentraler Punkt zum Entfernen der Anwendungen von den Anzeigeorten gewünscht.

Das Feedback, das den Bedienfokus des MFL visualisiert, wurde als zu unauffällig bezeichnet. Die meisten Probanden würden eine deutlichere Darstellung des aktuellen fokussierten Displays (Kombi, HUD) präferieren.

Insgesamt gaben 21 Probanden an, die Individualisierung im Fahrzeug einmal durchzuführen und nach wenigen Anpassungen unverändert zu lassen. Die verbleibenden sechs Versuchsteilnehmer würden die Informationsverteilung monatlich anpassen. Bei der Frage nach den Anwendungen, für die diese Funktion verfügbar sein sollte, wurden folgende genannt: CD/MP3, Radio, letzte Ziele, Wahlwiederholung, eingegangene Anrufe und das Adressbuch. Welche der Displays für die Verteilung von Informationen zur Verfügung stehen sollte, beantworteten 15 Teilnehmer mit HUD und Kombi, neun mit HUD und drei Teilnehmer würde das Kombi ausreichen. Die Möglichkeit, die Anzeigeorte zu individualisieren, wurde mit 1,7 positiv benotet ($n=27$, Schulnoten: 1,0 bis 6,0).

5.6 Ergebnisdiskussion

Ziel der verteilten koordinierten Anzeigen war die optimale Informationspräsentation unter Berücksichtigung der Displayeigenschaften und Rahmenbedingungen im Fahrzeug. Zusätzlich sollte die Performanz der Nebenaufgabenbearbeitung gesteigert werden. Anhand des Intra-Display-Vergleiches wurde überprüft, welche Auswirkungen der Einsatz verteilter koordinierter Anzeigen auf das Blickverhalten der Anwender in die einzelnen Anzeigeorte hat. Dazu wurden die verteilten koordinierten den unkoordinierten Systemen gegenübergestellt. Der systembezogene Vergleich zwischen beiden Ansätzen erlaubt Rückschlüsse auf die Fahr- und Bedienleistung der Anwender.

Zur Evaluierung der Individualisierungskonzepte (klassische und moderne Variante) wurde eine qualitative Untersuchung durchgeführt. Anhand von Fragebögen und Interviews wurde die Nutzerakzeptanz dieser Systeme erhoben.

5.6.1 Verteilte koordinierte vs. unkoordinierte Anzeigen

Die Analyse der Blickdaten auf das HUD zeigt, dass die Reduktion der angezeigten Informationen die Blickzeiten der verteilten koordinierten Systeme verringert. Die Systeme KatIC+HUD und FoCoCu verkürzen sowohl die maximalen ($p=.016$, $p=.001$) als auch die durchschnittlichen ($p=.005$, $p<.001$) Blickzeiten im Vergleich zur reinen Anzeige im HUD (KatHUD) signifikant. Zudem wurde das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten auf unter zwei Sekunden gesenkt (KatIC+HUD=1.88 Sekunden, FoCoCu=1,45 Sekunden). Mit dem KatHUD-System wurde ein 85-Prozent-Perzentil von 2.2 Sekunden erzielt. Der signifikante Unterschied zwischen den Systemen KatIC+HUD und FoCoCu zeigt über dies, dass durch eine weitere Einschränkung der angezeigten Informationen im HUD alle drei Blickwerte zusätzlich verkürzt werden können.

In den maximalen und durchschnittlichen Blickzeiten auf das Kombi unterscheiden sich die

verteilten koordinierten und unkoordinierten Anzeigen nicht. Es werden jedoch durchschnittlich signifikant kürzere Blicke mit dem FoCoCu als mit dem KatIC+HUD auf das Kombi getätigt.

Bezüglich der Bedienzeiten wurde entgegen der Annahme kein Zeitgewinn durch die Interaktion mit verteilten koordinierten Anzeigen erzielt. Die Aufgabenbearbeitung erfolgt mit den koordinierten Konzepten signifikant langsamer als mit den unkoordinierten. Dies kann durch die Anzahl der Blicke auf die Anzeigorte erklärt werden. Wird die Blickanzahl der verteilten koordinierten Varianten addiert, blickten die Probanden im Durchschnitt 50 Mal mit dem KatIC+HUD-System und 54 Mal mit dem FoCoCu auf das HUD und Kombi. Bei der Bedienung des KathUD wurden lediglich 36 Blicke auf das HUD und bei der Bedienung des KatIC 33 Blicke auf das Kombi benötigt. Demzufolge werden zwar das 85-Prozent-Perzentil, die durchschnittlichen und maximalen Blickzeiten auf das HUD verkürzt, dafür werden mehr Blicke benötigt. Da die initialen Bedienschritte mehr Zeit benötigen [109], wird die Bedienzeit erhöht. Während der gesamten Bearbeitungsdauer blickten die Probanden zu 56 Prozent mit dem KatIC, zu 45 Prozent mit dem KathUD, zu 48 Prozent mit dem KatIC+HUD und zu 47 Prozent mit dem FoCoCu in die Fahrscene.

Die Unterbrechung der Bedienung beim Wechsel des Bedienfokus auf ein anderes Display wird in 81 Prozent der Fälle mit dem KatIC+HUD und zu 74 Prozent mit dem FoCoCu für einen Blick auf die Straße genutzt. Durch die systemseitige Unterbrechung der Bedienung verkürzen sich die Blickzeiten auf das HUD. Somit wird das Blickverhalten der Anwender auf das HUD positiv beeinflusst. Die Dauer der Aufgabenbearbeitung wird jedoch erhöht und die Komplexität der Nebenaufgabe steigt durch die verteilten koordinierten Systeme an.

Zudem kann die Ursache für die längeren Bedienzeiten der verteilten koordinierten Varianten in einer höheren kognitiven Beanspruchung der Benutzer gesehen werden. Subjektiv wurde die empfundene Beanspruchung des KathUD-Prototyps signifikant geringer eingestuft als die der anderen Systeme. Außerdem wurde dieses System gegenüber den anderen Varianten bevorzugt. An zweiter Stelle können die Konzepte KatIC und KatIC+HUD genannt werden. Das Schlusslicht im Ranking und die schlechteste Benotung erhielt der FoCoCu. Hauptursache scheint die hohe kognitive Anforderung dieses Systems zu sein, die durch die Orientierung nach einem Lenkmanöver (Bedienfokus) verursacht wurde, wie die Interviews der Probanden zeigen. Ferner scheint der Blickwechsel und die Fokussierung auf das neue Zieldisplay schwierig zu sein. Diese Vermutung wird durch die Resultate der Fragebögen für den FoCoCu und das KatIC+HUD-System bestätigt. Die Fragen, ob die Versuchspersonen zu jedem Zeitpunkt wussten, auf welchem Display sich die relevante Information befindet und welches Display gerade mit dem MFL bedient werden kann, wurden mit durchschnittlich 3,2 neutral bewertet. Es erfolgte keine starke Zustimmung.

Die Nutzer entwickelten im Rahmen der durchgeführten Untersuchung Strategien, die Aufgabe ausschließlich im HUD zu bearbeiten. Dabei werden kürzere Listen und mehr Bedienschritte in Kauf genommen. Um die positiven Auswirkungen auf das Blickverhalten ins HUD zu garantieren, dürfen verteilte koordinierte Anzeigen die Kompensation der anderen Displays (Kombi, CID) nicht zulassen.

Grundsätzlich können sich die Probanden verteilte Anzeigen im Fahrzeug vorstellen, jedoch wurde die Sinnhaftigkeit der gewählten Informationsverteilung bezweifelt. Der FoCoCu muss dabei kritisch hinterfragt werden. Für die meisten Probanden ist der Triple Cursor für die Listen-

bedienung nicht geeignet. Die Ablehnung gegenüber dem KatIC+HUD-Prototypen kann auf die für den Versuch gewählten alphabetischen Kategorien zurückgeführt werden. Eine Aufteilung von Hierarchien eines Menüs bewerten die Probanden positiv (siehe Kapitel 6).

5.6.2 Individualisierungskonzepte

Systemunabhängig wurde die Idee der Individualisierung des Fahrerinteraktionsraumes von den Probanden als sehr gut erachtet (Note: 1,71). Die Versuchspersonen gaben an, diese Funktion gern im Fahrzeug zu nutzen. Ein Großteil der Teilnehmer würde nach der ersten Anpassung das System unverändert lassen. Nur sechs Teilnehmer gaben an, monatliche eine Adaptierung vorzunehmen.

Die Benotung der Varianten war mit der Note 2,13 für die klassische Variante und der Note 2,22 für die moderne Variante ausgeglichen. Die meisten Versuchspersonen wünschten sich eine Kombination aus beiden Ansätzen. Einerseits wurde die zentrale Einstellungsoption der klassischen Variante zum Entfernen aller Anwendungen aus den Displays positiv bewertet. Andererseits wurde die Lösung der grafischen Repräsentation des Cockpits der modernen Variante sehr gut aufgenommen, da die Einträge nicht genau gelesen werden mussten und weniger visuelle Aufmerksamkeit erfordern. Die Verteilung mittels Langdruck fanden die Probanden allerdings zu versteckt und bevorzugten die Checkboxes der klassischen Variante. Zusätzlich wünschen sich die Teilnehmer einen Menüpunkt, der eine Übersicht aller kopierbaren Informationen enthält. Mehr "Spaß" an der Bedienung vermittelte die moderne Variante.

5.7 Fazit

Die hier vorgestellten verteilten koordinierten Anzeigen beeinflussen das Blickverhalten in die einzelnen Anzeigeorte erheblich. Es wurde gezeigt, dass durch die Aufteilung von Informationen die Blickzeiten auf das HUD verkürzt werden können und ein 85-Prozent-Perzentil unter zwei Sekunden erreicht werden kann (KatIC+HUD, FoCoCu). Durch die systemseitige Unterbrechung der Bedienung, die durch den Displaywechsel der relevanten Information und durch den Wechsel des Bedienfokus verursacht wird, werden mehr Blicke in die Fahrszene getätigt. Dadurch kommt der Fahraufgabe eine höhere visuelle Aufmerksamkeit zu. Die Bedienzeiten der verteilten koordinierten Systeme wurden jedoch im Vergleich zu den unkoordinierten Systeme signifikant verlängert. Dies wird unter anderem auf die Orientierungsschwierigkeiten (Bedienfokus) nach einer Unterbrechung durch die höher priorisierte Fahraufgabe zurückgeführt. Die Systemkomplexität wird durch den aktiven Fokuswechsel der Bedienung erhöht. Der Anwender wird gezwungen, die Bearbeitung einer Aufgabe auf einem anderen Display zu beenden.

Für die koordinierten Anzeigen werden Konzepte benötigt, die es dem Fahrer erleichtern, die Interaktion mit dem System wieder aufzunehmen. Im Folgekapitel wird ein möglicher Lösungsansatz basierend auf visuell-attentiven Benutzerschnittstellen vorgestellt. Es wird vermutet, dass dadurch auch die Nutzerakzeptanz gesteigert werden kann. Ferner ist es notwendig, die Informationsverteilung für den Anwender sinnvoll und nachvollziehbar zu gestalten. Die Vorteile müssen offensichtlich sein. Eine Möglichkeit besteht in der Koordinierung unterschiedlicher

Darstellungsformen. Anstatt der hier vorgestellten Listenrepräsentation auf zwei Anzeigeorten wären beispielsweise die Präsentation einer POI-Liste in einem Display und die Kartendarstellung in einem anderen Display denkbar. Die Umsetzung und den Entwurf alternativer Vorschläge liefert Hoyer [47].

Die Individualisierungskonzepte wurden von den Probanden durchweg positiv aufgenommen. Die Versuchsteilnehmer wünschten sich eine Kombination aus beiden Konzepten. Es ist also denkbar, eine redundante Bedienung mittels Checkboxes im Optionsmenü und eine grafische Repräsentation des Cockpits durch Langdruck anzubieten. Keiner der Teilnehmer äußerte den Wunsch, die Anpassungen während der Fahrt vorzunehmen. Die Adaptierung des Fahrerinteraktionsraumes kann also mit allen zur Verfügung stehenden gestalterischen und interaktiven Mitteln realisiert und während der Fahrt deaktiviert werden, um eine Fahrerablenkung zu vermeiden. Des Weiteren wäre eine Konfiguration der Anzeigeorte am Desktop-PC denkbar. Die Daten müssen dann ins Fahrzeug übertragen werden. Da der Vorgang der Individualisierung positiv bewertet wurde und basierend auf den Aussagen der 27 Probanden nicht direkt für Fahraufgabe relevant ist, spielt dieses Thema im weiteren Verlauf der Arbeit eine untergeordnete Rolle.

Blickgestützte Interaktion mit verteilten Anwendungen

Verteilte koordinierte Anwendungen können das Blickverhalten der Benutzer positiv beeinflussen. Das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten auf das HUD wurde auf unter zwei Sekunden gesenkt. Einschränkungen liegen dergestalt vor, dass die Bedienung dieser Anwendungen den Nutzer kognitiv mehr belastet, was wiederum in längeren Bedienzeiten resultiert. Als Ursache dafür wurde unter anderem die Bedienung nach einer Unterbrechung durch die höher priorisierte Fahraufgabe identifiziert (siehe Kapitel 5).

Dem können visuell-attentive Benutzerschnittstellen begegnen. Der Fokus des Bedienelementes kann intelligent und bedürfnisorientiert angepasst werden (siehe Abschnitt 3.4.2) und insofern die Wiederaufnahme der Bedienung vereinfachen. Des Weiteren kann eine Weiterentwicklung des controllerbasierten Bedienkonzeptes die Komplexität verteilter koordinierter Anwendungen senken und die Usability verbessern.

Die Präsentation von FIS-Anwendungen im HUD überlagert die Fahrscene und somit gegebenenfalls auch fahrrelevante Informationen. Deshalb werden neue Strategien entwickelt, um die tertiären Inhalte im HUD ein- und auszublenden.

Bislang wurden in der vorliegenden Arbeit die Auswirkungen verteilter koordinierter Informationen zwischen ausschließlich zwei Displays betrachtet: HUD und Kombi. Um dem gesamten Fahrerinteraktionsraum Rechnung zu tragen, werden verteilte koordinierte Informationen auf alle im Fahrzeug vorhandenen Anzeigeorte erweitert: CID, Kombi und HUD.

In einem Vorversuch werden die zwei genannten Lösungsansätze explorativ evaluiert: der Vergleich zwischen dem controllerbasierten und visuell-attentiven Bedienkonzept sowie der Vergleich einer blickbasierten (impliziten) mit einer nutzerinitiierten (expliziten) Einblendestrategie. Die beiden Bedienkonzepte zielen darauf ab, den Fokuswechsel des Eingabemediums zwischen den Anzeigeorten zu vereinfachen. Das Einblenden von Informationen im HUD soll die Überlagerung der Fahrscene minimieren und für den Fahrer vorhersehbar sein [47].

Einem iterativen Entwicklungsprozess folgend, wird aufbauend auf den Ergebnissen des Vorversuches das controllerbasierte Konzept dahingehend erweitert, dass jedem Anzeigeort ein eigenes Bedienelement zugeordnet wird. Dadurch ist kein Fokuswechsel des Eingabemediums mehr notwendig. In der abschließenden Studie wird zudem dieses Konzept mit dem visuell-attentiven Konzept verglichen. Ferner werden sowohl die impliziten als auch expliziten Einblendestrategien jeweils den Bedienkonzepten angepasst und evaluiert. Ein weiterer zentraler Untersuchungsgegenstand ist die ganzheitliche Betrachtung des Fahrerinteraktionsraumes und der darin enthaltenen Displayverbände: CID und HUD, Kombi und HUD, CID und Kombi¹.

6.1 Vorversuch: Fokuswechsel und Einblendestrategien

Innerhalb der automobilen MMI wird der Blick als zusätzliche Eingabemodalität bislang unzureichend betrachtet. Es existieren nur vereinzelt Versuchsergebnisse, auf die zurückgegriffen werden kann.

Kern [58] untersucht in ihrer Studie die explizite blickgesteuerte Bedienung des FIS. Ihr zufolge wirkt sich der Blick als Eingabemodalität negativ auf die Fahrleistung aus. Anderen Studien zufolge (siehe Abschnitt 3.4.2) suchen Anwender den Blickkontakt mit den Geräten, mit denen sie interagieren.

Für die Konzeption der blickgestützten Prototypen wird an diese Studien angeknüpft und angenommen, dass der Anwender auf das Display blickt, bevor er damit interagiert. Für den Vorversuch unterstützt der Blick einerseits als implizite Zusatzmodalität den Fokuswechsel der controllerbasierten Interaktion mit dem FIS in unterschiedlichen Anzeigeorten. Andererseits fungiert er als Indikator für das Einblenden der HUD-Inhalte.

Diese Konzepte werden anhand einer verteilten koordinierten POI-Liste des Navigationssystems veranschaulicht. Das Kombi beinhaltet eine Übersicht aller POIs am Beispiel von Apotheken. Das HUD enthält die Detailinformationen wie Adresse, Telefonnummer oder Öffnungszeiten des im Kombi selektierten Eintrages (siehe Abbildung 6.1).

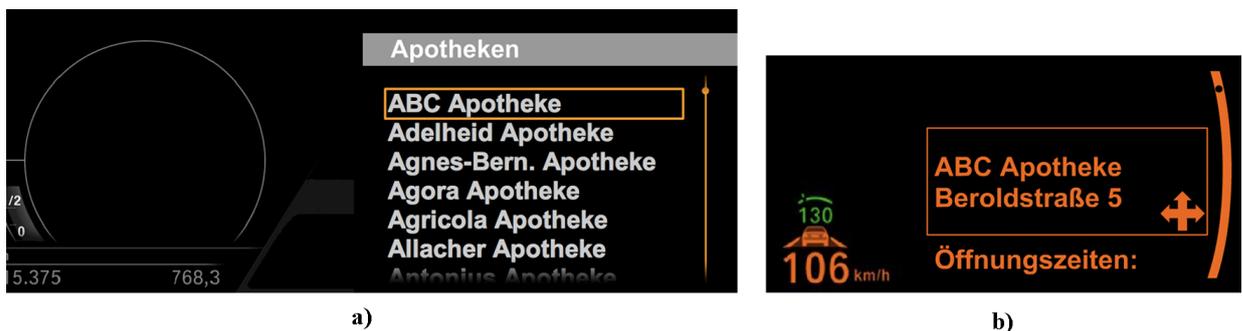


Abbildung 6.1: POI-Liste von Apotheken. a) Apothekenübersicht im Kombi. b) Detailinformationen im HUD.

¹Die in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte und Untersuchungen wurden in der im Rahmen dieser Dissertation betreuten Diplomarbeit von Matthias Hoyer erarbeitet.

6.1.1 Techniken für den Fokuswechsel des ZBE und Einblendestrategien

Die Fahraufgabe wird nach Rockwell [90] größtenteils visuell wahrgenommen. Die visuelle Ablenkung muss daher so gering wie möglich gehalten werden. Das implizite blickgestützte Bedienkonzept kommt dem dergestalt nach, dass das natürliche Blickverhalten als Basis für den Fokuswechsel und die Einblendestrategien dient. Die Bedienung erfolgt im Gegensatz zur expliziten blickgestützten Interaktion weiterhin über ein haptisches Bedienelement.

Für den visuell-attentiven Fokuswechsel werden die Anzeigeorte Kombi und HUD berücksichtigt. Sobald der Nutzer in ein Display blickt, wechselt der Bedienfokus dort hin (siehe Abbildung 6.2). Um eine Blindbedienung zu ermöglichen, bleibt beim Blickwechsel in die Fahrscene der Fokus auf dem zuletzt betrachteten Anzeigeort. Blickt der Anwender auf das Kombi, um dort eine Liste zu bedienen, und wendet sich anschließend der Fahrscene zu, können weitere Bedienschritte im Kombi ohne erneute Blickzuwendung erfolgen. Systemseitig muss also zwischen drei AOIs unterschieden werden: Fahrscene, Kombi und HUD.

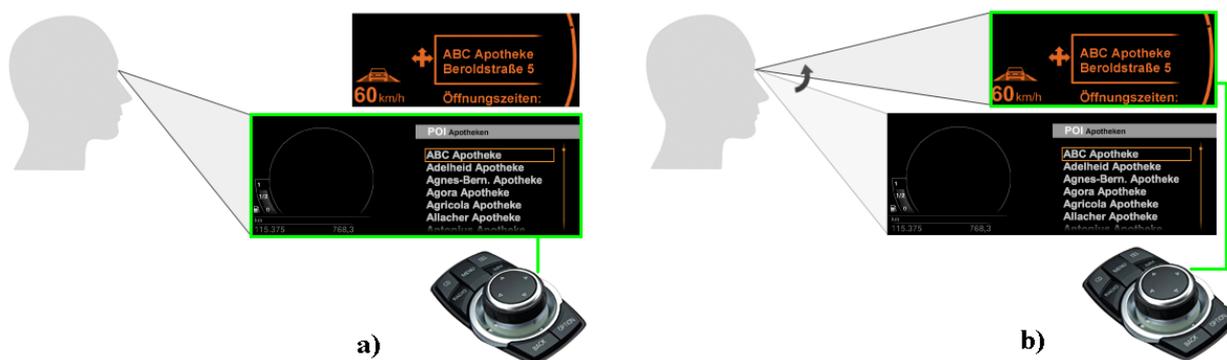


Abbildung 6.2: Blickbasierter Fokuswechsel des Eingabemediums ZBE. a) Anwender blickt auf das Kombi. b) Anwender blickt auf das HUD.

Der controllerbasierte Fokuswechsel erfolgt mittels zweier Menütaster. Der Anwender hat so (anders als bei den in Kapitel 5 vorgeschlagenen proaktiven Konzepten) jederzeit die volle Kontrolle über den Bedienfokus des Eingabemediums. Dadurch wird, so die Annahme, die kognitive Belastung reduziert (siehe Abbildung 6.3).

Die beispielhafte Anwendung der POI-Liste verlagert den Großteil der Interaktion in das Kombi. Dort wählt der Anwender aus einer langen Liste die gesuchte Apotheke aus. Im HUD werden lediglich kurze Detailinformationen zu dem selektierten Eintrag dargestellt. Deshalb kann von einer permanenten Informationsdarstellung im HUD abgesehen werden. Die HUD-Inhalte werden nach einem Timeout von 3.5 Sekunden ausgeblendet, damit die Fahrscene nicht durch die FIS-Anwendung überlagert wird.

Für das Wiedereinblenden wurden im Gegensatz zu den Konzepten für den Fokuswechsel ausschließlich explizite Interaktionskonzepte umgesetzt: ein blickgestützter und ein controllerbasierter. Der blickgestützte Ansatz erfordert eine Blickgeste ausgehend vom Kombi in das HUD. Dabei darf kein anderer AOI dazwischen fokussiert werden (siehe Abbildung 6.4). Dies könnte das Blickverhalten der Nutzer negativ beeinflussen. Zu 78 Prozent (siehe Abschnitt 5.5.1) wird im

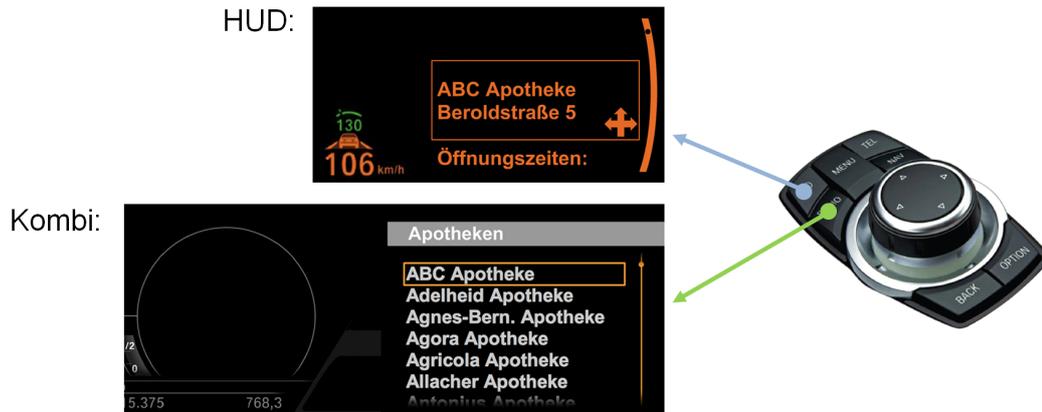


Abbildung 6.3: Fokuswechsel mit dem ZBE.

Falle eines Displaywechsels vom Kombi direkt in die Fahrszene geblickt, bevor die Interaktion im HUD wieder aufgenommen wird. In den verbleibenden 22 Prozent entspricht die Blickgeste dem natürlichen Blickverhalten.



Abbildung 6.4: Einblenden der Detailinformationen im HUD durch Blickgeste. a) Informationen im HUD ausgeblendet. b) Per Blickgeste vom Kombi in das HUD werden Informationen eingeblendet.

Bei dem controllerbasierten Konzept werden per Druck auf den Menütaster die HUD-Inhalte einblendet. Der Vorteil dieser Strategie besteht darin, das Blickverhalten nicht zu beeinträchtigen. Da der Hotkey erst aufgefunden und betätigt werden muss, beansprucht diese Variante den Anwender zusätzlich motorisch und gegebenenfalls auch kognitiv.

6.1.2 Hypothesen

Das hier vorgestellte visuell-attentive Konzept für den Fokuswechsel bestimmt implizit den Eingabeort des Bedienelementes basierend auf dem Blickverhalten der Anwender. Um den Bedienfokus des Eingabemediums mittels Hotkey festzulegen, muss ein expliziter Bedienschritt durchgeführt werden. Es wird deshalb angenommen, dass das blickgestützte Konzept eine geringere MDEV und kürzere Bedienzeiten (TTT) verursacht als der Fokuswechsel mittels Hotkeys.

- H_1 : Der blickgestützte Fokuswechsel führt zu einer geringeren mittleren Spurabweichung als der Fokuswechsel mittels Hotkeys.

- **H₂**: Der blickgestützte Fokuswechsel führt zu einer kürzeren Bedienzeit als der Fokuswechsel mittels Hotkeys.

Beim Wiedereinblenden von Informationen im HUD via Blickgeste muss der Anwender direkt vom Kombi auf das HUD blicken. Dieses Blickverhalten widerspricht dem in Abschnitt 5.5.1 festgestellten Verhalten der Nutzer. Deshalb wird eine negative Auswirkung auf die mittlere Spurabweichung angenommen. Da im Gegensatz zum Einblenden mittels Hotkey die motorische Belastung sinkt, werden die gleichen Bedienzeiten vermutet.

- **H₃**: Das blickgestützte Einblenden der HUD-Inhalte führt zu einer größeren MDEV als mittels Hotkey.
- **H₄**: Der blickgestützte Fokuswechsel unterscheidet sich von dem mittels Hotkey im Hinblick auf die TTT nicht.

6.1.3 Versuchsdesign

Zur Evaluierung der Konzepte wurde der LCT (siehe Abschnitt 2.4.2) eingesetzt. Die Blicksteuerung übernahm der Versuchsleiter (WOZ), um ein voll funktionsfähiges System zu simulieren. Mittels des Eye-Trackers von Dikablis konnte er dem Blick der Probanden folgen und entsprechend den Bedienfokus anpassen sowie die Information im HUD einblenden. Den Teilnehmern wurde verschwiegen, dass es sich um eine WOZ-Studie handelt. Mit dem AttrakDiff-Fragebogen (siehe Abschnitt 2.4.3) wurde die Attraktivität der beiden Ansätze verglichen. Die Nutzerpräferenzen wurden anhand eines dafür entwickelten Abschlussfragebogens erhoben.

Die unabhängige Variable ist die Konzeptvariante. Als abhängige Variablen wurden die MDEV und die TTT gemessen.

Zu Beginn der Studie wurde den Probanden der Versuchsgegenstand erläutert. Darauf folgte das LCT-Training bis sie eine mittlere Spurabweichung von kleiner einem Meter erreichten. Anschließend befestigte und kalibrierte der Versuchsleiter den Eye-Tracker am Kopf der Teilnehmer. Vor jeder Messfahrt (Systembedienung und LCT) übten die Probanden die Bedienung des zu evaluierenden Prototyps solange, bis sie mit dem System vertraut waren. Die Dual-Task-Bedingung bestand in der Systembedienung und der Fahraufgabe. Die Reihenfolge der Systeme wurde permutiert. Im Anschluss daran wurde der AttrakDiff-Fragebogen ausgefüllt und Aussagen über den Bedienfokus bewertet. Am Ende der Versuchsblöcke (Versuchsblock 1: Fokuswechsel, Versuchsblock 2: Einblendestrategien) beantworteten die Teilnehmer den vergleichenden Abschlussfragebogen.

6.1.4 Aufgaben

Die Nebenaufgabe, mit der der Fokuswechsel (blickgestützt vs. controllerbasiert) untersucht wurde, bestand darin, Detailinformationen (Öffnungszeit, Telefonnummer, Straße etc.) zu fünf unterschiedlichen Apotheken zu finden und laut vorzulesen. Wie in Abschnitt 6.1 beschrieben, wird im Kombi die POI-Übersicht angezeigt sowie der gewünschte Eintrag selektiert. Die dazugehörigen Detailinformationen werden im HUD präsentiert und bedient.

Um die Einblendestrategien (blickgestützt vs. controllerbasiert) zu vergleichen, wurde der blickgestützte Fokuswechsel eingesetzt. Analog zu der oben erläuterten Aufgabe mussten die Teilnehmer fünf Detailinformationen im HUD finden und laut vorlesen. Der einzige Unterschied lag darin, dass der Versuchsleiter die neue Aufgabe erst nach dem Ausblenden der HUD-Inhalte instruierte.

6.1.5 Versuchspersonenkollektiv

An der Untersuchung nahmen 17 Personen im Alter von 21 bis 32 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 27 Jahre. Darunter waren vier Frauen und ein Linkshänder. Fünf der Teilnehmer gaben an, eine Sehhilfe zu benötigen. Alle Probanden waren im Besitz eines gültigen Führerscheins. Vier Versuchspersonen hatten keine Erfahrung mit dem iDrive-System. Insgesamt schätzten vier Teilnehmer ihre jährliche Fahrleistung geringer als 5.000 km, drei zwischen 5.000 und 10.000 km, acht zwischen 10.000 und 20.000 km und zwei größer als 20.000 km ein.

6.1.6 Statistisches Vorgehen

Da pro Versuchsblock und abhängiger Variable zwei Varianten verglichen wurden, kamen T-Tests für gepaarte Stichproben zum Einsatz. Das Signifikanzniveau beträgt fünf Prozent.

6.1.7 Ergebnisse

Anhand der abhängigen Variablen Bedienzeit, MDEV und subjektive Nutzereinschätzung wird der blickgestützte mit dem controllerbasierten Fokuswechsel sowie die Einblendestrategien verglichen. Die Bedienzeiten und MDEVs werden von Beginn der ersten Instruktion der ersten Teilaufgabe bis zum letzten Bedienschritt der letzten Teilaufgabe gemessen. Eine tabellarische Übersicht der Resultate ist dem Anhang, Abbildung A.13 und Abbildung A.14, zu entnehmen.

Fokuswechsel

Der blickgestützte Fokuswechsel wurde von den Versuchsteilnehmern zum einen signifikant schneller bearbeitet als der controllerbasierte ($p=.002$). Zum anderen resultiert er in einer signifikant geringeren MDEV ($p=.025$). Die Hypothesen H_1 und H_2 werden somit bestätigt (siehe Abbildung 6.5).

Die Teilnehmer bewerteten nach jeder Messfahrt die Attraktivität der beiden Ansätze anhand des AttrakDiff-Fragebogens. Die subjektiven Resultate stützen die objektiven Ergebnisse (siehe Abbildung 6.6). Die Probanden stufte den blickgestützten Fokuswechsel als praktischer, voraus-sagbarer und unterbrechbarer ein. Zudem wurde dieser Ansatz als stil- und wertvoller bewertet.

Auf einer sechsstufigen Likert-Skala (5 = starke Zustimmung, 0 = starke Ablehnung) wurden zudem am Versuchsende folgende Aussagen zu den Systemen beurteilt: (1) "Ich wusste zu jeder Zeit, auf welches Display sich die Eingabe bezieht" und (2) "Der Fokuswechsel zwischen den

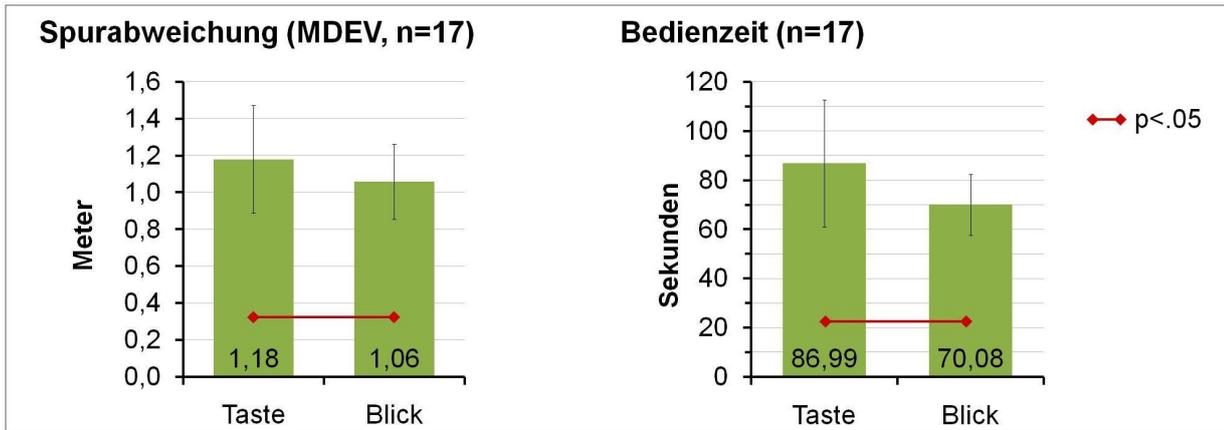


Abbildung 6.5: Durchschnittliche Bedienzeiten und MDEVs des blickgestützten und controllerbasierten Fokuswechsels.

Displays war sehr einfach”. Beide Aussagen treffen aus Sicht der Probanden eher für das blickgestützte (Aussage 1: 4,18; Aussage 2: 4,35) als für das controllerbasierte System (Aussage 1: 3,47; Aussage 2: 3,35) zu.

Auf die Frage, welches System die Probanden bevorzugen, entschieden sich alle Teilnehmer für den blickgestützten Prototypen. 88 Prozent der Versuchspersonen waren zudem der Meinung, dass sich dieses System besser für die Fahraufgabe eignet.

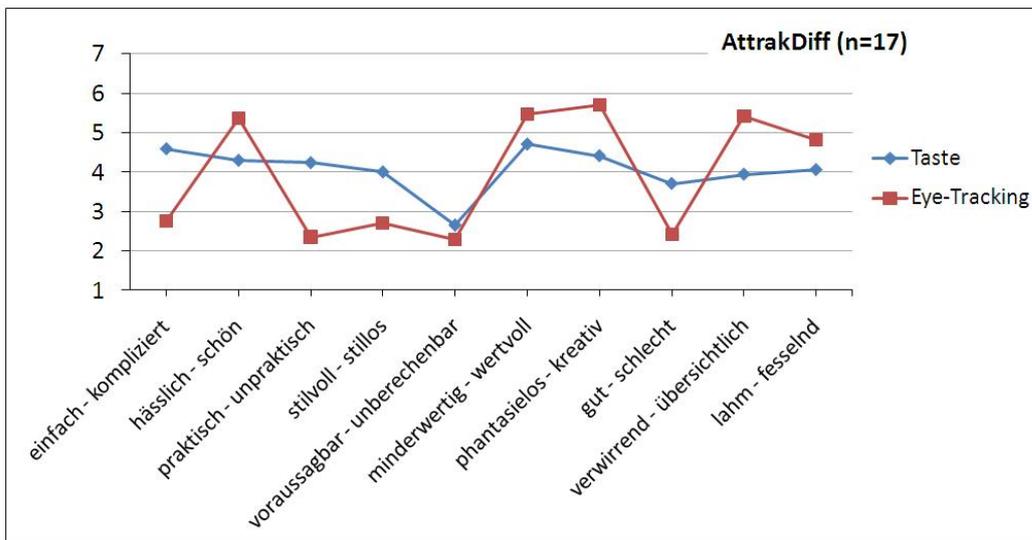


Abbildung 6.6: Bewertung der Attraktivität des blickgestützten und controllerbasierten Fokuswechsels anhand des AttrakDiff-Fragebogens.

Einblendestrategien

Durchschnittlich benötigten die Teilnehmer mehr Zeit, um mit einer Blickgeste die Informationen im HUD einzublenden. Statistisch unterscheiden sich die Bedienzeiten jedoch nicht. Hypothese H_4 wird folglich bestätigt. Die mittlere Spurabweichung des blickgestützten und controllerbasierten Systems unterscheiden sich nicht signifikant (siehe Abbildung 6.7), so dass H_3 verworfen wird.

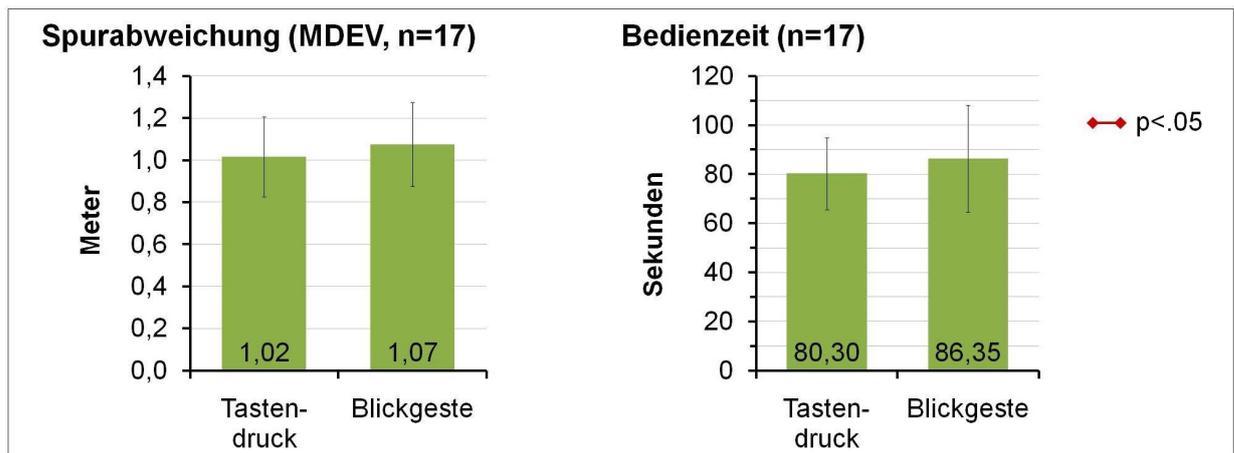


Abbildung 6.7: Bedienzeiten und MDEV für das Einblenden mittels Blickgeste und Tastendruck.

Die Ergebnisse des AttrakDiff-Fragebogens untermauern die objektiven Resultate. Die Attraktivität beider Systeme stuften die Teilnehmer ähnlich ein (siehe Abbildung 6.8). In Entsprechung zum Fokuswechsel wurden die zwei oben genannte Aussagen (siehe Abschnitt 6.1.7) von den Probanden bewertet. Hinsichtlich Aussage 1 fand die Blickgeste (4,06) signifikant weniger Zustimmung als der Tastendruck (4,59). Die Teilnehmer stuften Aussage 2 für beide Systeme annähernd gleich ein.

59 Prozent der Probanden zufolge eignet sich die Blickgeste für die Fahraufgabe besser als der Tastendruck. Elf der 17 Personen bevorzugten das blickgestützte Bedienkonzept.

Ergebnisdiskussion

Der blickgestützte Fokuswechsel führt zu einer kürzeren Bedienzeit und einer geringeren Spurabweichung gegenüber dem controllerbasierten System. Die subjektiven Ergebnisse bestätigen die Eignung der impliziten Verwendung des Blicks für den Fokuswechsel zwischen den Anzeigeebenen.

Allerdings beobachtete der Versuchsleiter, dass die meisten Anwender sowohl für den Fokuswechsel als auch das Einblenden von Informationen mittels Hotkey Kontrollblicke durchführten. Zudem lösten die meisten Probanden die Hand vom Dreh-Drück-Steller. Somit beansprucht der zusätzliche Taster den Nutzer visuell, taktile sowie kognitiv. Die Weiterentwicklung des controllerbasierten Konzeptes kann, so wird vermutet, dem entgegenwirken.

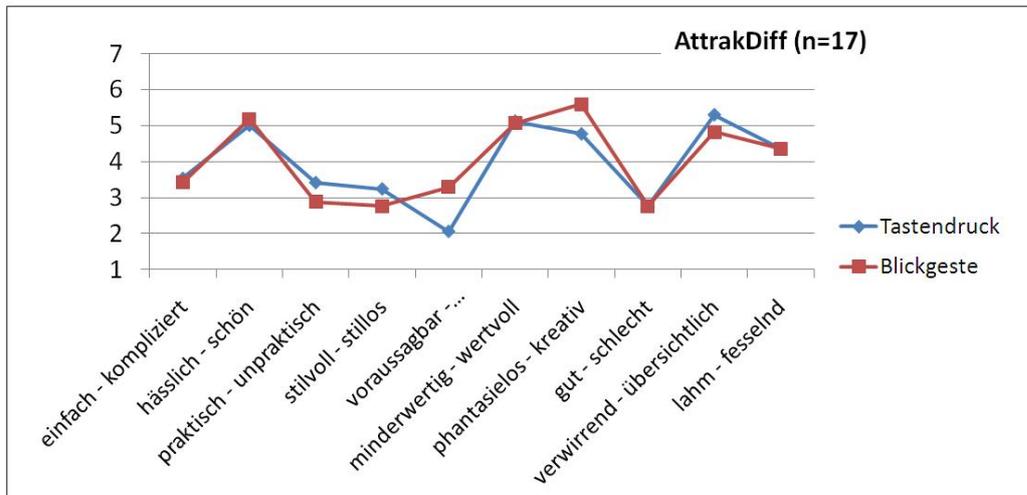


Abbildung 6.8: Bewertung der Attraktivität der Einblendstrategien mit Tastendruck und Blickgeste anhand des AttrakDiff-Fragebogens.

6.2 Finale Prototypen

Aufgrund der Resultate des Vorversuches wurde die Vermutung aufgestellt, dass das controllerbasierte Konzept mit Hotkeys zur Steuerung des Bedienfokus eines Controllers mehr von der Fahraufgabe ablenkt als ein impliziter blickgestützter Ansatz. Deshalb wird ein alternatives controllerbasiertes Konzept für den Fokuswechsel (siehe Abschnitt 6.2.1) und das Einblenden von Informationen (siehe Abschnitt 6.2.2) entwickelt, welches von Hotkeys absieht.

Zudem gilt es den gesamtheitlichen Anzeigeverbund im Fahrerinteraktionsraum zu evaluieren (siehe Abschnitt 6.2.3). Im Folgenden werden Konzepte vorgestellt, die verteilte koordinierte Anwendungen auf den derzeit möglichen Displaykombinationen berücksichtigen.

6.2.1 Interaktionskonzepte und Fokuswechsel

Wie in Kapitel 5 gezeigt, eignet sich ein proaktiver Fokuswechsel bei verteilten koordinierten Anzeigen nur eingeschränkt für den Einsatz im Fahrzeug. Auch der in den vorangegangenen Abschnitten besprochene controllerbasierte Ansatz unterstützt die Nutzer unzureichend, zumindest hinsichtlich des Fokuswechsels. Die blickbasierte Variante hingegen resultiert in kürzeren Bedienzeiten und einer besseren Fahrleistung.

Um die Interaktion mit zwei Displays für die Anwender transparenter zu gestalten, wird jedem Display ein eindeutiges Bedienelement zugeordnet. Dazu kann neben dem zentralen Dreh-Drück-Steller auf das MFL zurückgegriffen werden, da Letzteres weitere Bedienelemente für die Interaktion mit Listen bereitstellt.

Als beispielhafter Displayverbund wird das Kombi und HUD betrachtet. Für die Bedienung kurzer Listen im Kombi werden die Lautstärketasten des aktuellen MFL von BMW angepasst. Wird die Auswahl im Kombi geändert, werden die HUD-Inhalte automatisch aktualisiert, ohne eine vom Nutzer initiierte Bedienhandlung zu erfordern. Das Rändelrad dient der Navigation

durch lange Listen im HUD (siehe Abbildung 6.9 b)). Die Auswahl eines Listeneintrages ist ausschließlich im HUD per Druck auf das Rändelrad möglich.

Bei der blickgestützten Interaktion bedarf es nur eines Bedienelementes. Der Bedienfokus liegt auf dem Display, das der Nutzer gerade betrachtet (siehe Abbildung 6.9 a)). Die Bedienung erfolgt mit dem Rändelrad.

Anhand der Interaktion wird augenscheinlich, dass eine Hierarchieebene jeweils einem Anzeigort zugeteilt ist. Vereinfacht wird die Interaktion insofern als auf eine Bestätigung eines Eintrages im Kombi verzichtet wird und beide Hierarchieebenen gleichzeitig sichtbar sind.

6.2.2 Einblendestrategien der HUD-Inhalte

Der Vorversuch hat gezeigt, dass das Einblenden der HUD-Inhalte mittels expliziten Tastendrucks Kontrollblicke erfordert. Es werden deshalb neue Strategien entworfen, die einerseits implizit aus dem Bedienkontext ableiten, ob HUD-Inhalte eingeblendet werden müssen oder nicht. Andererseits werden alternativ dazu explizite Einblendestrategien entwickelt. Folgende Varianten werden anhand des oben beschriebenen Prototyps evaluiert:

- Interaktion (implizit): Unabhängig davon, an welchem Anzeigort eine Interaktion stattfindet (Kombi oder HUD mit dem MFL), werden die HUD-Inhalte eingeblendet.
- Druck auf das Rändelrad (explizit): Wird das Rändelrad gedrückt, werden die HUD-Inhalte eingeblendet. Da das Rändelrad sowohl zur Interaktion als auch für das Einblenden der Informationen eingesetzt wird, ist kein Kontrollblick oder separater Hotkey notwendig.
- Blickgeste (explizit/implizit): Wie im Vorversuch werden beim direkten Blickwechsel vom Kombi ins HUD die Informationen dargestellt.
- Blick und Scrollen (implizit): Diese blickgestützte Variante kombiniert das Scrollen mit dem Blick auf das HUD als Kriterium zum Einblenden der Inhalte.

6.2.3 Displayverbund

Bisherige automobil ausgerichtete Forschungsarbeiten betrachten den Displayverbund im Fahrerinteraktionsraum nicht gesamtheitlich. Insofern wird eine Analyse aller drei Anzeigorte angestrebt: HUD, Kombi und CID. Wie sich die Aufteilung von logisch zusammenhängenden Informationen zwischen den Displays auswirkt, bildet den Untersuchungsgegenstand diese Kapitels. Da unter der Berücksichtigung aller Anzeigorte auch zwei HDDs kombiniert werden, wird angenommen, dass der Aufwand eines Kontrollblickes auf die Fahrszene steigt. Deshalb werden weniger Blicke in die Fahrszene durchgeführt, was eine höhere visuelle Ablenkung vermuten lässt. Mit dem blickgestützten System soll das Zusammenspiel der Displays und die Auswirkungen auf die Fahrerablenkung untersucht werden.

Für den Vergleich der Displaykombinationen wurde eine Kalenderanwendung umgesetzt. Die zwei verteilten koordinierten Ansichten sind die Kalenderansicht und die Terminansicht. Ange-



Anwender blickt auf das Kombi



Bedienfokus des Rändelrades wird auf das Kombi gelegt

Interaktion im Kombi per Wippentaster (Lautstärkentasten)



Bedienfokus des Rändelrades wird per Blick auf das HUD gelegt

Interaktion im HUD per Rändelrad

a)

b)

Abbildung 6.9: a) Blickgestützter Fokuswechsel. b) controllerbasierter Fokuswechsel mit eindeutiger Bedienelement-Display-Zuordnung.

lehnt an Apples iPhone² visualisiert ein Grid-Layout die Monatsansicht des Kalenders. Die Tage, an denen ein Termin eingetragen ist, sind mit einem Punkt versehen (siehe Abbildung 6.10).

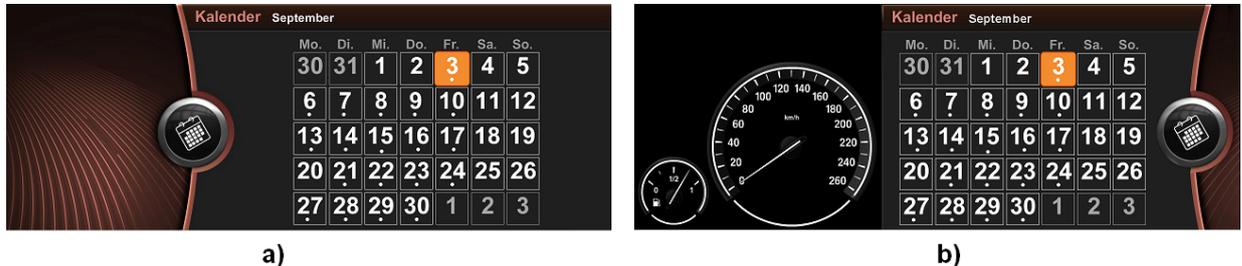


Abbildung 6.10: Monatsansicht des Kalenders. a) Visualisierung im CID. b) Visualisierung im Kombi.

Die listenbasierte Detailansicht umfasst die Uhrzeit, den Betreff und den Ort eines Termins und wird auf einem jeweils anderen Anzeigort als die Kalenderansicht dargestellt (siehe Abbildung 6.11).

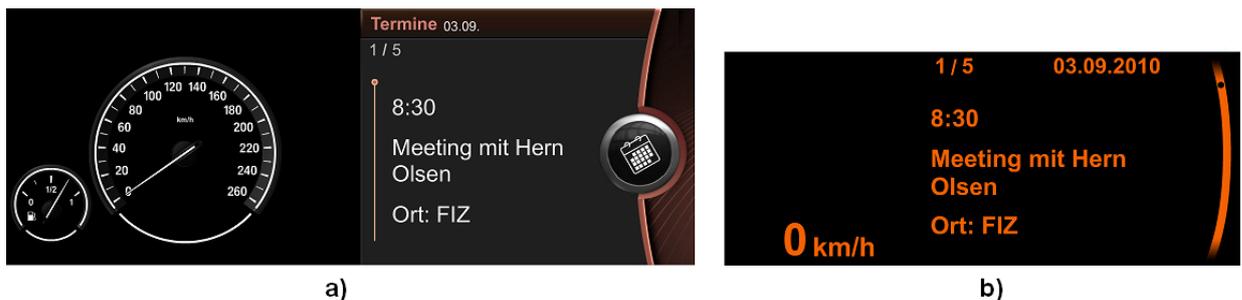


Abbildung 6.11: Detailansicht des ausgewählten Tages. a) Visualisierung im Kombi. b) Visualisierung im HUD.

Folgende Varianten wurden für die Untersuchung umgesetzt: Kalender im CID und Details im Kombi (CID-IC), Kalender im CID und Details im HUD (CID-HUD), Kalender im Kombi und Details im HUD (IC-HUD). Die Bedienung aller Varianten erfolgt mit dem iDrive-Controller und einem blickgestützten Fokuswechsel des Bedienelementes.

6.3 Evaluierung

Die Studie gliedert sich in zwei Blöcke: (1) Untersuchung der Displayverbände mit der Übersicht-Detail-Anwendung aus Abschnitt 6.2.3, (2) Untersuchung der Einblendestrategien und Interaktionskonzepte aus Abschnitt 6.2.2 und 6.2.1.

Als Evaluierungsmethode wurde die AAM-Folgefahrt in einem statischen Fahrsimulator angewandt. Die daraus resultierende SDLP und *Standard Deviation of Velocity* (SDV) beschreiben

²www.apple.de/iphone

die Auswirkung der Systembedienung auf die Fahraufgabe. Mit dem Dikablis Eye-Tracking-System werden zusätzlich Aussagen über das Blickverhalten (durchschnittliche, maximale und kumulierte Blickdauer) der Anwender getroffen. Als externes Kriterium fungiert das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten. Die TTT und die Fehlerrate (*countIS*) reflektieren die Bedienleistung der Anwender.

6.3.1 Hypothesen

Interaktionskonzepte

Mit den Konzepten *No Eye Tracking + Interaction* (NET-IN) und *Eye Tracking + Interaction* (ET-IN) wird das controllerbasierte (NET-IN) dem blickgestützten Interaktionskonzept (ET-IN) gegenübergestellt. Anders als im Vorversuch ist kein expliziter Fokuswechsel bei dem controllerbasierten Konzept NET-IN notwendig. Jedem Display ist ein eindeutiges Bedienelement zugeordnet.

Die blickgestützte Variante basiert auf einer für die meisten Anwender unbekanntem Eingabemodalität. Insofern könnte geschlussfolgert werden, dass die Bedienzeiten steigen und die Fahrleistung sinkt. Wie der Vorversuch zeigt, kann jedoch von kürzeren Bedienzeiten des blickgestützten Systems ausgegangen werden (siehe Abschnitt 6.1). Die Auswirkungen auf die Fahrleistung werden explorativ untersucht. Da der Fokuswechsel anhand des Blickes implizit erfolgt und keine expliziten Handlungen erfordert, werden keine Auswirkungen auf die Blickzeiten und die Blickstrategie vermutet.

- **H_{1,Interaktion}**: Die Konzepte NET-IN und ET-IN unterscheiden sich bezüglich der Blickstrategien nicht.
- **H_{2,Interaktion}**: Die Konzepte NET-IN und ET-IN unterscheiden sich bezüglich der Blickzeiten nicht.
- **H_{3,Interaktion}**: Das ET-IN-Konzept resultiert in kürzeren Bedienzeiten als NET-IN.

Einblendestrategien

Die Einblendestrategien im HUD wurden ausschließlich im Zusammenhang mit dem Kombi betrachtet. Für die controllerbasierte Interaktion wurden folgende zwei Konzepte umgesetzt (siehe Abbildung 6.9 a): *No Eye Tracking + Interaction* (NET-IN) und *No Eye Tracking + Scrollen* (NET-SC). Das NET-IN-Konzept blendet die HUD-Inhalte unabhängig davon ein, mit welchem Display interagiert wird (im Kombi mittels Tasten oder im HUD mittels Rändelrad). Das NET-SC-Konzept zeigt die FIS-Informationen im HUD nur an, wenn mit dem Rändelrad das HUD bedient wird.

Bezüglich der Fahrleistung und Blickdauer werden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Konzepten erwartet. Die Blickstrategien hingegen, so wird angenommen, unterscheiden sich. Da die HUD-Inhalte bei NET-SC nur sichtbar sind, wenn im HUD gescrollt wird, blicken die Anwender häufiger in die Fahrszene bevor die Interaktion im HUD fortgesetzt wird.

Umgekehrt sind die HUD-Inhalte bei NET-IN bereits bei der Interaktion im Kombi zu sehen. Deshalb finden mehr direkte Blickwechsel statt.

- **H_{1, Einblenden}**: Das NET-IN-Konzept verursacht mehr direkte Blickwechsel zwischen den Displays als das NET-SC-Konzept.

Zur Evaluierung der unterschiedlichen blickgestützten Einblendestrategien wurden folgende Konzepte verglichen: *Eye Tracking + Interaction* (ET-IN), *Eye Tracking + Rändeldruck* (ET-RD) und *Eye Tracking + Blickgeste* (ET-BG). Die ET-IN-Variante kombiniert die zwei Bedienhandlungen, Scrollen und Rändeldruck implizit mit dem Blick. Es ist also kein zusätzlicher Bedienschnitt notwendig. Bei der ET-RD-Variante wird der Blick mit einem expliziten Rändeldruck für das Einblenden der HUD-Inhalte verknüpft. Der Unterschied zwischen dem impliziten ET-IN und expliziten ET-RD wird analog zu den controllerbasierten Einblendestrategien vermutet.

Das ET-BG-System blendet die HUD-Informationen nach dem direkten Blickwechsel vom Kombi in das HUD ein. Somit werden in diesem Fall mehr direkte Blickwechsel angenommen.

- **H_{2, Einblenden}**: Das ET-BG-Konzept resultiert in mehr direkten Blickwechseln als die Konzepte ET-IN und ET-RD.
- **H_{3, Einblenden}**: Das ET-IN-Konzept resultiert in mehr direkten Blickwechseln als das ET-RD-Konzept.

Displayverbund

Bei der Kombination der Anzeigeorte für verteilte koordinierte Anwendung wird angenommen, dass sich zwei HDDs (CID-IC) negativ auf die Blickstrategie auswirken. Die Anwender tätigen aufgrund der Distanz zwischen den Anzeigeorten und der Fahrszene weniger Kontrollblicke auf die Straße. Folglich finden mehr indirekte Blickwechsel (CID → Fahrszene → Kombi) zwischen den Anzeigeorten statt. Aufgrund der Distanz zwischen den Displays CID und HUD sowie der diagonalen Anordnung wird von längeren Blickzeiten ausgegangen. Die Interaktion im HUD, so konnte gezeigt werden (siehe Kapitel 4), resultiert in einer besseren Fahrleistung. Insofern werden für die Kombination eines Anzeigeortes mit dem HUD bessere Fahrleistungen angenommen.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 4 und Kapitel 5 werden folgende Annahmen getroffen: Die Nutzer ziehen die IC-HUD-Variante der CID-HUD-Variante vor. Zudem bevorzugen die Anwender die CID-HUD- gegenüber der CID-IC-Variante. Ebenso kann von einer kürzeren Bedienzeit mit dem IC-HUD als mit dem CID-HUD und CID-IC ausgegangen werden. Angelehnt an diese Annahmen werden folgende Hypothesen abgeleitet:

- **H_{1, Displays}**: Der Displayverbund CID-IC geht mit mehr direkten Blickwechseln einher als die HUD-Kombinationen (IC-HUD, CID-HUD).
- **H_{2, Displays}**: Der Displayverbund CID-HUD bewirkt längere Blickzeiten als CID-IC und IC-HUD.
- **H_{3, Displays}**: Der Displayverbund CID-IC resultiert in einer schlechteren Fahrleistung als CID-HUD und IC-HUD.

- **H_{4,Displays}**: Der Displayverbund IC-HUD resultiert in einer kürzeren Bedienzeit als CID-IC und CID-HUD.
- **H_{5,Displays}**: Die Anwender bevorzugen die Varianten IC-HUD gegenüber CID-HUD und CID-HUD gegenüber CID-IC.

6.3.2 Versuchsdesign

Die Systeme wurden mit einem within-subject Studiendesign evaluiert. Die Untersuchung gliedert sich in zwei Versuchsblöcke: Im ersten Versuchsblock wurden die unterschiedlichen Displayverbände evaluiert, der zweite Versuchsblock widmet sich den Einblendestrategien und Interaktionskonzepten. Die Hauptaufgabe bestand darin, auf einer dreispurigen Straße einen konstanten Abstand von 50 Metern zum Vorderfahrzeug einzuhalten (AAM-Folgefahrt). Das Vorderfahrzeug führte keine Spurwechsel durch und blieb während der gesamten Fahrt auf dem rechten Fahrstreifen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h. Wie im Vorversuch simulierte der Versuchsleiter das blickgestützte System (WOZ). Neben Bedien- und Fahrdaten wurde mittels des Dikablis Eye-Trackers das Blickverhalten der Anwender aufgezeichnet.

Die unabhängige Variable ist die Systemvariante. Die abhängigen Variablen stellen die mittlere Spurabweichung (SDLP), Geschwindigkeitsvarianz (SDV), Bedienzeit (TTT), Anzahl der Interaktionsschritte, Blickdaten und die Blickstrategie dar. Diese Variablen wurden jeweils vom Beginn des ersten Bedienschlittes zur Bearbeitung der ersten Teilaufgabe bis zu dem letzten Bedienschlitt der letzten Teilaufgabe gemessen. Zusätzlich wurden die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung und die Nutzerpräferenz erhoben.

Zu Beginn der Evaluierung wurde den Teilnehmern der Versuchsgegenstand erläutert und ein demografischer Fragebogen ausgefüllt. Anschließend übten die Teilnehmer die Hauptaufgabe ohne die Bedienung eines Systems. Nachdem der Versuchsleiter das Blickerfassungssystem installierte und kalibrierte, startete die erste Aufgabe des ersten Versuchsblockes. Die Reihenfolge der Systeme (Versuchsblock 1: CID-HUD, IC-HUD, CID-IC und IC-HUD-MFL; Versuchsblock 2: ET-IN, ET-RD, ET-BG, NET-IN und NET-SC) wurde im lateinischen Quadrat permutiert. Vor jeder Messfahrt trainierten die Probanden das System. Der Versuchsleiter instruierte dazu Trainingsaufgaben, bis die Probanden sicher mit dem Prototypen umgehen konnten. Darauf folgte die Messfahrt. Am Ende jeder Messfahrt beantworteten die Teilnehmer den DALI-Fragebogen. Jeder Versuchsblock schließt mit einem Abschlussfragebogen und einem Rankingverfahren ab.

6.3.3 Aufgaben

Der in Abschnitt 6.2.3 beschriebene Prototyp verteilt eine Kalenderanwendung auf zwei Displays. Auf dem einen Display (CID oder Kombi) befindet sich die Monatsübersicht. Auf dem anderen (Kombi oder HUD) werden die Termine des ausgewählten Tages angezeigt. Die Aufgaben des ersten Versuchsblockes bestanden darin, einen Tag in der Monatsansicht der Kalenderanwendung zu selektieren und einen Termin zu suchen. Die Anweisungen des Versuchsleiters lauteten: "Scrollen Sie zum 17:00 Uhr Termin am 23. September". Ein akustisches Feedback bestätigte die erfolgreiche Terminauswahl. Die Detailansicht im HUD ist 3,5 Sekunden [47] sichtbar. Pro Variante mussten die Probanden 13 Termine auswählen. Dazu waren maximal acht Scrollvorgänge

am Stück notwendig. Die Aufgaben waren für jeden Prototypen identisch, wobei die Reihenfolge permutiert wurde. Alle Permutationen resultieren in der gleichen Anzahl an Bedienschritten und sind somit vergleichbar.

Im zweiten Versuchsblock wurden zum einen die Prototypen aus Abschnitt 6.2.1 zur Untersuchung der Interaktionstechniken eingesetzt. Zum anderen dienen die Systeme aus Abschnitt 6.1.7 zur Evaluierung der Einblendestrategien. Die Informationsverteilung beschränkt sich für alle Systeme auf das Kombi und HUD. Die Bedienung erfolgt mit dem MFL. Insgesamt mussten die Probanden pro System neun Einträge aus den unterschiedlichen Anwendungen, die im Kombi angezeigt wurden, auswählen. Für alle fünf Konzeptausprägungen waren die Aufgaben identisch und wurden über die Systeme permutiert. Alle Permutationen benötigen die gleiche Anzahl an Bedienschritten, wodurch die Vergleichbarkeit gewährleistet ist.

6.3.4 Versuchspersonenkollektiv

An der Untersuchung nahmen 27 Probanden im Alter von 20 bis 56 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 32 Jahre. Insgesamt konnten 11 Frauen und 16 Männer für die Studie gewonnen werden. Unter ihnen waren drei Linkshänder und sechs Brillenträger. 22 Probanden hatten einen Hochschulabschluss und fünf befanden sich noch im Studium. Alle Teilnehmer waren im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis. Jeweils vier Versuchspersonen gaben an 5.000 km, 5.000 - 10.000 km oder mehr als 20.000 km im Jahr zu fahren. 15 Personen schätzten ihre jährliche Fahrstanz auf 10.000 - 20.000 km. Der Großteil der Probanden stufte sich als erfahrene Autofahrer ein.

Sieben Probanden bedienten noch nie das iDrive-System und hatten folglich keine Erfahrung mit dem iDrive-Controller oder MFL. 14 der verbleibenden 20 Teilnehmer gaben an, mit dem iDrive-System vertraut zu sein.

6.3.5 Statistisches Vorgehen

Zur Bestimmung statistischer Haupteffekte wurde für jeden Versuchsblock eine mehrfaktorielle ANOVA für messwiederholte Daten eingesetzt. Die Korrektur des Alphafehlers erfolgte nach Bonferroni. Durch Post-hoc durchgeführte paarweise Vergleiche wurden statistische Unterschiede zwischen den Systemen ermittelt. Dieses Vorgehen wurde sowohl für die objektiven Daten als auch für den DALI-Fragebogen eingesetzt, da dieser ein Derivat des Nasa-TLX-Fragebogens darstellt und somit ein metrisches Datenniveau angenommen werden kann.

6.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Fragestellungen zu den Interaktionskonzepten, Einblendestrategien und Displayverbänden werden getrennt präsentiert.

6.4.1 Interaktionskonzepte

Blickstrategien Wie in $H_{1,Interaktion}$ angenommen, unterscheidet sich die Blickstrategie zwischen dem blickgestützten ET-IN- und dem controllerbasierten NET-IN-Konzept nicht ($F(1,24)=.627, p=.436$) (siehe Abbildung 6.12).

Blickzeiten Auch bei der Analyse der Blickzeiten wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen NET-IN und ET-IN gefunden. Weder die Anzahl der Blicke ($F(1, 10)=1.190, p=.301$) noch die durchschnittliche Blickdauer auf das Kombi ($F(1, 10)=.172, p=.687$) unterscheiden sich signifikant. Ebenso wenig ergab die Analyse der maximalen ($F(1, 10)=.237, p=.637$) und kumulierten Blickzeiten ($F(1, 10)=.366, p=.559$) Unterschiede zwischen den Interaktionskonzepten.

Die beiden Interaktionskonzepte NET-IN und ET-IN haben keinen Einfluss auf die durchschnittliche ($F(1, 10)=.744, p=.409$), maximale ($F(1, 10)=.905, p=.364$) und kumulierte Blickdauer ($F(1, 10)=1.040, p=.332$) sowie auf die Anzahl der Blicke ($F(1, 10)=1.280, p=.284$) auf das HUD. $H_{2,Interaktion}$ wird demnach bestätigt.

Bedienzeiten Entgegen der Erwartungen benötigten die Versuchsteilnehmer signifikant mehr Zeit für die Aufgabenbearbeitung mit dem ET-IN- als mit dem NET-IN-Konzept ($F(1,26)=20.242, p<.01$) (siehe Abbildung 6.12). $H_{3,Interaktion}$ wird daher abgelehnt. Keine der beiden Varianten hat einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Interaktionsschritte ($F(1, 26)=.586, p=.451$).

In Abschnitt 6.5.1 werden mögliche Ursachen für diese Unterschiede eingehend diskutiert.

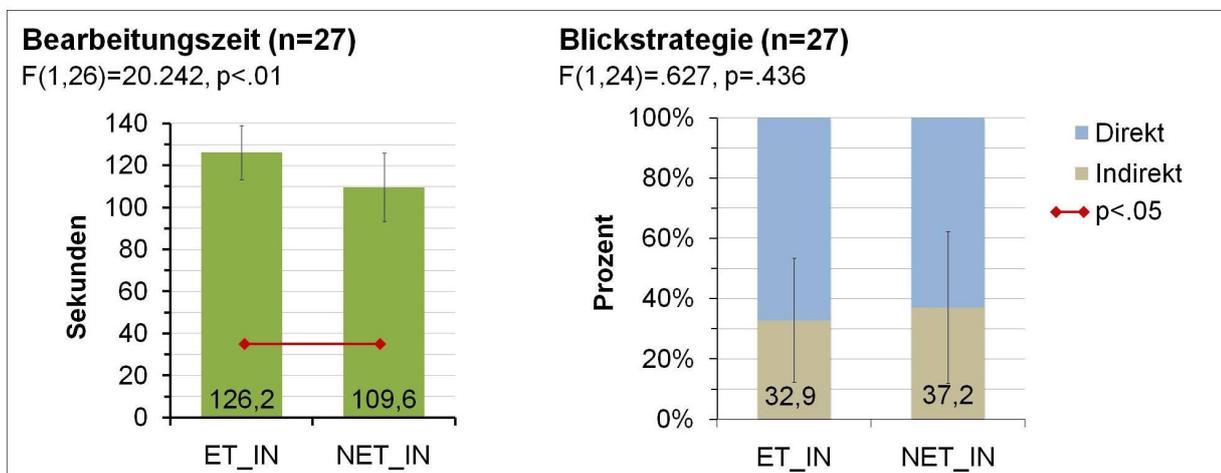


Abbildung 6.12: Bedienzeit und Blickstrategie des blickgestützten ET-IN- und controllerbasierten NET-IN-Konzeptes.

Fahrleistung Die Interaktionskonzepte üben weder auf die SDLP ($F(1, 26)=.029, p=.866$, NET-IN=.251, ET-IN=.248) noch auf die SDV ($F(1, 26)=.289, p=.595$, NET-IN=3.6, ET-IN=3.5) einen signifikanten Haupteffekt aus. Die Tabellen zu den Grafiken der objektiven Ergebnisse sind dem Anhang, Abbildung A.15, zu entnehmen.

Subjektive Ergebnisse Das Ranking des blickgestützten ET-IN- und controllerbasierten NET-IN-Konzeptes zeigt klar, dass die Probanden Ersteres bevorzugen. Da neben den beiden Interaktionskonzepten ebenso die drei verbleibenden Einblendestrategien im selben Rankingverfahren bewertet werden mussten, sind Werte zwischen eins (erster Platz: am beliebtesten) und fünf (fünfter Platz: am unbeliebtesten) möglich. ET-IN wurde sowohl für die Fahraufgabe (ET-IN: 2.46, NET-IN: 3.22) als auch persönlich (ET-IN: 2.63, NET-IN: 3.19) bevorzugt.

Die Ergebnisse des DALI attestieren dem blickgestützten Interaktionskonzept eine signifikant geringere subjektiv wahrgenommene taktile Beanspruchung ($F(1,24)=18.619$, $p<.01$). Die restlichen DALI-Dimensionen (visuelle und mentale Beanspruchung, Interferenz zur Fahraufgabe und zeitlicher Druck) unterscheiden sich nicht.

6.4.2 Einblendestrategien

Für die blickgestützte und controllerbasierte Interaktion mit verteilten koordinierten Anwendungen wurden unterschiedliche Einblendestrategien entworfen. Der blickgestützte Ansatz ET-IN blendet die Informationen bei jeglicher Art der Interaktion im HUD ein, sofern der Fahrer gleichzeitig auf das HUD blickt. Bei der Variante ET-RD wird der Rändeldruck mit dem Blick auf das HUD als Auslöser für das Einblenden der Informationen kombiniert. Eine direkte Blickgeste vom Kombi auf das HUD blendet bei dem ET-BG-System die Informationen im HUD ein. Die HUD-Inhalte der controllerbasierten Konzepte werden einerseits bei jedem Interaktionsvorgang (NET-IN analog zu ET-IN) und andererseits bei einem Scrollvorgang mit dem Rändelrad (NET-SC) dargestellt.

Der Vergleich der Einblendestrategien findet abhängig von dem Bedienkonzept statt (ET oder NET). Da sich die Einblendestrategien, wie eingangs angenommen, nicht in der Blickzuwendung, Fahrleistung und Bediengeschwindigkeit unterscheiden, wird auf diese Ergebnisse nicht eingegangen und auf Hoyer verwiesen [47].

Die Einblendestrategie hat einen signifikanten Haupteffekt auf die Blickstrategien. Sowohl die blickgestützten (Interaktion, Blickgeste, Rändeldruck) ($F(1,519, 36.455)=10.586$, $p<.01$) als auch die controllerbasierten Varianten (Interaktion, Scrollen) ($F(1,23)=13.456$, $p<.01$) unterscheiden sich signifikant. Dabei führten die Probanden signifikant mehr direkte Blickwechsel zwischen den Displays durch, wenn die HUD-Inhalte implizit eingeblendet werden (ET-IN und NET-IN) (siehe Abbildung 6.13). $H_{1, Einblenden}$ und $H_{3, Einblenden}$ werden folglich bestätigt. Die Hypothese $H_{2, Einblenden}$ kann nur in Bezug auf ET-RD bestätigt werden. Die deskriptive Statistik der erhobenen Daten ist im Anhang, Abbildung A.17, zu finden.

6.4.3 Displayverbände

Blickstrategien Der Vergleich der Blickstrategie weist einen signifikanten Haupteffekt auf ($F(2,50)=4.754$, $p=.013$). Die Anwender führten mit dem IC-HUD-Prototypen mehr direkte Blickwechsel zwischen den Anzeigeorten durch, ohne dazwischen in die Fahrscene zu blicken, als mit dem CID-HUD-Prototypen ($p=.026$). Tendenziell mehr direkte Blickwechsel wurden mit dem IC-HUD- als mit dem CID-IC-Prototypen beobachtet ($p=.067$) (siehe Abbildung 6.14). $H_{1, Displays}$ wird demzufolge abgelehnt, da sich die Interaktion mit dem CID-IC-System nicht wie

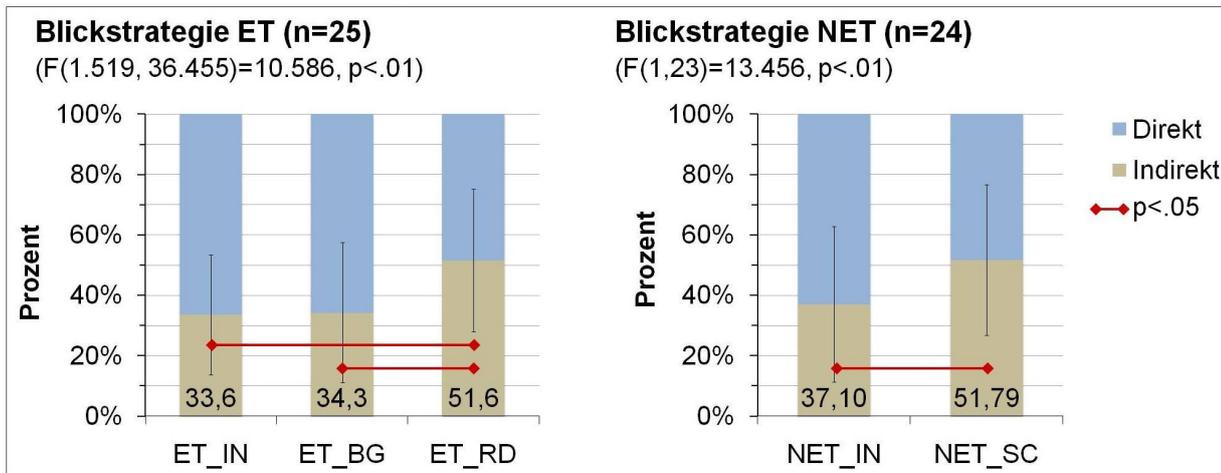


Abbildung 6.13: Blickstrategien bei den Einblendestrategien der blickgestützten und controllerbasierten Interaktionskonzepte.

angenommen von den HUD-Varianten unterscheidet. Mit dem CID als Teil des Displayverbundes wurden sogar weniger direkte Blickwechsel durchgeführt.

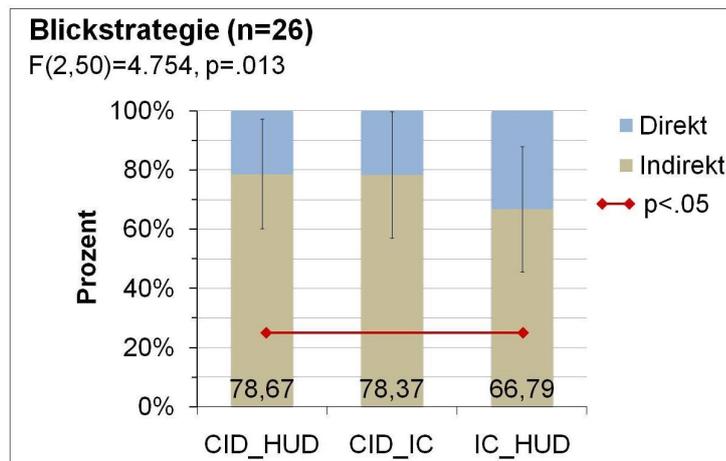


Abbildung 6.14: Blickstrategie der Probanden bei den unterschiedlichen Displayverbänden.

Blickzeiten Bezüglich der durchschnittlichen Blickzeiten auf die Kalenderansicht im CID und Kombi wurde kein signifikanter Haupteffekt zwischen den Varianten CID-IC, CID-HUD und IC-HUD gemessen ($F(1,093, 10.926)=2.282, p=.150$). Ebenso wenig weist die Blickanzahl ($F(1,207, 12.068)=2.612, p=.129$), kumulierte Blickdauer ($F(1,159, 11.592)=0.035, p=.887$) und das 85-Perzentil ($F(1,218, 12.184)=1.672, p=.224$) signifikante Unterschiede auf.

Während der Interaktion mit der Terminansicht im Kombi und HUD blickten die Probanden in Summe signifikant länger ($F(2, 20)=6.968, p<.01$) mit dem CID-HUD-Prototypen auf das HUD als bei der CID-IC-Variante ($p=.038$) auf das Kombi. Die kumulierte Blickdauer auf die

Terminansicht im HUD bei dem IC-HUD-Prototypen unterscheidet sich nicht von den Varianten CID-HUD ($p=.130$) und CID-IC ($p=.576$). Ein signifikanter Haupteffekt des Displayverbundes wurde auf die maximalen Blickzeiten auf das Kombi und HUD festgestellt ($F(2, 20)=6.757$, $p<.01$). Dabei wurden signifikant kürzere maximale Blickzeiten auf das Kombi gemessen als auf das HUD (CID-HUD: $p=.027$, IC-HUD: $p<.01$) (siehe Abbildung 6.15). Die durchschnittlichen

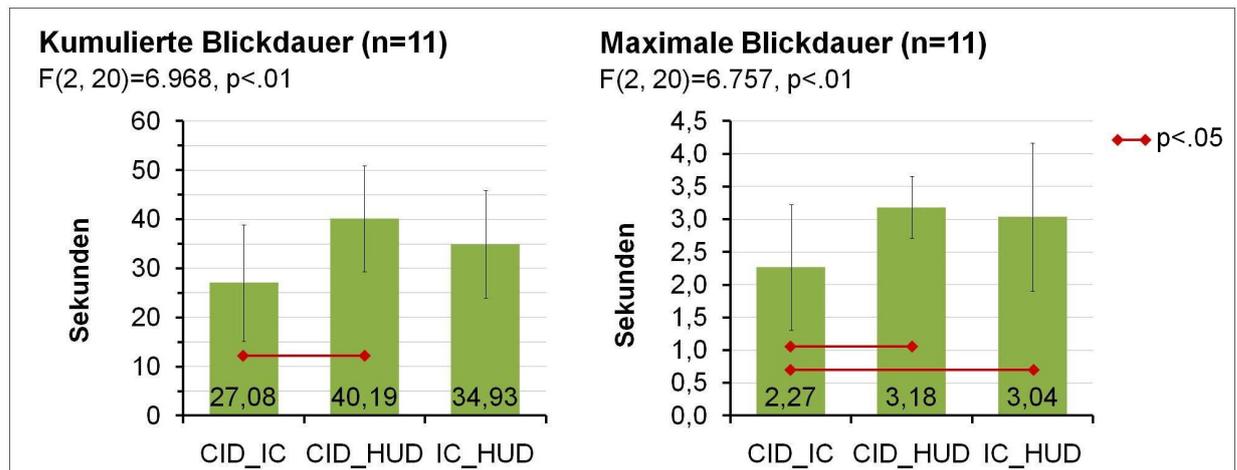


Abbildung 6.15: Kumulierte und maximale Blickdauer auf die Terminansicht im Kombi beziehungsweise HUD.

Blickzeiten ($F(1.641, 16.406)=1.183$, $p=.322$) und das 85-Prozent-Perzentil ($F(1.392, 13.919) = 2.954$, $p=.484$) auf das Kombi und HUD unterscheiden sich nicht. $H_{2,Displays}$ muss also abgelehnt werden, da der Displayverbund CID-HUD keine längeren Blickzeiten verursacht. Der Unterschied der Blickzeiten ist auf die einzelnen Anzeigorte und nicht auf den Displayverbund zurückzuführen.

Die Analyse der kumulierten Blickzeiten in beide Anzeigorte der Displayverbände zeigt einen signifikanten Haupteffekt ($F(3,24)=3.877$, $p=.022$). Aufgrund der geringen Stichprobe, die auf die Erkennungsrate des Dikablis Eye-Trackers zurückzuführen ist, ergeben die paarweisen Vergleiche keine signifikanten Unterschiede (siehe Abbildung 6.16).

Bei der Betrachtung der Blickanzahl wird ein signifikanter Haupteffekt durch die Displayverbände sichtbar ($F(3,27)=3.489$, $p=.029$). Allerdings zeigen auch hier die paarweisen Vergleiche, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Displaykombinationen besteht (siehe Abbildung 6.16).

Fahrleistung Anstatt der TTC wird im Folgenden die SDV betrachtet, da aufgrund einer fehlerhaften Fahrsimulation der Abstand zum Vorderfahrzeug nicht aufgezeichnet wurde. Als Indikator für die Qualität der Längsführung erlaubt die SDV jedoch die gleichen Rückschlüsse wie die TTC. Die unterschiedlichen Displayverbände haben keinen signifikanten Einfluss auf die Längsführung ($F(2, 52)=.205$, $p=.772$).

Hinsichtlich der SDLP wurde ein signifikanter Haupteffekt festgestellt ($F(2, 52)=3.576$, $p=.035$). Die Interaktion mit dem Displayverbund CID-IC (SDLP $M=2.8$) bewirkt die größte

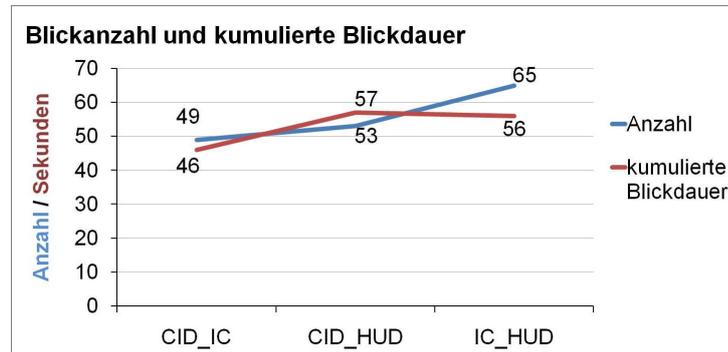


Abbildung 6.16: Anzahl der Blicke und kumulierte Blickdauer in beide Anzeigeorte der Displayverbände.

Querführungsabweichung von der Ideallinie. Die paarweisen Vergleiche zeigen einen signifikanten Unterschied zu der Variante CID-HUD (SDLP $M=2.4$, $p=.03$). Der Unterschied zur Displaykombination IC-HUD ist nicht signifikant (SDLP $M=2.5$, $p=.229$). $H_{3,Displays}$ kann also nur für das CID-HUD-System bestätigt werden, da das CID-IC-System in einer schlechteren Querführung resultiert.

Bedienzeiten Die Bedienzeiten der unterschiedlichen Displayverbände unterscheiden sich nicht ($F(2,53)=1.61E8$, $p=.674$). Allerdings wurden signifikante Unterschiede in der Anzahl der Bedienschritte gemessen ($F(2,52)=13.990$, $p<.01$). Während der Interaktion mit der Displaykombination CID-IC werden signifikant mehr Bedienschritte benötigt als bei CID-HUD ($p<.01$) und IC-HUD ($p<.01$) (siehe Abbildung 6.17). $H_{4,Displays}$ wird demzufolge abgelehnt.

Die deskriptive Statistik der diskutierten Ergebnisse ist Abbildung A.16 im Anhang zu entnehmen.

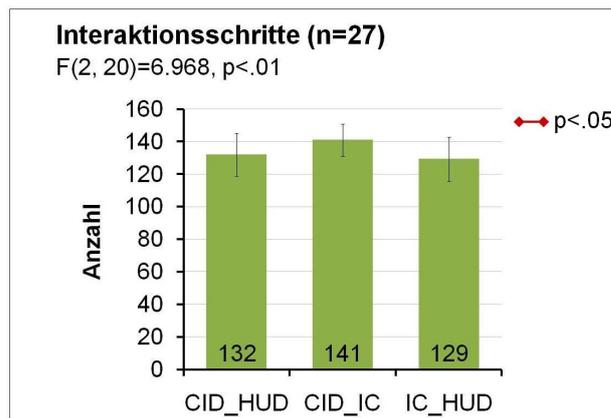


Abbildung 6.17: Anzahl der Bedienschritte bei der Interaktion mit den Displayverbänden.

Subjektive Ergebnisse Die subjektiven Nutzerpräferenzen wurden durch ein Rankingverfahren ermittelt. Die Teilnehmer bewerteten am Ende des ersten Versuchsblockes zum einen die

Displayverbände in Bezug auf ihre Verträglichkeit mit der Fahraufgabe. Zum anderen gaben sie ihre persönlichen Präferenzen an. Die subjektive Bewertung der Systeme fiel für beide Fragen annähernd gleich aus. Es konnten jeweils signifikante Haupteffekte gefunden werden: Fahraufgabe: $F(3,78)=28.717$, $p<.01$; persönlich: $F(3,78)=30.411$, $p<.01$. Dabei wurde der IC-HUD (ca. 1.7) dem CID-HUD Displayverbund (ca. 2.5) vorgezogen. An letzter Stelle wurde die Kombination CID-IC (ca. 3.8) genannt. Ähnlich wurde der DALI für die relevanten Dimensionen (visuelle, kognitive Beanspruchung, Interferenz zur Fahraufgabe und zeitlicher Druck) beantwortet (siehe Hoyer [47]). Folglich wird $H_{5,Displays}$ bestätigt.

6.5 Ergebnisdiskussion

Ein blickgestütztes Interaktionskonzept wurde mit einem optimierten controllerbasierten Konzept verglichen. Die Gegenüberstellung zeigt, inwiefern sich der Blick als zusätzliche Modalität implizit oder explizit für die Interaktion mit verteilten Anwendungen eignet, ohne das Blickverhalten negativ zu beeinflussen. Des Weiteren wurden die Auswirkungen auf die Bedienzeiten und die Fahrleistung ermittelt.

Da Informationen im HUD nicht permanent dargestellt werden können, wurden verschiedene Einblendestrategien von HUD-Inhalten entwickelt. In den Studien wurde geklärt, welche Strategie für die Fahraufgabe geeignet ist.

Die Evaluierung verteilter koordinierter Anwendungen im Fahrerinteraktionsraum veranschaulicht, wie sich die möglichen Displayverbände auf das Blick-, Bedien- und Fahrverhalten auswirken. Dafür wurde eine Kalenderanwendung umgesetzt. Auf den Anzeigeeorten Kombi beziehungsweise CID wurde die Monatsansicht dargestellt sowie im HUD beziehungsweise Kombi die Termindetails. Die daraus resultierenden Displaykombinationen CID-HUD, CID-IC und IC-HUD wurden in einer Fahrsimulatorstudie untersucht und von den Probanden bewertet.

6.5.1 Interaktionskonzepte

Der Vergleich zwischen blickgestütztem und controllerbasiertem Interaktionskonzept zeigt keine Auswirkungen auf die Blickstrategie und das Blickverhalten. Ebenso wenig konnten negative Effekte auf die Fahrleistung gemessen werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Blick erfolgreich als implizite Zusatzmodalität eingesetzt werden kann. Das natürliche Blickverhalten wird dabei nicht beeinträchtigt.

Das blickgestützte (ET-IN) und das controllerbasierte (NET-IN) System unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Bedienzeiten. Die Aufgabenbearbeitung dauert mit dem ET-IN- ca. 16 Sekunden länger als mit dem NET-IN-System. Da sich weder die kumulierte Blickdauer, die Anzahl der Blicke auf beide Anzeigeeorte (HUD, Kombi) und die Anzahl der Bedienschritte unterscheiden, kann diese Differenz ausschließlich auf das Bedienverhalten mit dem blickgestützten System zurückgeführt werden.

Während der gesamten Bearbeitungsdauer blickten die Anwender zu 56 Prozent mit dem NET-IN- und zu 51 Prozent mit dem ET-IN-System in die Fahrszene. Daraus geht hervor, dass sich die Anwender mehr Zeit für die blickgestützte Interaktion nehmen. Dies wird sowohl auf

die Neuartigkeit des Systems als auch auf die vorsichtigeren Blickzuwendung zurückgeführt. Die Bezeichnung "vorsichtigeren Blickzuwendung" bedeutet, dass sich der Nutzer über die Bedeutung der Blickzu- und Blickabwendung bewusst ist, da jeder Blick gleichzeitig einen impliziten Bedienschnitt evoziert. Insofern lässt er sich mehr Zeit zwischen den Bedienhandlungen. Um beurteilen zu können, inwiefern sich dieses Bedienverhalten positiv auf die Fahraufgabe auswirkt, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Die verwendete Evaluierungsmethode (AAM-Folgefahrt) eignet sich nicht, diese Frage zu beantworten. Der *Peripheral Detection Task* (PDT) könnte weitere Aufschlüsse zulassen, da dieser sensibler auf die kognitive und visuelle Ablenkung von der Fahraufgabe reagiert.

Fragestellungsübergreifend ist der hohe Anteil an direkten Blickwechseln zwischen den Displays bei den Systemen NET-IN und ET-IN im Vergleich zur Kalenderanwendung augenscheinlich. Durchschnittlich wurden bei der Interaktion mit der Kalenderanwendung zu 26 Prozent direkte Blickwechsel zwischen den Displays durchgeführt, ohne einen Kontrollblick in die Fahrszene zu tätigen. Bei der Aufteilung der Hierarchieebenen wurde zu 65 Prozent vom Kombi direkt auf das HUD geblickt.

Bei der genaueren Analyse des Blickverhaltens wird eine annähernd gleiche Anzahl an Blicken auf das Kombi pro Aufgabe (ca. 1,6 Mal) deutlich. Die durchschnittlichen Blickzeiten auf das Kombi bei der Bedienung der Kalenderanwendung ($M = 0,77$ Sekunden) liegen 12,5 Prozent unter den Blickzeiten der Hierarchieverteilung (0,88 Sekunden). Somit ist die Aufgabenbearbeitung im Kombi scheinbar mit einem ähnlichen Aufwand verbunden, obwohl die Anwender lediglich einen Eintrag aus einer Liste, die aus fünf Elementen besteht, auswählen.

Auf das HUD wird bei der Kalenderanwendung durchschnittlich 3 Mal und bei der Hierarchieverteilung 3,8 Mal geblickt. Die durchschnittlichen Blickzeiten auf das HUD unterscheiden sich ebenso deutlich mit 1,1 Sekunden bei der Kalenderanwendung und 1,3 Sekunden bei der Hierarchieverteilung. Es findet also ein größerer Teil der Aufgabenbearbeitung im HUD statt. Daraus wird geschlussfolgert, dass mehr kurze Kontrollblicke auf das Kombi durchgeführt werden und direkt im Anschluss die Interaktion im HUD fortgesetzt wird, ohne davor auf die Straße zu blicken. Der höhere Anteil an direkten Blickwechseln bei der Hierarchieaufteilung kann also auf den Umfang der Aufgabenbearbeitung auf den einzelnen Displays zurückgeführt werden. Die Fahraufgabe wird dadurch nicht negativ beeinträchtigt.

6.5.2 Einblendestrategien

Die expliziten (ET-RD, ET-BG, NET-SC) und impliziten (ET-IN, NET-IN) Einblendestrategien für das blickgestützte und controllerbasierte Bedienkonzept haben keinen Einfluss auf die Blickdauer, Fahrleistung und Bedienzeiten. Allerdings wurden unterschiedliche Blickstrategien beobachtet. Die Anwender blickten signifikant häufiger mit den expliziten Varianten ET-RD und NET-SC (ca. 50 Prozent) direkt vom Kombi in die Fahrszene als mit den impliziten Varianten ET-IN und NET-IN (ca. 35 Prozent).

Dieses Blickverhalten lässt sich mit den nicht vorhandenen HUD-Inhalten erklären. Nachdem der Bedienvorgang im Kombi abgeschlossen wurde, sind die Informationen im HUD vorerst nicht sichtbar. Erst nachdem eine explizite Bedienhandlung durchgeführt wird, werden diese dargestellt. Somit ist das Einblenden der Informationen mit mehr Aufwand verbunden und würde

längere Blickabwendungszeiten von der Fahrszene provozieren. Die Anwender blicken deshalb auf die Fahrszene, bevor sie die Interaktion im HUD fortsetzen. Die subjektiv wahrgenommene Unsicherheit wirkt sich also positiv auf die objektive Sicherheit in Form der Blickstrategie aus. Auf die Fahrleistung wurde keine Auswirkung der Einblendestrategien gemessen. Das deutet auf eine erfolge Kompensation der Ablenkung durch die Nebenaufgabe hin.

6.5.3 Displayverbund

Die unterschiedlichen Displayverbände haben einen Einfluss auf die Blickstrategie der Benutzer. Die Analyse zeigt, dass die Anwender mit den Kombinationen CID-HUD und CID-IC häufiger zwischen dem Wechsel von einem zum anderen Display in die Fahrszene blicken als mit der IC-HUD-Kombination. Die Unterbrechung wird demnach öfter für einen Kontrollblick auf die Fahrszene genutzt.

Wie in Kapitel 4 gezeigt, geht vom CID ein stärkeres subjektives Unsicherheitsgefühl aus als vom Kombi und HUD. Um dies zu kompensieren, werden kürzere Blicke auf das CID getätigt. Dieser Effekt, so wird gefolgert, führt bei den Displayverbänden dazu, dass mehr Kontrollblicke auf die Fahrszene durchgeführt werden, obwohl der Blick auf die Straße bei der CID-IC-Variante mit mehr Aufwand einhergeht (Abstand zur Fahrszene).

In Summe blicken die Probanden kürzer und weniger oft unter Verwendung der CID-IC-Verteilung in die Anzeigeorte. Am häufigsten wurde mit dem IC-HUD-System auf die Displays geblickt. Dieses Blickverhalten ist auf die einzelnen Displays zurückzuführen, da sie den Resultaten von Kapitel 4 entsprechen. Die Displaykombination hat keinen Einfluss auf die Blickdauer.

Die geringere Blickzuwendung bei der Interaktion mit dem CID-IC-Verbund kann durch einen höheren Anteil an Blindbedienung mit diesem System erklärt werden. Die Anwender sind sich der visuellen Ablenkung bewusst und reduzieren deshalb die Blickzuwendung. Eine größere Anzahl an Bedienfehlern (Überscrollen von Einträgen) untermauert diesen Schluss.

Trotz der kürzeren kumulierten Blickdauer, geringeren Anzahl an Blicken und dem höheren Anteil an Blindbedienung resultiert die Displaykombination CID-IC in einer schlechteren Fahrleistung (SDLP) als das CID-HUD- und IC-HUD-System. CID-HUD und IC-HUD unterscheiden sich bezüglich der Fahrleistung nicht, obwohl mehr indirekte Blickwechsel mit dem CID-HUD-Verbund durchgeführt wurden. Wie groß der Einfluss der Blickstrategie tatsächlich ist, kann daraus nicht abgeleitet werden. Offenbar gelang es den Probanden nicht, die von der Nebenaufgabe ausgehende visuelle Ablenkung unter der Verwendung von Kombi und CID zu kompensieren.

Des Weiteren bevorzugten die Versuchsteilnehmer die Displaykombination IC-HUD- gegenüber der CID-HUD- und die CID-HUD- gegenüber der CID-IC-Variante für die Fahraufgabe. Dass sich die Displayverbände IC-HUD und CID-HUD besser für den Einsatz im Fahrzeug eignen als der CID-IC-Verbund, wird sowohl subjektiv wahrgenommen als auch objektiv belegt.

6.6 Fazit

Der Blick als zusätzliche Modalität kann die Interaktion mit dem verteilten Fahrerinteraktionsraum erleichtern. Der Bedienfokus ist für die Anwender leichter erkennbar als mit dem control-

lerbasierten System, wie die Resultate des Vorversuchs zeigen (5 bedeutet starke Zustimmung: 4.38 blickgestütztes System, 3.35 controllerbasiertes System, 3.1 proaktiver Fokuswechsel aus Kapitel 5). Der in Kapitel 5 identifizierte Herausforderung konnte erfolgreich begegnet werden. Das blickgestützte System führt zu kürzeren Bedienzeiten und steigert die Attraktivität.

Basierend auf dem Vorversuch wurde der controllerbasierte Ansatz weiterentwickelt und ein weiteres Bedienelement hinzugefügt. So konnte jedem Anzeigeort ein eindeutiges Bedienelement zugeordnet werden. Ein Fokuswechsel des Eingabemediums wird dadurch hinfällig. Der Vergleich mit dem blickgestützten Interaktionskonzept deutet auf kürzere Bedienzeiten des controllerbasierten Ansatzes hin. Die kumulierten Blickzeiten und die Anzahl der Bedienschritte unterscheiden sich nicht. Die implizite Verwendung des Blickes als zusätzliche Modalität wirkt sich weder auf das Blickverhalten noch auf die Fahrleistung negativ aus. Eine genauere Analyse der Blick- und Fahrdaten zeigt, dass sich die Probanden mit dem blickbasierten System mehr Zeit für die Interaktion nehmen. Daraus wird eine bessere Eignung des visuell-attentiven Bedienkonzeptes für die Fahraufgabe vermutet. Durch die subjektive Meinung der Versuchspersonen wird dies bestätigt.

Displayverbände aus einem HDD und einem HUD eignen sich besser für die Verteilung von Informationen als ein Displayverbund aus zwei HDDs. Belegt wird dies durch die schlechtere Fahrleistung und mehr Bedienschritten bei der Interaktion mit dem CID-Kombi-Verbund. Obwohl die Blickzeiten unter Verwendung zweier HDDs geringer ausfallen und ein höherer Anteil an Blindbedienung stattfindet, bevorzugen die Versuchsteilnehmer eine Kombination mit dem HUD. Am häufigsten wurde der Kombi-HUD-Verbund als beliebtestes System genannt.

Die unterschiedlichen Einblendestrategien beeinflussen, wie gezeigt werden konnte, das Blickverhalten der Anwender. Eine explizite Bedienhandlung zum Einblenden der HUD-Informationen hat verglichen mit der impliziten Variante positive Auswirkungen auf das Blickverhalten der Probanden. Unabhängig vom Bedienkonzept blickten die Teilnehmer öfter vom Kombi in die Fahrszene, bevor sie im HUD die Bedienung fortsetzten.

Zudem wurde von den Versuchsteilnehmern die Informationsverteilung nicht hinterfragt. Die gewählten Anwendungen (eine Kalenderapplikation und die Aufteilung von Hierarchieebenen) beurteilten die Probanden als sinnvoll. Die in Kapitel 5 geäußerten Zweifel wurden somit nicht belegt.

Resümee und Ausblick

7.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Der wissenschaftliche Beitrag der vorliegenden Arbeit findet auf zwei Ebenen statt: Zum einen wird die Grundlage des verteilten Fahrerinteraktionsraumes geschaffen, zum anderen wurden Konzepte zur Anzeige und Bedienung verteilter Informationen entwickelt. Die dazu erarbeiteten Forschungsfragen (siehe Abschnitt 3.5) gilt es im Folgenden zu beantworten.

7.1.1 Grundlagen

Wie wirkt sich die Menüpräsentation auf den *Anzeigeorten* im Fahrzeug unter Berücksichtigung der *Menüstruktur* und des *Informationsumfanges* auf die Fahr- und Nebenaufgabe aus?

Anzeigeorte Die Informationspräsentation von langen interaktiven Listen im HUD verursacht mit den vorgestellten Interaktionskonzepten einen höheren visuellen Aufwand als im Kombi und CID. Die Verletzung des AAM-Grenzwertes des 85-Prozent-Perzentiles weist zunächst darauf hin, dass sich dieser Anzeigeort nicht für die Darstellung langer Listen eignet. Trotzdem konnte die Fahrleistung verbessert und eine schnellere Aufgabenbearbeitung gemessen werden. Die Informationspräsentation im HUD wirkt sich somit positiv auf die Neben- und Fahraufgabe aus, obwohl von diesem Anzeigeort eine höhere visuelle Beanspruchung ausgeht. Subjektiv ziehen die Probanden das HUD dem Kombi und CID vor. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die Messgröße des 85-Prozent-Perzentiles nicht für das HUD eignet. Die besonderen Eigenschaften dieses Anzeigeorte (Nähe zur Fahraufgabe) werden nicht berücksichtigt, da der AAM-Grenzwert für HDDs bestimmt ist.

Der vom Kombi ausgehende visuelle Aufwand und somit auch das 85-Prozent-Perzentil liegt zwischen dem des HUD und dem des CID. Der AAM-Grenzwert wird nicht überschritten. Da ei-

ne tendenziell bessere Fahrleistung mit dem Kombi als mit dem CID ermittelt wurde, kann dieser Anzeigeort für die Präsentation interaktiver Informationen empfohlen werden. Hinsichtlich der Bedienzeiten unterscheidet sich das Kombi weder vom HUD noch vom CID. Die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung ist geringer als die des CID und höher als die des HUD. Gegenüber dem CID wird dieser Anzeigeort von den Anwendern bevorzugt.

Von allen Anzeigeorten wurden auf das CID die geringste Blickzeit und Blickanzahl gemessen. Die kumulierte Blickdauer fällt somit kürzer aus als die auf das HUD und Kombi. Die längeren Bearbeitungszeiten der Nebenaufgabe lassen einen höheren Anteil an Blindbedienung vermuten. Die Fahrleistung wird nicht verbessert. Da die geringste visuelle Ablenkung, längsten Bedienzeiten und eine subjektiv höhere Beanspruchung vom CID ausgehen, wird angenommen, dass dieser Anzeigeort die höchste kognitive Belastung verursacht.

Menüstruktur Die Menüstruktur adressiert in dieser Arbeit die Anzahl der Hierarchieebenen. Es wurden Menüs mit einer Tiefe von einer Ebene, zwei und vier Ebenen evaluiert. Die geringste visuelle Ablenkung wurde bei vier Menüebenen gemessen. Vier Ebenen verursachen kürzere, dafür mehr Blicke. Dieses Ergebnis verhält sich für alle Anzeigeorte gleich. Es treten keine Interaktionseffekte zwischen Menütiefe und Display bezüglich aller gemessenen Variablen auf. Mit den in dieser Arbeit untersuchten Konzepten und Inhalten reduziert sich das 85-Prozent-Perzentil in das HUD um 0,3 auf 2,07 Sekunden und liegt nur mehr leicht über dem AAM-Grenzwert. Subjektiv wird von den Benutzern kein Unterschied zwischen einer tiefen und einer breiten Menüstruktur wahrgenommen. Für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Informationen kann festgehalten werden, dass tiefe Menüs breiten vorzuziehen sind.

Informationsumfang Der Informationsumfang beschreibt die auf einer Seite gleichzeitig sichtbaren Listeneinträge. Die Gegenüberstellung von drei, fünf und sieben sichtbaren Elementen hat keine Auswirkungen auf das Blickverhalten der Anwender. Es wurden jedoch mehr Blicke und eine höhere kumulierte Blickdauer mit weniger sichtbaren Listeneinträgen gemessen. Ein Trend hin zu kürzeren Bedienzeiten bei sieben Elementen zeigt, dass die Teilnehmer mehr Informationen mit weniger Blickaufwand aufnehmen können, ohne von der Fahraufgabe abgelenkt zu werden. Sieben Einträge eignen sich für die evaluierten Informationen besser für die Fahraufgabe als drei und fünf. Auch dieses Ergebnis wird nicht durch den Anzeigeort beeinflusst.

Wie wirkt sich das *Bedienelement* und das Zusammenspiel zwischen Bedienelement und Anzeigeort auf die Fahr- und Nebenaufgabe aus?

Bedienelemente Für alle Anzeigeorte wurde die Interaktion mit dem MFL und ZBE überprüft. Die Resultate zeigen keine Auswirkungen auf das Blick- und Fahrverhalten. Die Nebenaufgabe absolvierten die Benutzer schneller mit dem Controller. Zwischen dem Anzeigeort und den Bedienelementen wurden keine Interaktionseffekte festgestellt. Für die untersuchten Anwendungen eignet sich somit der Controller besser für die Fahraufgabe als das MFL unabhängig vom Anzeigeort. Des Weiteren wird von den Probanden der Ausgabeort der Informationen höher priorisiert als das Eingabemedium, wobei sie den Controller bevorzugen. Ein optimaler Ausgabeort ist für die Anwender demnach wichtiger als das Eingabemedium, so kann angenommen werden.

7.1.2 Konzepte zur Anzeige und Bedienung verteilter Informationen

Wie können Anwendungen auf unterschiedliche Displays im Fahrzeug aufgeteilt werden, um den Fahrer bei der Durchführung der Fahr- und Nebenaufgabe zu unterstützen?

Verteilte koordinierte Anzeigen In Kapitel 5 wurden verschiedene Konzepte zur Informationsverteilung vorgestellt. Zwei verteilte koordinierte Konzepte wurden einem unkoordinierten gegenübergestellt. Das Blickverhalten der Probanden wird durch die verteilten koordinierten Anwendungen positiv beeinflusst. Es wurden kürzere Blicke auf die Anzeigeorte gemessen und das 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten in das HUD auf unter 2 Sekunden gesenkt. Verglichen mit dem Blickverhalten bei der Bedienung unkoordinierter Anwendungen blickten die Anwender insgesamt öfter in die Fahrszene.

Besonderes Augenmerk ist allerdings auf die subjektiven Ergebnisse zu legen. Die Anwender bevorzugen die unkoordinierten Konzepte gegenüber den in Kapitel 5 entworfenen, verteilten koordinierten Konzepten. Als eine Hauptursache dafür wurde die Wiederaufnahme der Bedienung nach der Unterbrechung durch die Fahraufgabe mit den verteilten koordinierten Systemen identifiziert. Den Anwendern ist nicht auf Anhieb bewusst, in welchem Display die relevanten Informationen zu finden sind. Es wird deshalb empfohlen, dass bereits logisch getrennte Informationseinheiten verteilt oder unterschiedliche Visualisierungsformen für unterschiedliche Anzeigeorte gewählt werden. Beispiele dafür sind die Aufteilung von Hierarchieebenen (logisch getrennte Einheiten) und die Kalenderanwendung (Grid-Layout im Kombi, Liste im HUD), die in Kapitel 6 erarbeitet wurden.

Displayverbund Die Informationsverteilung auf das Kombi und HUD eignet sich am besten für die Fahraufgabe, wie die Gegenüberstellung der Displayverbände CID-IC, CID-HUD und IC-HUD zeigt. Die Anwender produzieren mit dieser Variante die beste Fahrleistung. Auf die Bedienleistung hat der Displayverbund keinen Einfluss. Den größten Anteil an Blindbedienung verursacht die Kombination der HDDs (CID und Kombi). Allerdings werden dadurch mehr Bedienfehler verursacht. Subjektiv bevorzugen die Probanden den IC-HUD-Verbund. Diese Unterschiede sind auf die Eigenschaften der kombinierten Anzeigeorte zurückzuführen. Der Displayverbund hat lediglich Auswirkungen auf die Blickstrategie. Es wird öfter in die Fahrszene geblickt, wenn das CID Teil des Verbundes ist. Vorteile dieser Verbände ergeben sich daraus nicht (siehe Kapitel 6).

Einblendestrategien Um eine permanente Überdeckung der Fahrszene und die visuelle Ablenkung zu vermeiden, sollten die HUD-Inhalte ausgeblendet werden. Wenn der Nutzer die Information benötigt, muss sie eingeblendet werden. Dies kann implizit (abhängig vom Bedienkontext oder dem Blick des Anwenders) oder explizit (konkrete Bedienhandlung gegebenenfalls in Kombination mit dem Blick) erfolgen. Die expliziten Systeme werden als geeigneter für die Fahraufgabe bewertet. Die Anwender blicken öfter in die Fahrszene, da die HUD-Inhalte beim Displaywechsel noch nicht sichtbar sind. Unterschiede im Blickverhalten, der Fahr- und Bedienleistung wurden nicht gemessen (siehe Kapitel 6).

Wie kann die Interaktion mit dem verteilten Fahrerinteraktionsraum angemessen für die Fahraufgabe gestaltet werden?

Interaktion mit verteilten Informationen Bei der Umsetzung eines gesamtheitlichen verteilten Fahrerinteraktionsraumes werden an die Bedienung der Anzeigeorte besondere Anforderungen gestellt. Auf allen drei Anzeigeorten werden interaktive Informationen dargestellt, weshalb neuartige Bedienkonzepte benötigt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden vier Konzeptvarianten entwickelt und untersucht, um den Bedienfokus des Eingabemediums zu steuern: (1) proaktiv (2) nutzerinitiiert (3) blickgestützt (4) 1:1-Zuordnung von Bedienelement und Anzeigeort.

Ein systemgesteuerter Fokuswechsel des Bedienelementes bei verteilten koordinierten Anwendungen führt dazu, dass der Anwender nach einer Bedienunterbrechung durch die Fahraufgabe das aktive Display suchen muss. Die Interaktion ist dadurch mit einem höheren kognitiven Aufwand verbunden. Die Bedienzeiten fallen für dieses System länger aus. Bei einem nutzerinitiierten expliziten Fokuswechsel wird zwar der Bedienfokus für den Anwender deutlich, allerdings geht der Wechsel des Eingabemediums mit zusätzlichem taktilen und visuellen Aufwand einher. Durch den impliziten Fokuswechsel basierend auf einer visuell-attentiven Benutzeroberfläche konnten verglichen mit dem expliziten Fokuswechsel die Bedienzeiten verkürzt und die Fahrleistung verbessert werden. Eine weitere Performanzsteigerung bei der Bedienung der Nebenaufgabe ergeben sich durch eine 1:1-Zuordnung zwischen Bedienelement und Anzeigeort. Die Anwender absolvierten die Nebenaufgabe schneller. Allerdings werden keine Unterschiede zum blickgestützten Fokuswechsel bezüglich der Fahrleistung und den Blickdaten gemessen. Mit dem blickgestützten System blicken die Probanden anteilig mehr in die Fahrszene. Sowohl das blickgestützte System als auch die 1:1-Zuordnung eignen sich demnach für die Fahraufgabe.

Individualisierung der Anzeigeorte Die Individualisierung bewerteten die Anwender durchwegs positiv. Eine Anpassung der Anzeigeorte würde ausschließlich im Stand vorgenommen werden, so die Aussage der Probanden.

7.2 Diskussion

Diese Arbeit legt die Grundlage für einen verteilten Fahrerinteraktionsraum. Es werden erstmals alle Anzeigeorte zur Präsentation interaktiver Informationen einander gegenübergestellt. Ferner stellt sie gesamtheitliche Konzepte und damit einhergehenden Fragestellungen und Lösungsansätze bezüglich der Bedienung und Verteilung von Informationen vor.

Durch die vorgestellten Konzepte kann der Fahrzeuginnenraum aufgaben- und bedürfnisorientiert adaptiert werden. Die für den Anwender relevanten Funktionen des FIS rücken somit näher an die Fahraufgabe. Die Trennung zwischen primären, sekundären und tertiären Funktionen wird weiter aufgeweicht.

Eine Anforderung der automobilen Mensch-Maschine-Schnittstelle ist, die Fahrerablenkung so gering wie möglich zu halten. Der zukunftsweisende blickgestützte Ansatz zur Interaktion mit dem verteilten Fahrerinteraktionsraum zeigt, wie die Komplexität der FIS-Bedienung reduziert

werden kann. Alle Displays können mit nur einem Bedienelement kontrolliert werden. Der Fahrerinteraktionsraum ist für solch ein System besonders geeignet, da die Anzeigorte fest verortet sind. Auch der Benutzer nimmt immer eine ähnliche Position ein, was die technische Umsetzung des vorgestellten Systems erleichtert. Ferner muss lediglich die Blickrichtung und nicht der exakte Blickfokus erkannt werden. Die stark variierenden Lichtverhältnisse machen allerdings eine 100-prozentige Blickerkennung in naher Zukunft unwahrscheinlich. Trotzdem muss beachtet werden, dass durch die steigende Systemkomplexität (Blick- und Intentionserkennung) auch die Fehleranfälligkeit steigt. Eine Abweichung vom Blickverhalten der Nutzer zur impliziten Fokussteuerung kann ebenso wenig ausgeschlossen werden. Die Berücksichtigung von Bedienfehlern ist für adaptive Konzepte deshalb unabdingbar [4]. Bei häufiger Fehlererkennung der Nutzerabsicht kann die Fahrerablenkung steigen. Die Kopplung mehrerer unterschiedlicher Intentionserkennung könnte dem vorbeugen.

Eine weitere Herausforderung für die Informationspräsentation auf den Displays im Fahrzeug ergibt sich aus der kleinen Anzeigefläche für die primären und sekundären Funktionen. In der vorliegenden Arbeit wurden die FIS-Inhalte in dem Bereich dargestellt, der üblicherweise für den Drehzahlmesser reserviert ist. Durch eine ständige Weiterentwicklung der FAS werden diese Systeme mehr Raum einnehmen. Um die Integration beider Inhalte direkt vor dem Fahrer zu ermöglichen, werden deshalb Konzepte für das Platzmanagement im Kombi und HUD benötigt. Einen adaptiven Ansatz für HUD-Inhalte schlägt Breisinger [7] vor. Es gilt zu prüfen, ob ähnliche Ansätze auch auf das Kombi übertragbar sind.

Bisher wird das gleiche Informationssystem für den Fahrer und Beifahrer verwendet. Die Optimierung des aktuellen FIS findet allerdings hauptsächlich für den Fahrer statt. Durch diese zunehmende Fahrerorientierung der FIS-Funktionen werden für den Beifahrer alternative Anzeige- und Bedienkonzepte notwendig. Solche Systeme können mehr Freiheiten erlauben und den Fahrer zusätzlich entlasten¹.

Neben der flexibleren Gestaltung der Anzeigorte sollte künftig auch der Funktionsumfang des FIS vom Fahrer angepasst werden können. Durch die steigende Vernetzung des Automobils sind dafür bereits jetzt alle Voraussetzungen gegeben. Der Idee des Appstores² oder Markets³ folgend, könnte jeder Anwender selbst über den Umfang seines FIS entscheiden und den Funktionsumfang auf ein für ihn geeignetes Maß reduzieren.

Die in dieser Arbeit entwickelten Konzepte zeigen, dass MCVs auf räumlich verteilte Anzeigorte nicht ohne weiteres anwendbar sind. Einerseits wird die Bedienung erschwert, da mehrere Eingabemedien oder ein Fokuswechsel des Eingabegerätes notwendig wird. Andererseits können logisch zusammengehörige Informationen zwar auf getrennten Displays dargestellt werden, der Aufwand, von einem Display zu einem anderen zu wechseln, muss für den Anwender jedoch durch einen entsprechenden Nutzen gerechtfertigt werden. Eine Kategorisierung größerer Informationsmengen alleine reicht nicht aus. Der Aufwand (häufiger Wechsel zwischen den Anzeigorten Kombi und HUD) ist größer als der Nutzen (keine Hierarchie, Bedienung im HUD). Unterschiedliche Präsentationsformen einer Information (Kalenderübersicht im CID, Details im HUD) oder die Aufteilung von Hierarchieebenen (Menüpunkte im Kombi, Inhalt im HUD) recht-

¹http://www.cooper.com/journal/2010/06/making_sense_of_automotive_uis.html

²www.apple.de/iphone

³<https://market.android.com/?hl=de>

fertigen den Displaywechsel.

7.3 Ausblick

Die Grundlagen und Konzepte zur Interaktion mit und Darstellung von verteilten Informationen eröffnen neue Möglichkeiten der automobilen Mensch-Maschine-Interaktion. Sie legen den Grundstein für eine gesamtheitliche Betrachtung des Fahrerinteraktionsraumes.

Neben listenbasierten FIS-Inhalten muss allerdings überprüft werden, ob sich fahrrelevante Anwendungen und alternative Formen der Informationspräsentation ebenso für die Verteilung im Fahrerinteraktionsraum eignen. Des Weiteren müssen vor der Markteinführung solcher Systeme Feldversuche durchgeführt werden, um alle Sicherheitsrisiken ausschließen zu können. Auch der Berücksichtigung aller FIS-Funktionen und fortschreitenden Weiterentwicklungen der Anzeigeflächen und Bedienelemente im Fahrzeug sollte Rechnung getragen werden.

7.3.1 Weiterführende Untersuchungen

Die verwendeten Evaluierungsmethoden ermöglichen die Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit. Dadurch war es möglich die Anzeigorte und Bedienelemente für das FIS relativ zueinander zu bewerten. Außerdem konnten die Konzepte in einem frühen Entwicklungsstadium abgesichert werden.

Die Untersuchungen fanden allerdings unter Laborbedingungen statt. Um die tatsächliche Auswirkung auf die Fahraufgabe ermessen zu können, müssen weitere Versuchsmethoden angewandt oder Feldversuche konsultiert werden. Die Konzeptbewertung wurde ferner mittels abstrakten Use Cases durchgeführt. Damit konnten Herausforderungen neuartiger Anzeige-/Bedienkonzepte identifiziert und Lösungen erarbeitet werden. Inwiefern diese Konzepte im realen Bedienkontext den Fahrer unterstützen, lässt sich lediglich abschätzen. Um die Konzepte global bewerten zu können, sind Langzeitstudien unter realen Bedingungen notwendig.

7.3.2 Fahrrelevante FIS-Informationen

Ein derzeit prominentes Beispiel für fahrrelevante Informationen, die nicht direkt zur Verkehrssicherheit beitragen, sind Effizienzanzeigen [41] [69]. Im Gegensatz zu listenbasierten Informationen werden diese Anzeigen direkt durch das Fahrverhalten der Fahrer beeinflusst und könnten deshalb die Aufmerksamkeit des Fahrers besonders binden. Zudem können durch sie sicherheitskritische Fahrmanöver provoziert werden [19]. Ein weiteres Beispiel ist die Bedienung der Kartendarstellungen des Navigationssystems. Inwiefern sich diese Informationen auf die Fahrerablenkung im Zusammenhang mit den Anzeigeflächen auswirkt, muss geprüft werden.

7.3.3 Berücksichtigung aller FIS-Anwendungen

Die hier vorgestellten Konzepte konzentrieren sich auf einzelne Funktionen und zeigen das Potenzial verteilter Informationen für ausgewählte Anwendungen. Um eine Integration im Fahrzeug

zu ermöglichen, muss untersucht werden, ob diese Konzepte auf das gesamte FIS übertragbar sind. Es reicht nicht aus einzelne Anwendungen zu betrachten. Eine konsistente Bedienung und Informationsverteilung muss anwendungsübergreifend gegeben sein. Es wird angenommen, dass sich durch reale Use Cases weitere Vorteile des verteilten Fahrerinteraktionsraumes ergeben, da Anwendungen parallel bedient und dargestellt werden können.

7.3.4 Anzeige- und Bedientechnologien

Neben den Anzeigeorten und Bedienelementen für den Fahrer werden immer mehr Unterhaltungs- und Kommunikationsmöglichkeiten für die Beifahrer im PKW verbaut. Da die Beifahrer ihre volle Aufmerksamkeit der Systembedienung zukommen lassen können, kann eine uneingeschränkte Informationspräsentation und Bedienung erfolgen. Einerseits muss darauf geachtet werden, dass dadurch der Fahrer nicht abgelenkt wird. Andererseits kann die ganzheitliche Betrachtung und Vernetzung des Fahrzeuges, aller Insassen und deren interaktive Systeme den Fahrerinteraktionsraum erweitern. Die Beifahrer können den Fahrzeuglenker bei der Durchführung der Nebenaufgabe kollaborativ unterstützen. Beispielsweise könnte die Routenplanung oder Musikauswahl von allen oder einem Insassen übernommen werden. Aber nicht nur Fahrzeugssysteme können einen solchen kollaborativen Fahrzeuginnenraum schaffen, auch eine Erweiterung auf mobile Endgeräte wäre denkbar.

7.3.5 Prototyping-Umgebung

Zur Implementierung der Prototypen wurden bestehende Werkzeuge und Technologien eingesetzt (siehe Abschnitt 2.5). Mit dem FLORIS-Framework war es möglich, auf Fahrdaten aus dem Fahrzeug und Simulator zuzugreifen und in den Flash-Prototypen zu verarbeiten. Zudem wurde die Kommunikation zwischen den getrennten Anzeigen darüber umgesetzt.

Bei der Übertragung der Fahrdaten werden Signale mit bis zu 30 kHz über das verbindungslose UDP versandt. Nur in den wenigsten Fällen ist ein verlustfreier Transfer notwendig. Da alle Signale häufig in einem Paket übermittelt werden, kann es zu Datenverlusten kommen. Signale, bei denen jedes Paket ankommen muss, wurden in der vorliegenden Arbeit mit einer dafür generierten, fortlaufenden Paketnummer versehen, um eine Fehlerbehandlung nach Empfang durchzuführen. Dies musste für jede verteilte Anwendung und jedes Signal passieren. Die Ein- und Ausgabesignale der Bedienelemente wurden ebenso mittels UDP übermittelt. Eine Fehlerbehandlung dieser Signale ist nur in einigen Fällen möglich, da sie häufig nur einmalig versendet werden.

Demzufolge existieren Bediensignale als auch Fahrdaten, die verlustfrei übertragen werden müssen. Das FLORIS-Framework wird dieser Anforderung nicht gerecht. Eine Erweiterung um eine TCP-Schnittstelle kann diese Schwachstelle beheben. Des Weiteren ist eine Trennung von Fahrdaten, Ein- und Ausgabesignalen sinnvoll. Vor allem die Kommunikation zwischen den Anzeigeorten kann dadurch effizienter und fehlerfreier gestaltet werden.

Die in der vorliegenden Arbeit implementierten Prototypen folgen weitestgehend dem MVC-Prinzip auf einem zentralen Rechner. Um drei Anzeigeflächen zu bedienen, werden drei Grafikausgänge eingesetzt. Für die listenbasierten Systeme ist die Performanz eines Rechners ausrei-

chend. Werden jedoch, wie in Abschnitt 7.3.2 beschrieben, komplexe Anzeigen benötigt, stößt diese Architektur an ihrer Grenzen. Die Rechenleistung eines Rechners genügt nicht. Mit dem FLORIS-Framework kann die Anwendung auf unterschiedliche MMI-Rechner verteilt werden. Allerdings muss auf jedem einzelnen Rechner eine FLORIS-Instanz laufen. Ein fehlerfreies zentrales Model und ein zentraler Controller sind dadurch schwierig umzusetzen, da der Datenaustausch über das UDP erfolgt.

Es wird empfohlen, ein netzwerkbasierendes MVC-Modell zu verwenden und nur eine FLORIS-Instanz für alle Anzeigen einzusetzen. Fahrdaten könnten weiterhin über UDP versandt werden. Signale zur Bedienung und Anzeige hingegen können über TCP an die Anzeigerechner verteilt werden. Dadurch wird die Rechenlast auf unterschiedliche Rechner ausgelagert und die Fehleranfälligkeit der Prototypen weiter reduziert.

7.4 Resümee

Diese Arbeit schafft die Voraussetzung für einen verteilten Fahrerinteraktionsraum. Unter Berücksichtigung aller Anzeigeorte und Bedienelemente untersucht sie die Grundlagen der Informationsdarstellung und -bedienung. Das HUD und Kombi wurden in Gegenüberstellung zum CID für die Präsentation interaktiver Informationen abgesichert und die Grenzen aufgezeigt.

Es wurden zukunftsweisende Konzepte zur Informationspräsentation auf und Interaktion mit verschiedenen Displays im Fahrzeug entwickelt und evaluiert. Alle Anzeigeflächen wurden als Einheit betrachtet und unter unterschiedlichen logischen Zusammenhängen bewertet. Die Einschränkung der Informationsverteilung ist, dass die Aufgabenbearbeitung nicht zu häufig unterbrochen werden darf und der Nutzen den Aufwand des Displaywechsels rechtfertigt. Werden diese Rahmenbedingungen beachtet, wird der gesamtheitliche Fahrerinteraktionsraum und dessen Individualisierung von den Anwendern durchwegs positiv angenommen.

Es wurde erstmals der Fahrerinteraktionsraum in seiner Gesamtheit betrachtet und logische Zusammenhänge der Anzeigeorte ausgelotet. Die vorliegende Arbeit schafft Grundlagen und präsentiert Konzepte für die sichere, durchgängige sowie gesamtheitliche Gestaltung der räumlich getrennten Anzeigen und Bedienelemente im Fahrzeug.

Anhang

			HUD	Kombi	CID
Bedienzeit	Total Task Time (sec) F (2, 58) = 9.796, p < .001	M	5,82	6,36	6,71
		SD	1,35	1,38	1,84
Blickdaten	Durchschnittliche Blickdauer (sec) F (1.4,33.605) = 5.691, p=.014	M	1,23	1,04	1,04
		SD	0,32	0,28	0,24
	Maximale Blickdauer (sec) F (2, 48) = 26.716, p<.001	M	4,11	3,01	2,35
		SD	1,34	1,22	0,75
	Kumulierte Blickdauer (sec) F (2,48) = 13.166, p<.001	M	42,29	34,33	32,35
		SD	10,40	10,65	9,19
Blickanzahl F (2,48) = 3.949, p=.026	M	35,62	31,86	30,68	
	SD	7,97	9,76	8,03	
Fahrdaten	Mittlere Spurabweichung (m) F (2, 58) = 8.128, p = .001	M	0,23	0,27	0,26
		SD	0,07	0,07	0,06
	Maximaler Abstand (m) F (2, 58) = 3.206, p = .048	M	68,39	66,94	72,42
		SD	30,50	30,22	30,44
	Time to Collision (sec) F (2, 58) = 1.029, p = .364	M	4,38	-0,66	-6,71
		SD	27,18	37,47	17,49

Abbildung A.1: Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Anzeigert.

			3 Zeilen	5 Zeilen	7 Zeilen
Bedienzeit	Total Task Time (sec) F (2, 58) = 2.983, p = .058	M	6,54	6,51	6,17
		SD	1,36	1,38	1,15
Blickdaten	Durchschnittliche Blickdauer (sec) F (2, 48) = .927, p = .403	M	1,17	1,11	1,17
		SD	0,30	0,31	0,27
	Maximale Blickdauer (sec) F (2, 48) = .830, p = .442	M	3,82	3,47	3,64
		SD	1,09	1,10	1,40
	Kumulierte Blickdauer (sec) F (1.475, 35.402) = 2.844, p = .068	M	43,48	39,35	38,72
		SD	8,09	11,42	9,25
Blickanzahl F (2, 48) = 3.459, p = .040	M	37,92	34,92	33,12	
	SD	8,34	10,76	7,90	
Fahrdaten	Mittlere Spurbabweichung (m) F (2, 58) = 0.209, p = .812	M	0,25	0,25	0,26
		SD	0,09	0,07	0,06
	Durchschnittlicher Abstand (m) F (2, 58) = 1.059, p = .353	M	54,18	53,51	52,66
		SD	21,24	23,02	20,51
	Time to Collision (sec) F (2, 58) = 0.063, p = .939	M	1,94	0,09	-0,03
		SD	26,12	23,10	26,99

Abbildung A.2: Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Anzahl sichtbarer Listenelemente.

			MFL	ZBE
Bedien-zeit	Total Task Time (sec) F (1, 29) = 21.517, p < .001	M	6,65	5,94
		SD	1,40	1,52
Blickdaten	Durchschnittliche Blickdauer (sec) F(1,24) = .121, p = .206	M	1,08	1,13
		SD	0,25	0,24
	Maximale Blickdauer (sec) F(1,24) = .816, p = .375	M	3,08	3,22
		SD	0,84	1,09
	Kumulierte Blickdauer (sec) F (1,24) = 1.238, p = .277	M	37,24	35,41
		SD	9,57	8,81
	Blickanzahl F (1,24) = 1.692, p = .206	M	33,89	31,55
		SD	8,99	7,28
Fahrdaten	Mittlere Spurabweichung (m) F (1, 29) = .053, p = .819	M	0,25	0,25
		SD	0,06	0,06
	Durchschnittlicher Abstand (m) F (1,29) = 1.383, p = .249	M	54,29	53,25
		SD	22,88	23,71
	Maximaler Abstand (m) F (1,29) = 3.891, p = .058	M	70,62	67,88
		SD	29,13	30,47
	Time to Collision (sec) F (1,29) = 1.518, p = .228	M	-4,32	2,33
		SD	17,74	24,08

Abbildung A.3: Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Bedienelemente.

			1 Ebene	2 Ebenen	4 Ebenen
Bedien-zeit	Total Task Time (sec) F(2,52)=31.019, p=.000	M	6,89	8,25	8,68
		SD	1,38	2,15	1,31
Blickdaten	Durchschnittliche Blickdauer (sec) F(2,50)=8.577, p=.001	M	1,16	1,22	1,08
		SD	0,34	0,37	0,28
	Maximale Blickdauer (sec) F(1.546, 17.400)=8.811, p=.002	M	3,59	3,94	3,08
		SD	1,23	1,39	1,22
	Kumulierte Blickdauer (sec) F(2,46)=36.393, p < .001	M	40,73	48,98	52,87
		SD	9,27	11,26	11,01
	Blickanzahl F(2,42) = 126.702, p<.001	M	37,65	42,74	52,33
		SD	10,31	12,23	10,32
Fahrdaten	Mittlere Spurabweichung (m) F(2,52)=1.919, p=.157	M	0,28	0,27	0,26
		SD	0,05	0,07	0,06
	Durchschnittlicher Abstand (m) F(2,52)=3.819, p=.028	M	55,81	58,28	55,78
		SD	10,55	10,92	8,05
	Maximaler Abstand (m) F(2,52)=6.825, p=.002	M	71,64	77,73	71,26
		SD	16,61	18,32	11,71
	Time to Collision (sec) F(2,52)=3.623, p=.034	M	5,09	-5,24	-1,31
		SD	14,85	11,35	14,92

Abbildung A.4: Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Bedienelemente.

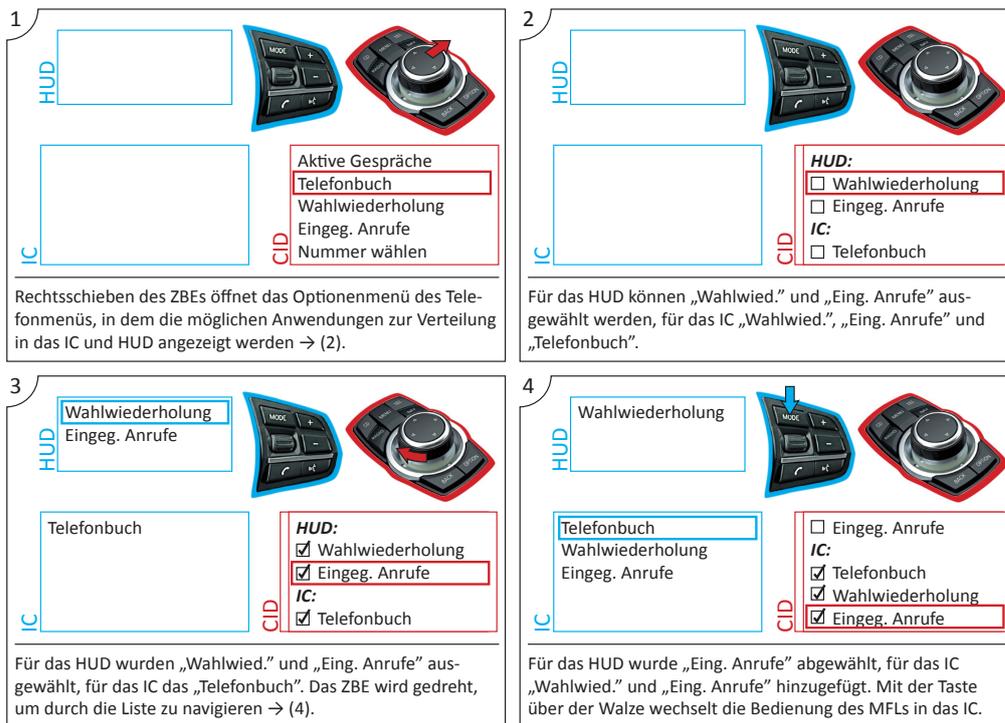


Abbildung A.5: Konzeptvariante 1 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Check Boxes im Optionsmenü.

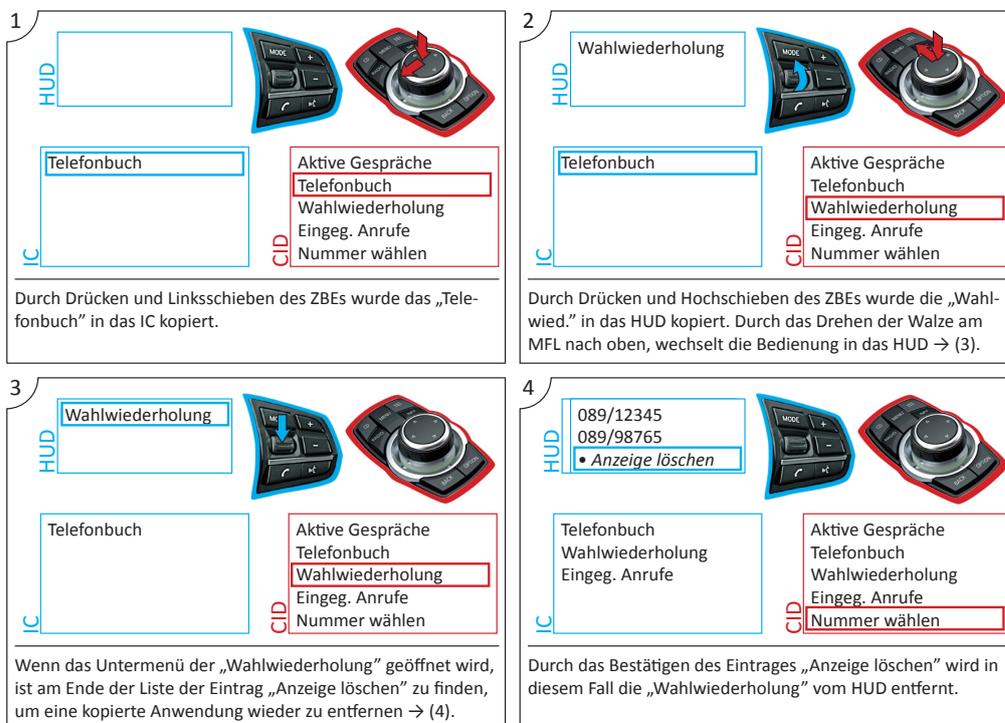


Abbildung A.6: Konzeptvariante 2 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Langdruck und Schieben des Controllers.

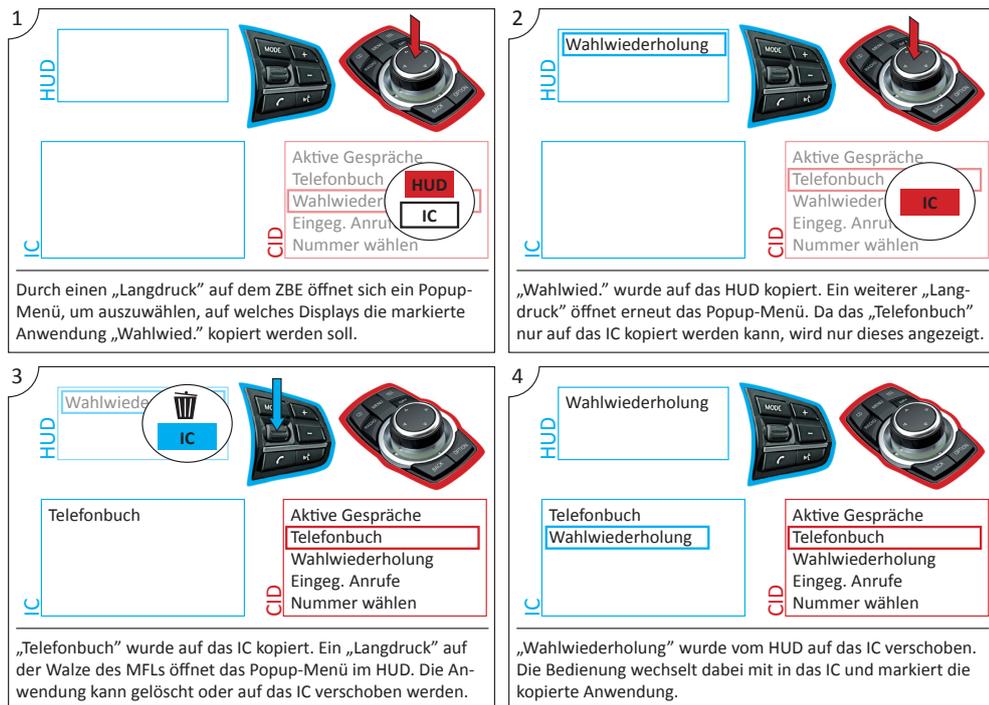


Abbildung A.7: Konzeptvariante 3 zur Individualisierung der Anzeigerte: Langdruck und Pop-Up zur Displaywahl.

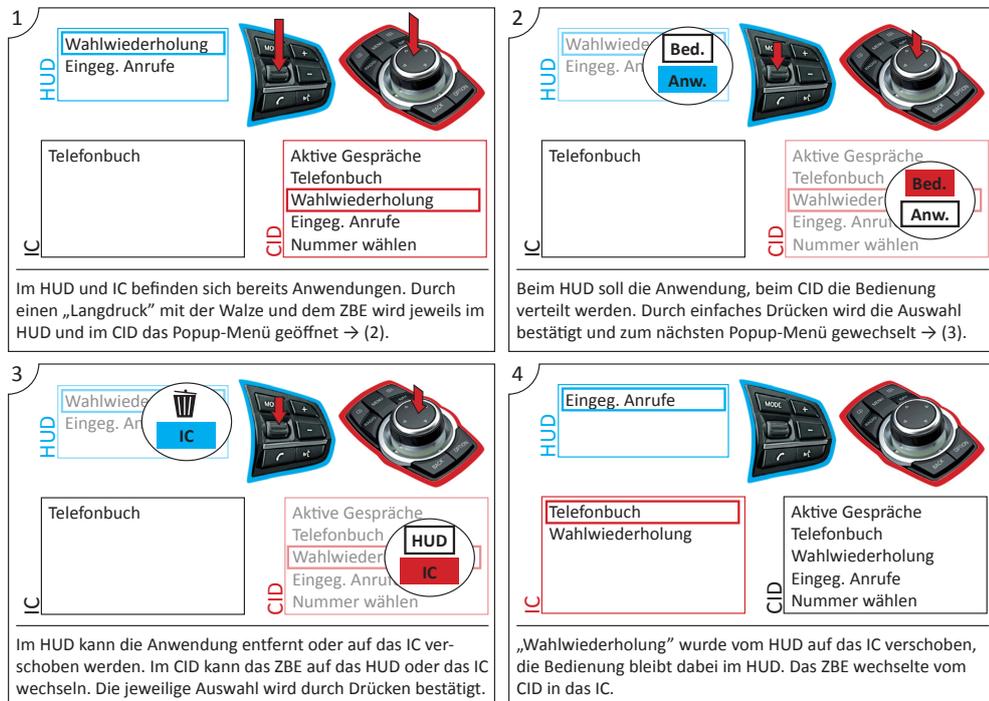


Abbildung A.8: Konzeptvariante 5 zur Individualisierung der Anzeigerte: Doppeldruck und Pop-Up für Entscheidung, ob Fokus oder Anwendung verschoben werden soll. Drehen für die Displayauswahl.

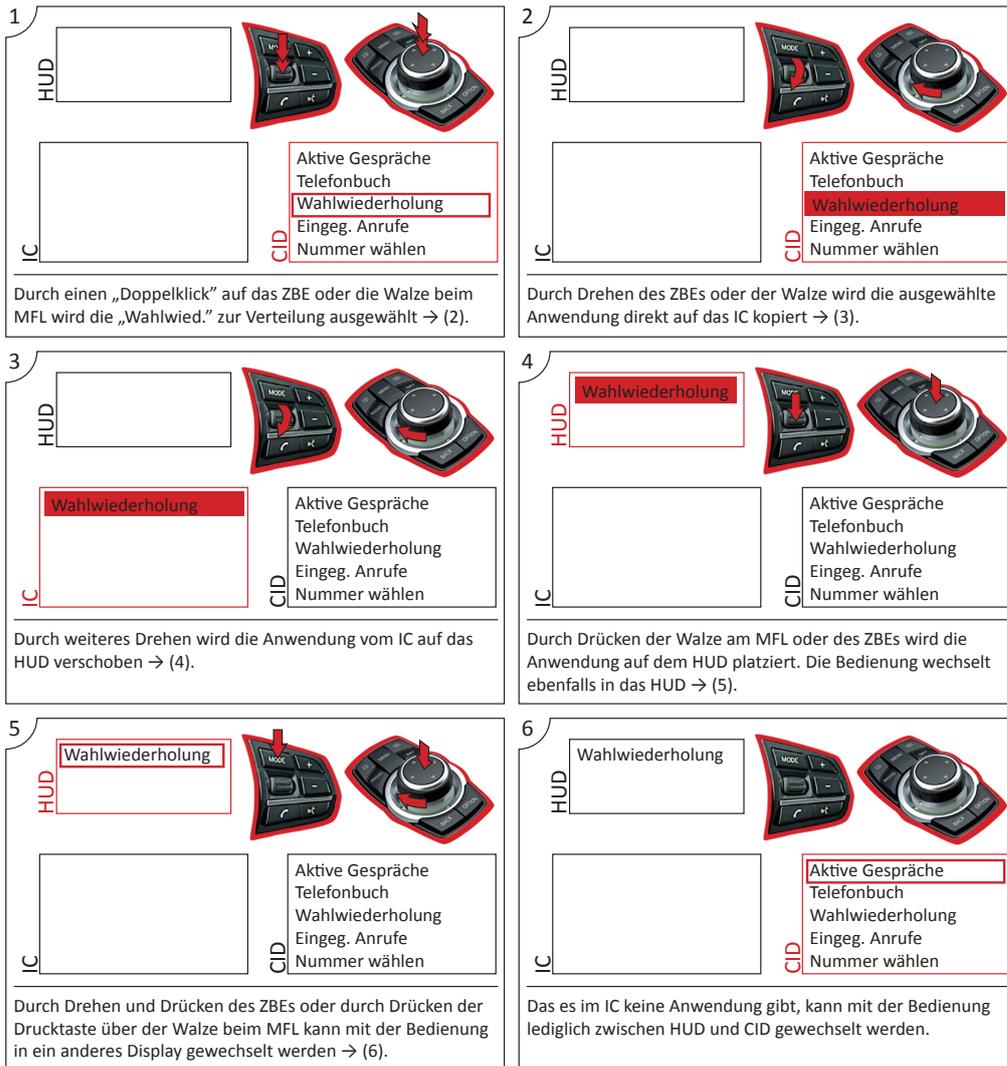


Abbildung A.9: Konzeptvariante 4 zur Individualisierung der Anzeigorte: Doppeldruck und Drehen mit MFL oder Controller zur Displaywahl.

VP1	LCT Training	LCT Baseline	CID normal	Kombi normal	Kombi Kat	HUD Kat	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP2	LCT Training	LCT Baseline	Kombi normal	CID normal	Kombi Kat	HUD Kat	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP3	LCT Training	LCT Baseline	CID normal	Kombi normal	HUD Kat	Kombi Kat	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP4	LCT Training	LCT Baseline	Kombi normal	CID normal	HUD Kat	Kombi Kat	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP5	LCT Training	LCT Baseline	CID normal	Kombi normal	Ko & HUD Kat	Kombi Kat	HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP6	LCT Training	LCT Baseline	Kombi normal	CID normal	Ko & HUD Kat	Kombi Kat	HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP7	LCT Training	LCT Baseline	CID normal	Kombi normal	Ko & HUD Kat	HUD Kat	Kombi Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP8	LCT Training	LCT Baseline	Kombi normal	CID normal	Ko & HUD Kat	HUD Kat	Kombi Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP9	LCT Training	LCT Baseline	Kombi Kat	HUD Kat	CID normal	Kombi normal	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP10	LCT Training	LCT Baseline	Kombi Kat	HUD Kat	Kombi normal	CID normal	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP11	LCT Training	LCT Baseline	HUD Kat	Kombi Kat	CID normal	Kombi normal	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP12	LCT Training	LCT Baseline	HUD Kat	Kombi Kat	Kombi normal	CID normal	Ko & HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP13	LCT Training	LCT Baseline	Kombi Kat	HUD Kat	Ko & HUD Kat	CID normal	Kombi normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP14	LCT Training	LCT Baseline	Kombi Kat	HUD Kat	Ko & HUD Kat	Kombi normal	CID normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP15	LCT Training	LCT Baseline	HUD Kat	Kombi Kat	Ko & HUD Kat	CID normal	Kombi normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP16	LCT Training	LCT Baseline	HUD Kat	Kombi Kat	Ko & HUD Kat	Kombi normal	CID normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP17	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	CID normal	Kombi normal	Kombi Kat	HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP18	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	Kombi normal	CID normal	Kombi Kat	HUD Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP19	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	CID normal	Kombi normal	HUD Kat	Kombi Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP20	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	Kombi normal	CID normal	HUD Kat	Kombi Kat	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP21	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	Kombi Kat	HUD Kat	CID normal	Kombi normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP22	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	Kombi Kat	HUD Kat	Kombi normal	CID normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen
VP23	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	HUD Kat	Kombi Kat	CID normal	Kombi normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	Options- Screen	PopUp- Screen
VP24	LCT Training	LCT Baseline	Ko & HUD Kat	HUD Kat	Kombi Kat	Kombi normal	CID normal	FoCoCu	Koordinierte Anzeigen	PopUp- Screen	Options- Screen

Abbildung A.10: Permutation der Reihenfolge bei der Evaluierung der koordinierten und unkoordinierten Anzeigen.

		Mittelwert	N	Standard- abweichung	Sig. p - Wert
Paaren 1	HUD Kat - HUD kumulierte Blickdauer	40,86	12	9,02	0,001
	Kombi HUD Kat - HUD kumulierte Blickdauer	29,92	12	8,28	
Paaren 2	HUD Kat - HUD kumulierte Blickdauer	40,86	12	9,02	0,000
	FoCoCu - HUD kumulierte Blickdauer	20,34	12	5,73	
Paaren 3	Kombi HUD Kat - HUD kumulierte Blickdauer	29,92	12	8,28	0,010
	FoCoCu - HUD kumulierte Blickdauer	20,34	12	5,73	
Paaren 4	HUD Kat - HUD Blickanzahl	36,17	12	11,26	0,154
	Kombi HUD Kat - HUD Blickanzahl	32,25	12	8,10	
Paaren 5	HUD Kat - HUD Blickanzahl	36,17	12	11,26	0,007
	FoCoCu - HUD Blickanzahl	26,08	12	9,33	
Paaren 6	Kombi HUD Kat - HUD Blickanzahl	32,25	12	8,10	0,074
	FoCoCu - HUD Blickanzahl	26,08	12	9,33	
Paaren 7	HUD Kat - HUD durchschnittliche Blickdauer	1,22	12	0,43	0,005
	Kombi HUD Kat - HUD durchschnittliche Blickdauer	0,96	12	0,32	
Paaren 8	HUD Kat - HUD durchschnittliche Blickdauer	1,22	12	0,43	0,000
	FoCoCu - HUD durchschnittliche Blickdauer	0,84	12	0,28	
Paaren 9	Kombi HUD Kat - HUD durchschnittliche Blickdauer	0,96	12	0,32	0,091
	FoCoCu - HUD durchschnittliche Blickdauer	0,84	12	0,28	
Paaren 10	HUD Kat - HUD Blickdauer in Prozent	54,08	12	11,76	0,000
	Kombi HUD Kat - HUD Blickdauer in Prozent	32,95	12	8,64	
Paaren 11	HUD Kat - HUD Blickdauer in Prozent	54,08	12	11,76	0,000
	FoCoCu - HUD Blickdauer in Prozent	22,10	12	6,33	
Paaren 12	Kombi HUD Kat - HUD Blickdauer in Prozent	32,95	12	8,64	0,005
	FoCoCu - HUD Blickdauer in Prozent	22,10	12	6,33	
Paaren 13	HUD Kat - HUD Maximale Blickdauer	4,41	12	1,39	0,016
	Kombi HUD Kat - HUD Maximale Blickdauer	3,51	12	1,01	
Paaren 14	HUD Kat - HUD Maximale Blickdauer	4,41	12	1,39	0,001
	FoCoCu - HUD Maximale Blickdauer	2,66	12	1,26	
Paaren 15	Kombi HUD Kat - HUD Maximale Blickdauer	3,51	12	1,01	0,033
	FoCoCu - HUD Maximale Blickdauer	2,66	12	1,26	
Paaren 16	HUD Kat - HUD 85% Perzentil	2,21	12	0,89	0,169
	Kombi HUD Kat - HUD 85% Perzentil	1,88	12	0,79	
Paaren 17	HUD Kat - HUD 85% Perzentil	2,21	12	0,89	0,002
	FoCoCu - HUD 85% Perzentil	1,45	12	0,56	
Paaren 18	Kombi HUD Kat - HUD 85% Perzentil	1,88	12	0,79	0,055
	FoCoCu - HUD 85% Perzentil	1,45	12	0,56	

Abbildung A.11: Tabellarische Übersicht der erhobenen Blickdaten des Intra-Display-Vergleich für das HUD.

		Mittelwert	N	Standard- abweichung	Sig. p-Wert
Paaren 1	KatIC - kumulierte Blickdauer Kombi	33,00	12	6,18	0,000
	KatIC+HUD - kumulierte Blickdauer Kombi	16,18	12	5,54	
Paaren 2	KatIC - kumulierte Blickdauer Kombi	33,00	12	6,18	0,000
	FoCoCu - Kombi Blickdauer	27,86	12	6,85	
Paaren 3	KatIC+HUD - kumulierte Blickdauer Kombi	16,18	12	5,54	0,000
	FoCoCu - kumulierte Blickdauer Kombi	27,86	12	6,85	
Paaren 4	KatIC - Blickanzahl Kombi	33,83	12	4,47	0,000
	KatIC+HUD - Blickanzahl Kombi	17,83	12	5,01	
Paaren 5	KatIC - Blickanzahl Kombi	33,83	12	4,47	0,003
	FoCoCu - Kombi Blickzahl	27,75	12	5,53	
Paaren 6	KatIC+HUD - Blickanzahl Kombi	17,83	12	5,01	0,000
	FoCoCu - Blickanzahl Kombi	27,75	12	5,53	
Paaren 7	KatIC - durchschnittliche Blickdauer Kombi	0,98	12	0,19	0,172
	KatIC+HUD - durchschnittliche Blickdauer Kombi	0,92	12	0,26	
Paaren 8	KatIC - durchschnittliche Blickdauer Kombi	0,98	12	0,19	0,325
	FoCoCu - durchschnittliche Blickdauer Kombi	1,05	12	0,35	
Paaren 9	KatIC+HUD - durchschnittliche Blickdauer Kombi	0,92	12	0,26	0,031
	FoCoCu - durchschnittliche Blickdauer Kombi	1,05	12	0,35	
Paaren 10	KatIC - Blickdauer in Prozent Kombi	42,57	12	8,22	0,000
	KatIC+HUD - Blickdauer in Prozent Kombi	17,52	12	4,58	
Paaren 11	KatIC - Blickdauer in Prozent Kombi	42,57	12	8,22	0,000
	FoCoCu - Blickdauer in Prozent Kombi	29,95	12	5,74	
Paaren 12	KatIC+HUD - Blickdauer in Prozent Kombi	17,52	12	4,58	0,000
	FoCoCu - Blickdauer in Prozent Kombi	29,95	12	5,74	
Paaren 13	KatIC - Maximale Blickdauer Kombi	2,63	12	1,12	0,142
	KatIC+HUD - Maximale Blickdauer Kombi	2,14	12	0,75	
Paaren 14	KatIC - Maximale Blickdauer Kombi	2,63	12	1,12	0,808
	FoCoCu - Maximal Blickdauer Kombi	2,56	12	0,87	
Paaren 15	KatIC+HUD - Maximale Blickdauer Kombi	2,14	12	0,75	0,090
	FoCoCu - Maximal Blickdauer Kombi	2,56	12	0,87	
Paaren 16	KatIC - 85% Perzentil Kombi	1,57	12	0,36	0,473
	KatIC+HUD - 85% Perzentil Kombi	1,51	12	0,47	
Paaren 17	KatIC - 85% Perzentil Kombi	1,57	12	0,36	0,309
	FoCoCu - 85% Perzentil Kombi	1,69	12	0,53	
Paaren 18	KatIC+Hud - 85% Perzentil Kombi	1,51	12	0,47	0,115
	FoCoCu - 85% Perzentil Kombi	1,69	12	0,53	

Abbildung A.12: Tabellarische Übersicht der erhobenen Blickdaten des Intra-Display-Vergleich für das Kombi.

Objektive Resultate			
		Taste	Blick
Spurabweichung (Meter)	<i>M</i>	1,18	1,06
	<i>SD</i>	0,29	0,20
Bedienzeit (Sekunden)	<i>M</i>	86,99	70,08
	<i>SD</i>	25,83	12,42
Subjektive Resultate			
Ich wusste auf welches Display sich die Eingabe bezieht	<i>M</i>	3,47	4,18
	<i>SD</i>	1,51	0,81
Der Fokuswechsel war verständlich	<i>M</i>	3,35	4,35
	<i>SD</i>	1,32	0,79

Abbildung A.13: Vorversuch Fokuswechsel: objektive und subjektive Resultate des Vorversuchs zum Fokuswechsel (n=17).

Objektive Resultate			
		Taste	Blickgeste
Spurabweichung (Meter)	<i>M</i>	1,02	1,07
	<i>SD</i>	0,19	0,20
Bedienzeit (Sekunden)	<i>M</i>	80,30	86,35
	<i>SD</i>	14,69	21,85
Subjektive Resultate			
Ich wusste auf welches Display sich die Eingabe bezieht	<i>M</i>	4,59	4,06
	<i>SD</i>	0,51	0,66
Der Fokuswechsel war verständlich	<i>M</i>	4,06	3,82
	<i>SD</i>	1,14	1,02

Abbildung A.14: Vorversuch Einblendestrategien: objektive und subjektive Resultate des Vorversuchs zu den Einblendestrategien (n=17).

	Konzept	<i>M</i>	<i>SD</i>	
Blickanzahl in das Kombi (n=11)	ET_IN	13,5	4,3	
	NET_IN	15,4	7,7	
Blickanzahl in das HUD (n=11)	ET_IN	36,3	9,7	
	NET_IN	32,6	12,3	
Bearbeitungszeit (Sekunden, n=27)	ET_IN	42,5	12,2	
	NET_IN	30,2	10,6	
Mittlere Spurabweichung (Meter, n=27)	ET_IN	0,3	0,1	
	NET_IN	0,2	0,1	
		<i>M (direkt)</i>	<i>SD (direkt)</i>	<i>M (indirekt)</i>
Blickstrategie (Prozent, n=25)	ET_IN	67,1	20,5	32,9
	NET_IN	62,8	25,2	37,2

Abbildung A.15: Objektive Ergebnisse des Vergleiches der Interaktionskonzepte NET-IN (Controller-basiert) und ET-IN (blickgestützt).

	Variante	<i>M</i>	<i>SD</i>	
Kumulierte Blickdauer auf das HUD bzw. Kombi (Sekunden, n=11)	CID_IC	27,08	11,84	
	CID_HUD	40,19	10,78	
	IC_HUD	34,93	10,96	
Maximale Blickdauer auf das HUD bzw. Kombi (Sekunden, n=11)	CID_IC	2,27	0,96	
	CID_HUD	3,18	0,47	
	IC_HUD	3,04	1,13	
Durchschnittliche Blickdauer auf das HUD bzw. Kombi (Sekunden, n=11)	CID_IC	0,97	0,49	
	CID_HUD	1,01	0,45	
	IC_HUD	0,77	0,36	
Fehlerrate (Interaktionsschritte, n=27)	CID_HUD	132,00	13,33	
	CID_IC	141,04	9,91	
	IC_HUD	129,33	13,58	
		<i>M (direkt)</i>	<i>SD (direkt)</i>	<i>M (indirekt)</i>
Blickstrategie (Prozent, n=26)	CID_HUD	21,33	18,52	78,67
	CID_IC	21,63	21,41	78,37
	IC_HUD	33,21	21,16	66,79

Abbildung A.16: Tabellarische Übersicht der objektiven Resultate des Vergleiches der Displayverbände (CID-HUD, CID-IC, IC-HUD).

		<i>M</i>	<i>SD</i>	
85 % Perzentil in das HUD (Sekunden, n=14)	NET_IN	2,93	1,10	
	NET_SC	2,63	0,92	
	ET_IN	2,66	0,81	
	ET_BG	2,74	0,98	
	ET_RD	2,88	1,19	
Mittlere Blickdauer in das Kombi (n=14)	NET_IN	0,91	0,22	
	NET_SC	0,82	0,20	
Blickanzahl in das Kombi (n=14)	ET_IN	11,14	4,22	
	ET_BG	12,36	5,15	
	ET_RD	11,36	4,22	
Fehlerrate (Interaktionsschritte, n=27)	NET_IN	79,78	21,47	
	NET_SC	74,22	11,43	
	ET_IN	76,59	11,34	
	ET_BG	97,33	17,78	
	ET_RD	90,44	18,24	
		<i>M (direkt)</i>	<i>SD (direkt)</i>	<i>M (indirekt)</i>
Blickstrategie (Prozent, n(NET)=24, n(ET)=25)	NET_IN	62,90	25,72	37,10
	NET_SC	48,21	24,97	51,79
	ET_IN	66,38	19,85	33,62
	ET_BG	65,73	23,17	34,27
	ET_RD	48,36	23,70	51,64

Abbildung A.17: Tabellarische Übersicht der objektiven Resultate des Vergleiches der Einblendestrategien.

Abkürzungsverzeichnis

AAM	Alliance of Automotive manufactures
ACC	Active Cruise Control
AOI	Area of Interest
CAN	Controller Area Network
CID	Central Information Display
countIS	Anzahl der Bedienschritte
DALI	Driver Activity Load Index
ESoP	European Statement of Principles
ET-BG	Eye Tracking - Blickgeste (blickgestützter Prototyp)
ET-IN	Eye Tracking - Interaktion (blickgestützter Prototyp)
ET-RD	Eye Tracking - Rändeldruck (blickgestützter Prototyp)
FAS	Fahrer Assistenz System
FIS	Fahrer Informations System
FoCoCu	Focus Context Cursor (koordinierter Prototyp)
HDD	Head Down Display
HUD	Head Up Display
IC	Instrument Cluster (dt. Kombiinstrument, siehe Kombi)
ISO	Internationale Organisation für Normung
KatHUD	Kategorien im HUD (unkoordinierte Prototyp)
KatIC	Kategorien im IC (unkoordinierte Prototyp)
KatIC+HUD	Kategorien im IC und HUD (koordinierte Prototyp)
Kombi	Kombiinstrument (siehe IC)
LCT	Lane Change Task
LTT	Look to Talk
MCV	Multiple Coordinated Views
MFL	Multifunktionslenkrad
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
MDEV	Mean Deviation
MVC	Model View Controller
NET-IN	No Eye Tracking - Interaction (Controller-basierter Prototyp)
NET-SC	No Eye Tracking - Scrolling (Controller-basierter Prototyp)
PDT	Peripheral Detection Task
PTT	Push to Talk
SDLP	Standard Deviation of Lateral Position
SDV	Standard Deviation of Velocity (alternativ zu TTC verwendet)

SUS	System Usability Scale
TCP	Transmission Control Protocol
TTC	Time to Collision
TTT	Total Task Time
TTT	Talk to Talk
UDP	User Datagram Protocol
ZBE	Zentrales Bedienelement
ZIO	Zentrale Input/Output-Software

Literaturverzeichnis

- [1] M. Ablassmeier. *Multimodales, kontextadaptives Informationsmanagement im Automobil*. Dissertation, Technische Universität München, 2009.
- [2] T. Becker, N. Blaylock, C. Gerstenberger, I. Kruijff-Korbayová, A. Korthauer, M. Pinkal, M. Pitz, P. Poller, and J. Schehl. Natural and Intuitive Multimodal Dialogue for In-Car Applications: The Sammie System. In *Proceedings of the 2006 conference on ECAI 2006: 17th European Conference on Artificial Intelligence*, pages 612–616, Riva del Garda, Italy, May 2006. IOS Press.
- [3] K. Bengler. Comparison of LCT Results (internal, not published document), 2007.
- [4] K. Bengler. The Art to Make an Error. The Dilemma between Prevention, Learning and Mitigation. In *Human Modelling in Assisted Transportation*, pages 9–13. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 2011.
- [5] H. Benko and S. Feiner. Multi-monitor mouse. In *extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI '05)*, page 1208, Portland, USA, April 2005. ACM.
- [6] J. Biehl and B. Bailey. ARIS: An Interface for Application Relocation in an Interactive Space. In *Proceedings of Graphics Interface 2004*, London, Canada, 2004. Canadian Human-Computer Communications Society.
- [7] M. Breisinger. *Anzeigekonzept für Head-Up Displays im automotiven Bereich*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2007.
- [8] V. Broy. *Benutzerzentrierte, graphische Interaktionsmetaphern für Fahrerinformationssysteme*. Dissertation, Technische Universität München, 2009.
- [9] P. Burns, J. Harbluk, J. Foley, and L. Angell. The Importance of Task Duration and Related Measures in Assessing Distraction Potential of In-Vehicle Tasks. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, USA, 2010. ACM.
- [10] S. K. Card. User perceptual mechanisms in the search of computer command menus. In *Proceedings of the 1982 conference on Human factors in computing systems (CHI '82)*, pages 190–196, Gaithersburg, Maryland, USA, March 1982. ACM.
- [11] M. Collomb and M. Hascoet. Extending drag-and-drop to new interactive environments: A multi-display, multi-instrument and multi-user approach. *Interacting with Computers*, 20(6):562–573, December 2008.

- [12] G. Convertino, J. Chen, B. Yost, Y. S. Ryu, and C. North. Exploring Context Switching and Cognition in Dual-View Coordinated Visualizations. In *Proceedings of the International Conference on Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization*, page 55, Washington, DC, USA, July 2003. IEEE Computer Society.
- [13] M. Czerwinski, G. Smith, T. Regan, B. Meyers, G. Ropertson, and G. Starkweather. Toward characterizing the productivity benefits of very large displays. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction (Interact 2003)*, Zürich, Switzerland, 2003. IOS Press.
- [14] N. Dahlback, A. Jonsson, and L. Ahrenberg. Wizard of Oz studies: why and how. In W. Gray, W. E. Hefley, and D. Murray, editors, *Proceedings of the 1st international conference on Intelligent user interfaces*, volume 6 of *IUI '93*, pages 193–200, Orlando, FL, USA, 1993. ACM.
- [15] H. Drewes. Only one Fitts' law formula please! In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA '10*, page 2813, New York, New York, USA, April 2010. ACM.
- [16] R. Ecker. *Ein Touchinteraktionsansatz für Fahrerinformationssysteme*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians Universität München, 2008.
- [17] R. Ecker, V. Broy, A. Butz, and A. De Luca. pieTouch : A Direct Touch Gesture Interface for Interacting with In-Vehicle Information Systems . In *Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pages 1–10, Bonn, Germany, 2009. ACM.
- [18] R. Ecker, V. Broy, K. Hertzschuch, and A. Butz. Visual Cues supporting Direct Touch Gesture Interaction with In-Vehicle Information Systems. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, PA, USA, 2010. ACM.
- [19] R. Ecker, P. Holzer, V. Broy, and A. Butz. EcoChallenge: A Race for Efficiency. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '11)*, Stockholm, Sweden, 2011. ACM.
- [20] Johan Engström, E. Johansson, and Joakim Östlund. Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2):97–120, 2005.
- [21] L. Findlater and J. McGrenere. A comparison of static, adaptive, and adaptable menus. In *Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems (CHI '04)*, volume 6, pages 89–96, Vienna, Austria, 2004. ACM.
- [22] G. Fischer. User modeling in human computer interaction. *User Modeling and UserAdapted Interaction*, 11(1):65–86, 2001.

- [23] G. Fischer, A. C. Lemke, T. Mastaglio, and A. I. Morch. The role of critiquing in cooperative problem solving. *ACM Transactions on Information Systems*, 9(2):123–151, April 1991.
- [24] D. Fono and R. Vertegaal. EyeWindows: evaluation of eye-controlled zooming windows for focus selection. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '05)*, pages 151–160, New York, New York, USA, April 2005. ACM.
- [25] J. R. Fox, B. Park, and A. Lang. When Available Resources Become Negative Resources: The Effects of Cognitive Overload on Memory Sensitivity and Criterion Bias. *Communication Research*, 34(3):277–296, 2007.
- [26] R. Freymann. HMI: A Fascinating and Challenging Task. In *Proceedings of the 16th Congress of the International Ergonomics Association*, Maastricht, Netherlands, 2006. Taylor & Francis.
- [27] N. Friedman. *The Naval Institute guide to world naval weapon systems*. Naval Institute Press, 1989.
- [28] G. Geiser. Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. *Automobiltechnische Zeitschrift: ATZ* 87, 2:77–84, 1985.
- [29] R. Gengenbach. Fahrerverhalten im Pkw mit Head-Up Displays: Gewöhnung und visuelle Aufmerksamkeit. In *VDI-Berichte*. VDI-Verlag, 1997.
- [30] A. J. Glenstrup and T. Engell-Nielsen. *Eye controlled media: Present and future state*. Bachelor thesis, University of Copenhagen, 1995.
- [31] J. D. Gould and C. Lewis. Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, 28(3):300–311, 1985.
- [32] S. Graf, W. Spiessl, A. Schmidt, A. Winter, and G. Rigoll. In-car interaction using search-based user interfaces. In *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems (CHI '08)*, page 1685, Florence, Italy, April 2008. ACM.
- [33] J. Grudin. The case against user interface consistency. *Communications of the ACM*, 32(10):1164–1173, October 1989.
- [34] J. Grudin. Partitioning digital worlds. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '01)*, pages 458–465, Seattle, WA, USA, March 2001. ACM.
- [35] S. G. Hart and L. E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human mental workload*, 1:139–183, 1988.
- [36] M. Hassenzahl, M. Burmester, and F. Koller. Der User Experience (UX) auf der Spur: Zum Einsatz von www.attrakdiff.de. In H Brau, S Diefenbach, and M Hassenzahl, editors, *Usability Professionals 2008*, pages 78–82. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, Germany, 2008.

- [37] R. Heimgärtner, L. W. Tiede, J. Leimbach, S. Zehner, N. Nguyen-Thien, and H. Windl. Towards Cultural Adaptability to Broaden Universal Access in Future Interfaces of Driver Information Systems. In C. Stephanidis, editor, *Proceedings of Universal Access in HCI*, volume 4555 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 383–392–392, Beijing, China, 2007. Springer Berlin Heidelberg.
- [38] T. Hewett, R. Baecker, S. Card, T. Carey, J. Gasen, M. Mantei, G. Perlman, G. Strong, and W. Verplank. *Curricula for Human-Computer Interaction*, volume 2008. ACM, 1992.
- [39] K. Hinckley, G. Ramos, F. Guimbretiere, P. Baudisch, and M. Smith. Stitching: Pen Gestures that Span Multiple Displays. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '04)*, pages 23–31, Gallipoli, Italy, May 2004. ACM.
- [40] I. His and C. Potts. Studying the Evolution and Enhancement of Software Features. In *Proceedings of the International Conference on Software Maintenance (ICSM' 00)*, pages 143–151, San Jose, CA, USA, October 2000. IEEE Computer Society.
- [41] P. Holzer. *Anzeigekonzepte für Community- und ortsbasierte Wettbewerbe im Automobil zur Motivation einer verbrauchseffizienten Fahrweise*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2010.
- [42] B. L. Hooey and B. F. Gore. Advanced Traveler Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: Head-Up Displays and Driver Attention for Navigation Information. Technical report, Battelle Human Factors Transportation Center, Seattle, WA, USA, 1998.
- [43] K. Höök. Steps to take before intelligent user interfaces become real. *Interacting with Computers*, 12(4):409–426, 2000.
- [44] W. J. Horrey, A. L. Alexander, and C. D. Wickens. Does Workload Modulate the Effects of In-Vehicle Display Location on Concurrent Driving and Side Task Performance. In *Driving Simulation Conference North America 2003 Proceedings (DSC '03)*, volume 2003, pages 1–20, Dearborn, Michigan, USA, 2003.
- [45] W. J. Horrey, C. D. Wickens, and K. P. Consalus. Modeling drivers' visual attention allocation while interacting with in-vehicle technologies. *Journal of experimental psychology Applied*, 12(2):67–78, 2006.
- [46] E. Horvitz. Principles of mixed-initiative user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit (CHI '99)*, volume 1 of *Characters and Agents*, pages 159–166, Pittsburgh, PA, USA, 1999. ACM, ACM.
- [47] M. Hoyer. *Eye-Tracking-gestützte Interaktion mit verteilten Anwendungen im Fahrzeuginnraum*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2011.
- [48] D. R. Hutchings, M. Czerwinski, B. Meyers, and J. Stasko. Exploring the use and affordances of multiple display environments. In *Workshop on Ubiquitous Display Environments at UbiComp*, Nottingham, England, 2004.

- [49] Dugald Ralph Hutchings, John Stasko, and Mary Czerwinski. Distributed display environments. *interactions*, 12(6):50 – 53, November 2005.
- [50] J. Hüttermann, A. Trautwein, and U. Kreibig. *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, Germany, 6. auflage edition, 2004.
- [51] ISO 26022. Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Simulated lane change test to assess in-vehicle secondary task demand. Technical report, International Standards Organization, 2010.
- [52] ISO 9421-11. Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals. Part 11: Guidance on Usability. Technical report, International Standards Organization, 1998.
- [53] L. Itti and C. Koch. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40(10-12):1489–1506, 2000.
- [54] R. J. K. Jacob. What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Empowering people (CHI '90)*, pages 11–18, Seattle, WA, USA, March 1990. ACM.
- [55] R. J. K. Jacob. Eye Movement-Based Human-Computer Interaction Techniques: Toward Non-Command Interfaces. In *Proceedings of the 11th Human Factors in Computing Systems Conference*, pages 151–190, Amsterdam, Netherlands, 1993.
- [56] N. A. Kaptein. Benefits of in-car head-up displays. Technical report, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg, Netherlands, 1994.
- [57] L. Kaufman and B. Weed. Too much of a good thing? In *Conference summary on Human factors in computing systems (CHI '98)*, pages 207–208, Los Angeles, CA, USA, April 1998. ACM.
- [58] D. Kern, A. Mahr, S. Castronovo, A. Schmidt, and C. Müller. Making Use of Drivers Glances onto the Screen for Explicit Gaze-Based Interaction. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, PA, USA, 2010. ACM.
- [59] T. Kujala. Efficiency of visual time-sharing behavior. In *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '09)*, pages 63–70, Essen, Germany, September 2009. ACM.
- [60] T. K. Landauer and D. W. Nachbar. Selection from alphabetic and numeric menu trees using a touch screen. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '85)*, volume 16, pages 73–78, San Francisco, CA, USA, April 1985. ACM.

- [61] I. Larish and C. D. Wickens. Attention and HUDS: Flying in the Dark. In *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers XXII*, pages 461–464, Playa del Rey, CA, USA, 1991. Society for Information Display.
- [62] J. MacGregor, E. Lee, and N. Lam. Optimizing the structure of database menu indexes: a decision model of menu search. *Human Factors*, 28(4):387–399, 1986.
- [63] W. E. Mackay. Patterns of sharing customizable software. In F. Halasz, editor, *Proceedings of the 1990 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW '90)*, CSCW '90, pages 209–221, Los Angeles, CA, USA, 1990. ACM/SIGCHI, ACM.
- [64] P. Maglio, T. Matlock, C. Campbell, S. Zhai, and B. Smith. Gaze and Speech in Attentive User Interfaces. In *Proceedings of the Third International Conference on Advances in Multimodal Interfaces*, ICMI '00, pages 1–7, London, England, 2000. Springer-Verlag.
- [65] P. Majaranta and K. Rähkä. Twenty years of eye typing. In *Proceedings of the symposium on Eye tracking research & applications (ETRA '02)*, page 15, New York, New York, USA, March 2002. ACM.
- [66] Alliance Of Automobile Manufacturers. Statement of Principles , Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In- Vehicle Information and Communication Systems Including 2006 Updated Sections, 2006.
- [67] M. Marm. *Kontextbasiertes Informations Dimming für Fahrerinformationssysteme*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2007.
- [68] S. Mattes. The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In H. Strasser, K. Kluth, H. Rausch, and H. Bubb, editors, *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*, pages 1–5, Stuttgart, Germany, 2003. DaimlerChrysler AG, Research - Human-Machine-Interaction, Ergonomia Verlag.
- [69] A. Meschtscherjakov, D. Wilfinger, T. Scherndl, and M. Tscheligi. Acceptance of future persuasive in-car interfaces towards a more economic driving behaviour. In *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 09)*, number AutomotiveUI in AutomotiveUI '09, page 81, Essen, Germany, 2009. ACM.
- [70] N. Milicic. *Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München, 2010.
- [71] D. P. Miller. The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 1981.
- [72] G. A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63:81–97, 1956.
- [73] J. Nielsen. *Usability Engineering*. Academic Press Inc., Boston, USA, 1993.

- [74] J. Nielsen. Guerrilla HCI: Using Discount Usability Engineering to Penetrate the Intimidation Barrier. *Cost-justifying usability*, pages 245–272, 1994.
- [75] D. A. Norman and D. G. Bobrow. On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7(1):44–64, 1975.
- [76] K. Norman. *The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control at the Human/Computer Interface*. Ablex Publishing Corporation, 1991.
- [77] K. Norman, L. Weldon, and B. Shneiderman. Cognitive layouts of windows and multiple screens for user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, 25(2):229–248, August 1986.
- [78] V. Novak, C. Sandor, and G. Klinker. An AR Workbench for Experimenting with Attentive User Interfaces. In *Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '04)*, pages 284–285, Arlington, VA, USA, November 2004. IEEE Computer Society.
- [79] C. Nowakowski, D. Friedman, and P. Green. An Experimental Evaluation of Using Automotive HUDs to Reduce Driver Distraction While Answering Cell Phones. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 46:1819–1823(5), 2002.
- [80] A. Oh, H. Fox, M. Van Kleek, A. Adler, K. Gajos, L. P. Morency, and T. Darrell. Evaluating look-to-talk: A Gaze-Aware Interface in a Collaborative Environment. In *extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI '02)*, CHI '02, page 650, Minneapolis, Minnesota, USA, 2002. ACM.
- [81] A. Pauzie and G. Pachtiaudi. Subjective evaluation of the mental workload in the driving context. *Traffic and Transport Psychology*, pages 173–182, 1997.
- [82] F. Porsche. Panamera Owners Manual., 2009.
- [83] H. Prendinger, T. Eichner, E. André, and M. Ishizuka. Gaze-based infotainment agents. In *Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology (ACE '07)*, ACE '07, page 87, Salzburg, Austria, 2007. ACM.
- [84] B. Ratkovic. *Individualisierungskonzepte im Rahmen multimodaler Informationssysteme*. Diplomarbeit, Technische Universität München, 2004.
- [85] C. Raubitschek. *Prioritätenorientierte Implementierung einer Menüinteraktion im Head-Up Display für den Automobilbereich*. Diplomarbeit, Technische Universität München, 2008.
- [86] J. Rekimoto. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Banff, Alberta, Canada, 1997. ACM.

- [87] H. Richter, R. Ecker, C. Deisler, and A. Butz. HapTouch and the 2+1 State Model: Potentials of Haptic Feedback on Touch Based In-Vehicle Information Systems. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, USA, 2010. ACM.
- [88] J. C. Roberts. State of the Art: Coordinated & Multiple Views in Exploratory Visualization. In *Proceedings of the fifth International Conference on Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization (CMV '07)*, pages 61–71, Zürich, Switzerland, July 2007. IEEE Computer Society.
- [89] G. Robertson, M. Czerwinski, P. Baudisch, B. Meyers, D. Robbins, and G. Smith. The Large-Display User Experience. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(4):44–51, July 2005.
- [90] T. H. Rockwell. Eye Movement Analysis of Visual Information Acquisition in Driving: An Overview. In *Proceedings of the Sixth Conference of the Australian Road Research Board*, volume 6, pages 316–331, 1972.
- [91] L. Rognin, S. Alidra, C. Val, A. Lescaut, and X. Chalandon. Driver Strategies when Interacting with Information and Comfort Systems. In *Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, Lyon, France, 2007.
- [92] D. D. Salvucci and J. R. Anderson. Intelligent gaze-added interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '00)*, CHI '00, pages 273–280, The Hague, Netherlands, 2000. ACM.
- [93] C. M. Schlick, R. Bruder, and H. Luczak. *Arbeitswissenschaft (German Edition)*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 2010.
- [94] R. Schmidt and T. Lee. *Motor Control And Learning: A Behavioral Emphasis*, 2005.
- [95] H. Schmidtke. *Lehrbuch der Ergonomie*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1981.
- [96] P. Schubert and M. Koch. The Power of Personalization: Customer Collaboration and Virtual Communities. In *Proceedings of Americas Conference on Information Systems (AMCIS '02)*, number 1, pages 1953–1965, Dallas, Texas, USA, 2002. AISeL.
- [97] T. Selker. Visual Attentive Interfaces. *BT Technology Journal*, 22(4):146–150, October 2004.
- [98] B. Shneiderman. Touch screens now offer compelling uses. *IEEE Software*, 8(2):93–94,107, 1991.
- [99] B. Shneiderman. *Designing the User Interface*, volume 2. Addison-Wesley, 1998.
- [100] L. E. Sibert and R. J. K. Jacob. Evaluation of eye gaze interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '00)*, pages 281–288, The Hague, Netherlands, April 2000. ACM.

- [101] L. E. Sibert, R. J. K. Jacob, and J. N. Templeman. Evaluation And Analysis Of Eye Gaze Interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'00)*, pages 281–288, The Hague, Netherlands, 2000. ACM.
- [102] K. Snowberry, S. R. Parkinson, and N. Sisson. Computer display menus. *Ergonomics*, 26(7):699–712, July 1983.
- [103] R. J. Sojourner and J. F. Antin. The effects of a simulated head-up display speedometer on perceptual task performance. *Human Factors*, 32(3):329–339, 1990.
- [104] A. Stevens, A. Hallen, A. Pauzie, B. Vezier, C. Gelau, L. Eckstein, T. Victor, W. Koenig, V. Moutal, and W. Hoefs. The European statement of principles on human machine interaction, 2005.
- [105] A. Stokes, C. D. Wickens, and Kite Kirsten. *display technology - human factors concepts*. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, 1990.
- [106] M. Strobl. SPIDER: Das innovative Software-Framework der BMW Fahrsimulation. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert (VDI-Berichte No 1745)*, Düsseldorf, Germany, 2003. VDI-Verlag.
- [107] S. Stusak. *Konzepte zur Anzeige und Bedienung von verteilten Informationen im Fahrzeug*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2010.
- [108] S. Thoma. *Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für Fahrerassistenzsysteme im Kreuzungsbereich*. Dissertation, Technische Universität München, 2010.
- [109] I. Totzke, N. Rauch, and H. P. Krüger. Kompetenzerwerb und Struktur von Menüsystemen im Fahrzeug: Breiter ist besser? *Entwerfen und Gestalten: 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine Systeme*, 5(16):226–249, 2003.
- [110] J. M. Truemper, H. Sheng, M. G. Hilgers, R. H. Hall, M. Kalliny, and B. Tandon. Usability in multiple monitor displays. *ACM SIGMIS Database*, 39(4):74, October 2008.
- [111] R. Vertegaal. Attentive User Interfaces. *Communications of the ACM*, pages 30–33, 2003.
- [112] R. Vertegaal, R. Slagter, G. van der Veer, and A. Nijholt. Eye gaze patterns in conversations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '01)*, pages 301–308, New York, New York, USA, March 2001. ACM.
- [113] J. R. Wallace, R. L. Mandryk, and K. M. Inkpen. Comparing content and input redirection in MDEs. In *Proceedings of the ACM 2008 conference on Computer supported cooperative work (CSCW '08)*, page 157, San Diego, CA, USA, November 2008. ACM.
- [114] H. Wallentowitz and K. Reif. *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik: Grundlagen-Komponenten- Systeme- Anwendungen*. Vieweg+Teubner Verlag, 2010.

- [115] M. Q. Wang Baldonado, A. Woodruff, and A. Kuchinsky. Guidelines for using multiple views in information visualization. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '00)*, pages 110–119, Napoli, Italy, May 2000. ACM.
- [116] C. D. Wickens. Computational models of human performance. Technical report, Aviation Research laboratory, Institute of Aviation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1992.
- [117] C. D. Wickens. Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2):159–177, 2002.
- [118] C. D. Wickens. Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3):449–455, 2008.
- [119] C. D. Wickens, S. Dixon, and B. Seppelt. In vehicle displays and control task interference: The effects of display location and modality. Technical report, University of Illinois, Aviation Research Lab, Savoy, IL, USA, 2002.
- [120] C. D. Wickens, J. Goh, J. Helleberg, W. J. Horrey, and D. A. Talleur. Attentional models of multitask pilot performance using advanced display technology. *Human Factors*, 45(3):360–380, 2003.
- [121] U. Winter, T. Grost, and O. Tsimhoni. Language Pattern Analysis for Automotive Natural Language Speech Applications. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, USA, 2010. ACM.
- [122] L. Young and D. Sheena. Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods Instrumentation*, 7(5):397–429, 1975.
- [123] S. Zhai, C. Morimoto, and S. Ihde. Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems the CHI is the limit (CHI '99)*, pages 246–253, Pittsburgh, PA, USA, May 1999. ACM.
- [124] H. Zhang and W. Ng. Speech Recognition Interface Design for In-Vehicle System. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2010)*, Pittsburgh, USA, 2010. ACM.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Verteilte Informationen im Alltag am Beispiel von Lektüren an unterschiedlichen Orten in einer Wohnung.	1
2.1	Historische Aufteilung der primären, sekundären und tertiären Aufgaben im Fahrzeuginnenraum.	9
2.2	CID unterschiedlicher Hersteller. a) Audi A8 MMI. b) BMW 5er iDrive. c) Mercedes C-Klasse Comand. d) Porsche Panamera PCM.	12
2.3	a) BMW 5er: Kombi mit ACC-Anzeige. b) VW Golf: Kombi mit der Verbrauchsanzeige.	13
2.4	a) Ford Focus: Digitales Kombi mit FIS-Menü. b) BMW 6er: Display unterhalb der Rundinstrumente mit Navigationshinweisen und Radiosenderliste.	13
2.5	Porsche Panamera: Multi-Function Display mit a) Fahrzeugmenü und b) Kartenansicht des Navigationssystems.	14
2.6	a) BMW 5er: vollfarben HUD. b) Peugeot 3008: monochromes HUD.	15
2.7	ZBE. a) BMW iDrive. b) Audi MMI. c) Mercedes Comand.	16
2.8	MFL von a) BMW und b) Mercedes.	17
2.9	Berührungsempfindliche Bildschirme zur Interaktion mit dem FIS. a) VW Golf IV. b) Jaguar XJ.	18
2.10	Touchpads zur alphanumerischen Eingabe. a) Audi A8. b) BMW Prototyp.	18
2.11	a) Fahrscene des LCT auf einer dreispurigen Straße. b) Schild: Wechsel auf die rechte Spur. c) Schild: Wechsel auf die linke Spur.	20
2.12	Visualisierung der mittleren Spurabweichung als Fläche zwischen dem normativen Modell (grüne Linien) und dem gefahrenen Kurs (blaue Linie). a) Kleine MDEV. b) Große MDEV.	21
2.13	Dikablis Blickerfassungsbrille.	24
2.14	Grundlegende Architektur der Prototypen und des Fahrsimulators.	26
3.1	Multiple Resource Model nach Wickens [118].	32
3.2	Konzeptionelles Modell der visuellen (fokalen, ambienten) Aufmerksamkeit, die Parameter des SEEV-Modells, unterschiedliche AOIs und verschiedene Aufgaben (1-4). (In-Vehicle Technology, IVT) [45].	32
3.3	Aufwand für den Abruf von Informationen abhängig von der räumlichen Verteilung [116].	34
3.4	Menüdarstellung im HUD. a) Hauptmenü mit fünf Einträgen in Matrizenform. b) Submenü in Matrizenform. c) Listendarstellung des Submenüs. [1]	35

3.5	a) Problem der physikalischen Lücke zwischen zwei Bildschirmen bei Interaktion. b) <i>Shortest path</i> Kalibrierung zwischen den Bildschirmrändern. [89]	39
3.6	a) Mausbewegung bei konventionellen Systemen. b) M3 Maus: Durch Taten- druck wird der Cursor in das andere Display gelegt. [5]	40
3.7	Beispiele für MCV. a) Microsoft Outlook. b) Apple iTunes.	41
3.8	Informationsdimming zur Filterung von Funktionen und Informationen [67]. a) Radio aktiv. b) Radio deaktiviert. c) Navigation aktiv.	45
3.9	Anpassung des HUD abhängig von der Fahrsituation [7]. a) Relevante, kurz be- vorstehen Verkehrshinweise. b) ACC während der Adjustierung des Abstandes. c) Navigationshinweise.	46
3.10	LTT-Avatar. a) Zuhörmodus. b) Nicht-Zuhörmodus. [80]	48
4.1	Geschachteltes Versuchsdesign. Faktoren: Bedienelemente, Anzahl sichtbarer Listenelemente, Displays.	56
4.2	Listendarstellung der Prototypen zur Bearbeitung der Aufgaben. a) Drei Zeilen. b) Fünf Zeilen. c) Sieben Zeilen.	56
4.3	Versuchsaufbau mit Mock-up und Fahrszene	58
4.4	Vergleich der Anzeigeorte: durchschnittliche und maximale Blickdauer (in Se- kunden).	59
4.5	Vergleich der Anzeigeorte: Blickanzahl und kumulierte Blickdauer (in Sekunden).	60
4.6	Vergleich der Anzeigeorte: Bearbeitungszeiten (in Sekunden).	60
4.7	Vergleich der Anzahl sichtbarer Listenelemente: Blickanzahl und gesamte Blick- dauer (in Sekunden).	61
4.8	85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten (in Sekunden).	63
4.9	Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der Anzeigeorte (n=28).	64
4.10	Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der Bedienelemente (n=28).	64
4.11	Ergebnisse des DALI-Fragebogens: Ablenkungspotenzial der sichtbaren Listen- elemente (n=28).	65
4.12	Ergebnisse des Rankings der Display-Controller-Kombinationen (n=28).	65
4.13	Prototypen für die Bearbeitung der Aufgabe mit zwei Hierarchieebenen. a) Erste Ebene, b) Zweite Ebene.	67
4.14	Prototypen für die Bearbeitung der Aufgaben mit vier Hierarchieebenen. a) Erste Ebene. b) Zweite Ebene. c) Dritte Ebene. d) Vierte Ebene.	68
4.15	Vergleich der Anzahl an Menüebenen: durchschnittliche und maximale Blickdauer.	69
4.16	Vergleich der Anzahl an Menüebenen: kumulierte Blickdauer und Anzahl der Blicke.	69
4.17	Vergleich der Anzahl an Menüebenen: maximaler und durchschnittlicher Ab- stand zum Vorderfahrzeug.	70
4.18	Subjektive Bewertung des Ablenkungspotenzials der Hierarchieebenen (n=27).	71
5.1	Baumdiagramm des Telefonmenüs. Weiße Knoten ≤ 10 Einträge, orange Knoten ≤ 30 Einträge, gelbe Knoten > 30 Einträge.	77

5.2	Detail-Übersicht-Konzept. a) Kontaktübersicht im Kombi und Kontaktdetails im HUD (Cursor befindet sich im Kombi). b) Nach Bestätigung der Auswahl wechselt der Fokus des Eingabegerätes auf das HUD. [107]	79
5.3	Übersicht-Detail-Konzept. a) Limitierte Anzahl an Nachrichtenüberschriften im HUD und Nachrichtentext im Kombi (Fokus des Cursors liegt im HUD). b) Bestätigung der Auswahl und Fokuswechsel des Eingabegerätes auf das Kombi zum Scrollen im Text. [107]	80
5.4	Kategorisierungskonzept am Beispiel einer MP3-Sammlung. a) Kategorien im Kombi und resultierende Titelliste im HUD (Cursor-Fokus liegt im Kombi). b) Durch die Bestätigung der selektierten Kategorie wechselt der Fokus des Eingabegerätes auf das HUD. [107]	80
5.5	FoCoCu für lange Listen. a) - b) Zur schnellen Navigation durch Listen wird die sichtbare Seite in Dreierschritten gescrollt (Bedienfokus liegt auf dem Kombi). c) - d) Wird der Bereich bestätigt, springt der Fokus des Bedienelementes auf das HUD. Dort kann die Feinauswahl getroffen werden. [107]	81
5.6	Bedienelemente im Fahrzeug. a) ZBE in der Mittelkonsole. b) Bedienelemente des MFL.	82
5.7	Funktionsbelegung der Bedienelemente am MFL zur Interaktion mit verteilten Anwendungen.	83
5.8	Menübereich im Kombi. a) Oberste Hierarchieebene. b) Zweite Hierarchieebene.	87
5.9	Hauptmenü im Kombi.	88
5.10	Unkoordinierte Ansicht im HUD und Kombi. a) HUD inaktiv und Bedienfokus des MFL liegt auf dem Kombi. b) HUD aktiv und Bedienfokus des MFL liegt auf dem HUD.	88
5.11	Detail-Übersicht-Konzept mit Apothekenlisten im Kombi und Details im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.	89
5.12	Übersicht-Detail-Konzept mit Coverflow im HUD und Titelliste. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.	89
5.13	Kategorisierungskonzept mit alphabetischen Kategorien im Kombi und einer Liste im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.	90
5.14	FoCoCu-Konzept mit schneller Navigation im Kombi und Detailauswahl im HUD. a) Kombi aktiv. b) HUD aktiv.	90
5.15	Klassische Variante der Individualisierung der Displays. a) Optionsmenü in der Telefonanwendung. b) Optionsmenü der Multimediaanwendung.	91
5.16	Moderne Variante zur Individualisierung der Displays. a) HUD. b) Kombi. c) CID.	92
5.17	Versuchsablauf zur Evaluierung der verteilten koordinierten Anzeigen und der Konzepte zur Individualisierung der Anzeigorte [107].	95
5.18	a) Startpunkt der Aufgabenbearbeitung bei den Prototypen KatIC+HUD und Kat-IC im Kombi. b) Startpunkt der Aufgabenbearbeitung des KatHUD-Prototypen im HUD.	96
5.19	a) KatIC: Hierarchiewechsel im Kombi. b) KatHUD: Hierarchiewechsel im HUD. c) KatIC+HUD: Hierarchie- und Displaywechsel.	97

5.20	Aufgabenbearbeitung mit dem FoCoCu. a) Triple Cursor im Kombi zur schnellen Navigation durch MP3-Sammlung. b) Feinauswahl des Musiktitels im HUD.	98
5.21	Anzahl der Blicke und durchschnittliche Blickdauer auf das HUD.	100
5.22	Maximale Blickdauer und 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickdauer auf das HUD.	101
5.23	Blickanzahl und durchschnittliche Blickdauer auf das Kombi.	101
5.24	Maximale Blickdauer und 85-Prozent-Perzentil der maximalen Blickzeiten auf das Kombi	102
5.25	Bedienzeiten aller Systeme (KatHUD, KatIC, KatIC+HUD und FoCoCu).	102
5.26	Anzahl der Blicke und durchschnittliche Blickdauer in die Fahrscene.	103
5.27	Kumulierte Blickdauer in die Fahrscene.	103
5.28	Ranking der Konzeptvarianten am Ende der LCT-Bedingung.	105
5.29	Bewertung der Aussagen über die verteilten koordinierten Konzepte.	105
6.1	POI-Liste von Apotheken. a) Apothekenübersicht im Kombi. b) Detailinformationen im HUD.	112
6.2	Blickbasierter Fokuswechsel des Eingabemediums ZBE. a) Anwender blickt auf das Kombi. b) Anwender blickt auf das HUD.	113
6.3	Fokuswechsel mit dem ZBE.	114
6.4	Einblenden der Detailinformationen im HUD durch Blickgeste. a) Informationen im HUD ausgeblendet. b) Per Blickgeste vom Kombi in das HUD werden Informationen eingeblendet.	114
6.5	Durchschnittliche Bedienzeiten und MDEVs des blickgestützten und controllerbasierten Fokuswechsels.	117
6.6	Bewertung der Attraktivität des blickgestützten und controllerbasierten Fokuswechsels anhand des AttrakDiff-Fragebogens.	117
6.7	Bedienzeiten und MDEV für das Einblenden mittels Blickgeste und Tastendruck.	118
6.8	Bewertung der Attraktivität der Einblendstrategien mit Tastendruck und Blickgeste anhand des AttrakDiff-Fragebogens.	119
6.9	a) Blickgestützter Fokuswechsel. b) controllerbasierter Fokuswechsel mit eindeutiger Bedienelement-Display-Zuordnung.	121
6.10	Monatsansicht des Kalenders. a) Visualisierung im CID. b) Visualisierung im Kombi.	122
6.11	Detailansicht des ausgewählten Tages. a) Visualisierung im Kombi. b) Visualisierung im HUD.	122
6.12	Bedienzeit und Blickstrategie des blickgestützten ET-IN- und controllerbasierten NET-IN-Konzeptes.	127
6.13	Blickstrategien bei den Einblendestrategien der blickgestützten und controllerbasierten Interaktionskonzepte.	129
6.14	Blickstrategie der Probanden bei den unterschiedlichen Displayverbänden.	129
6.15	Kumulierte und maximale Blickdauer auf die Terminansicht im Kombi beziehungsweise HUD.	130

6.16	Anzahl der Blicke und kumulierte Blickdauer in beide Anzeigeorte der Displayverbände.	131
6.17	Anzahl der Bedienschritte bei der Interaktion mit den Displayverbänden.	131
A.1	Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Anzeigeort. .	145
A.2	Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Anzahl sichtbarer Listenelemente.	146
A.3	Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Bedienelemente.	147
A.4	Tabellarische Übersicht der erhobenen objektiven Daten für die UV Bedienelemente.	148
A.5	Konzeptvariante 1 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Check Boxes im Optionsmenü.	149
A.6	Konzeptvariante 2 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Langdruck und Schieben des Controllers.	149
A.7	Konzeptvariante 3 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Langdruck und Pop-Up zur Displaywahl.	150
A.8	Konzeptvariante 5 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Doppeldruck und Pop-Up für Entscheidung, ob Fokus oder Anwendung verschoben werden soll. Drehen für die Displayauswahl.	150
A.9	Konzeptvariante 4 zur Individualisierung der Anzeigeorte: Doppeldruck und Drehen mit MFL oder Controller zur Displaywahl.	151
A.10	Permutation der Reihenfolge bei der Evaluierung der koordinierten und unkoordinierten Anzeigen.	152
A.11	Tabellarische Übersicht der erhobenen Blickdaten des Intra-Display-Vergleich für das HUD.	153
A.12	Tabellarische Übersicht der erhobenen Blickdaten des Intra-Display-Vergleich für das Kombi.	154
A.13	Vorversuch Fokuswechsel: objektive und subjektive Resultate des Vorversuchs zum Fokuswechsel (n=17).	155
A.14	Vorversuch Einblende-strategien: objektive und subjektive Resultate des Vorversuchs zu den Einblende-strategien (n=17).	155
A.15	Objektive Ergebnisse des Vergleiches der Interaktionskonzepte NET-IN (Controller-basiert) und ET-IN (blickgestützt).	156
A.16	Tabellarische Übersicht der objektiven Resultate des Vergleiches der Displayverbände (CID-HUD, CID-IC, IC-HUD).	156
A.17	Tabellarische Übersicht der objektiven Resultate des Vergleiches der Einblende-strategien.	157

