



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Maschinenwesen

Lehrstuhl für Ergonomie

Bedienkonzeptentwicklung für Fahrerinformationssysteme basierend auf einem Touchpad mit haptischer Rückmeldung

Dipl.-Ing. (Univ.) Andreas Blattner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzende:	Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Sonja Berensmeier
Prüfer der Dissertation:	1. Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
	2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Die Dissertation wurde am 5. März 2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 15. Juli 2014 angenommen.

Meinen Eltern
und meiner Familie

Danksagung

Zur erfolgreichen Durchführung der vorliegenden Arbeit haben etliche Personen beigetragen, bei denen ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte.

Hier ist zu allererst mein Doktorvater, Univ.-Prof. Dr. phil. Klaus Bengler, vom Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München zu nennen. Ich bedanke mich insbesondere für die vielen guten Ideen und Vorschläge, die inspirierenden Gespräche und Diskussionen und sein stets offenes Ohr für Probleme und Fragen aller Art.

Außerdem geht mein besonderer Dank an Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp für das Übernehmen des Zweitgutachtens und ebenfalls an Univ.-Prof. Dr. Sonja Berensmeier für den Vorsitz des Prüfungsausschusses.

Des Weiteren möchte ich mich bei den Abteilungen I/EE-71 und I/AEV-3 der AUDI AG bedanken, die dieses Projekt erst ermöglicht haben. Im Speziellen gilt mein Dank dabei Dr. Werner Hamberger, Andreas Reich und Paul Sprickmann Kerkerinck, die mich durch ihr Engagement, ihr Fachwissen und ihre Ratschläge immer bestmöglich unterstützt haben.

Zudem geht mein Dank an meine Kollegen Christine Ullmann, Stefan Mayer und Hannes Mögele aus der HMI-Vorentwicklung in der Abteilung I/AEV-3, die mir bei Fragen und Problemen stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ferner möchte ich mich bei meinen Kollegen aus der Abteilung I/EE-71 für die Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung meiner Probandenstudien und die tolle Zusammenarbeit bedanken. Dies sind insbesondere Marek Mayer und Stefan Zettl sowie Günter Knorr, Nikolay Lotz, Peter Heini, Thomas Merl, Ansgar Moos, Alexander Geilfuß, Markus Wessel, Jürgen Steinle, Bernd Jäger und Christian Härtle – dankeschön für alles.

Meinen Kollegen vom Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München gilt ebenfalls mein besonderer Dank für die tiefgreifenden und aufschlussreichen Diskussionen sowie den wissenschaftlichen Austausch – besonders im Hinblick auf Versuchsplanung und statistische Auswertung. Danke sage ich auch

DANKSAGUNG

für die immerwährende Hilfsbereitschaft, die hervorragende Zusammenarbeit und noch vieles mehr. Stellvertretend für alle Kollegen möchte ich mich an dieser Stelle ganz besonders bei Armin Eichinger, Antonia Conti und Carsten Dlugosch bedanken.

Darüber hinaus ergeht ein herzliches Dankeschön an Timo Mischler, Corinna Duscher und Carlo Heller, die durch ihr Engagement und ihren vorbildlichen Einsatz in mehreren Studienarbeiten einen wichtigen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Meiner Freundin Stefanie Duna danke ich für das Verständnis und die Geduld, aber auch ganz besonders für die motivierende Unterstützung und den Rückhalt während der gesamten Zeit. Einen wesentlichen Anteil am Gelingen dieser Arbeit hat aber auch meine Familie.

Zunächst möchte ich mich in diesem Sinne bei meinen mittlerweile leider verstorbenen Großeltern Rosina und Josef Sigl bedanken, die seit meiner frühesten Kindheit an immer für mich da waren und mir sehr viel Wertvolles mit auf den Weg gegeben haben.

Des Weiteren geht mein besonderer Dank an meine beiden Geschwister Renate und Christian Blattner mit ihren Familien. Auch sie haben mich Vieles gelehrt und mir stets bei all meinen Problemen und Fragen weitergeholfen. Ich bin ihnen sehr dankbar für alles, was sie bisher für mich getan haben und auch immer noch für mich tun.

Der größte Dank gebührt allerdings meinen geliebten Eltern, Helga und Hans Blattner. Zu jeder Zeit und in jeder Situation meines Lebens haben sie mich mit all ihrer Kraft unterstützt und zu mir gehalten. Sie waren und sind immer für mich da und haben mir in jeder Lebenslage den nötigen Rückhalt gegeben. Sie haben mich auf meinem Weg stets bestärkt und dadurch diese Arbeit erst möglich gemacht – herzlichen Dank für alles!

München, den 26.02.2014

Abstract

In modernen Fahrzeugen ist ein stetiger Anstieg der Anzahl an integrierten Komfort- und Unterhaltungsfunktionen (i.e. Tertiärfunktionen) zu verzeichnen, die heutzutage in Form sogenannter Fahrerinformationssysteme (FIS) genutzt werden. Um eine sichere Bedienung dieser Vielzahl an Funktionen während der Fahrt zu gewährleisten, wird in dieser Arbeit ein Gesamtbedienkonzept entwickelt, das eine möglichst effiziente und intuitive Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem sicherstellen soll.

Hierfür wird basierend auf theoretischen Betrachtungen und vorangegangenen Untersuchungen ein Touchpad mit haptischer Rückmeldung als Bedienelement des Fahrerinformationssystems gewählt. Für ein solches haptisches Feedback auf einem Touchpad ergeben sich zwei Umsetzungsprinzipien – eine adaptiv veränderliche Touchpad-Oberfläche (reelle haptische Rückmeldung) oder ein Vibrationsfeedback (simulierte haptische Rückmeldung). Diese werden in einer Realfahrtstudie miteinander verglichen, wobei sich klare Vorteile für das reelle haptische Feedback aufzeigen. Daher wird ein Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung weiterentwickelt und implementiert. Dieses ermöglicht die Bedienung der unterschiedlichen Menüaufgaben eines modernen Fahrerinformationssystems über verschiedene Interaktionsarten (z.B. Handschrifteingabe, Multi-touch-Gesten und erfühlbare Slider). Zur Ermittlung der optimalen Kombination der Interaktionsarten mit den verschiedenen Bedienungsaufgaben erfolgt die Durchführung einer Fahrsimulatorstudie. Dabei zeigt sich, dass die einzelnen Aufgaben mithilfe mehrerer Interaktionsarten redundant zu bedienen sein sollten. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wird das zugehörige Menüsystem entwickelt und software-ergonomische Grundregeln formuliert, die speziell an die Bedienung mittels des entstandenen Touchpads mit haptischem Feedback angepasst sind. Das so entstandene Gesamtbedienkonzept wird in einer Fahrsimulatorstudie mit einem Dreh-Drück-Steller Serienbedienkonzept verglichen. Dabei zeigen sich sowohl noch vorhandene Schwächen als auch Stärken des Bedienkonzepts basierend auf dem Touchpad mit haptischer Rückmeldung auf.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Ausgangslage	5
1.2. Motivation und Ziele.....	7
1.3. Aufbau der Arbeit.....	8
2. Mensch-Maschine-Systeme zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug	11
2.1. Das Wirkungsgefüge Mensch-Maschine.....	12
2.2. Das Fahrzeug als das Teilsystem Maschine.....	14
2.3. Der Fahrer als der Systemteil Mensch.....	16
2.3.1. Der haptische Sinn zur Informationsaufnahme.....	19
2.3.2. Modelle zur Informationsverarbeitung des Menschen	30
2.4. Die Interaktion über das Fahrerinformationssystem	37
2.4.1. Grundlagen zu Menüsystemen.....	39
2.4.2. Aufgabentypen im Fahrzeug.....	48
3. Anforderungen an ein haptisches Touchpad (HTP) für ein Fahrerinformationssystem (FIS)	50
3.1. Verschiedene Arten eines haptischen Feedbacks	50
3.1.1. Aktorprinzipien zur Umsetzung.....	53
3.1.2. Anwendbarkeit im Fahrzeug	55
3.2. Realisierte Varianten eines haptischen Touchpads im Fahrzeug	55

3.3. Realfahrtstudie – Vergleich reelles und simuliertes haptisches Feedback.....	57
3.3.1. Hypothesen	57
3.3.2. Studiendesign.....	58
3.3.3. Durchführung.....	61
3.3.4. Auswertung und Ergebnisse.....	63
3.4. Aufbau eines neuen Prototypen des haptischen Touchpads.....	72
4. Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems (FIS)	78
4.1. Die Interaktionsarten des haptischen Touchpads	78
4.1.1. Beschreibung der Interaktionsarten.....	78
4.1.2. Darstellung der Interaktionsarten auf dem Display	80
4.1.3. Usability-Befragung – Nutzerhinweise auf dem Display über die Verfügbarkeit der Interaktionsarten des haptischen Touchpads.....	80
4.2. Kritische Aufgaben eines Fahrerinformationssystems für das haptische Touchpad.....	81
4.3. Zuordnung der Interaktionsarten zu den kritischen Aufgaben.....	82
4.4. Fahrsimulatorstudie – Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den kritischen Aufgaben	83
4.4.1. Hypothesen	84
4.4.2. Studiendesign.....	84
4.4.3. Durchführung.....	89
4.4.4. Auswertung und Ergebnisse.....	91
4.5. Erkenntnisse für die Gestaltung des Menü-Konzepts	102

5. Das Menü-Konzept zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems (FIS) mithilfe des haptischen Touchpads (HTP).....	104
5.1. Stand der Technik / Benchmarking.....	104
5.2. Ausgangslage für das Menü-Konzept des haptischen Touchpads	105
5.3. Die Entwicklung des Menü-Konzepts für das haptische Touchpad	107
5.3.1. Vorgehensweise	108
5.3.2. Das Menü-Konzept für das haptische Touchpad (HTP)	111
6. Evaluation des Gesamtbedienkonzepts zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems (FIS)	129
6.1. Vergleichssystem: Dreh-Drück-Steller (DDS) Serienbedienkonzept aus dem Audi A3	129
6.2. Fahrsimulatorstudie – Evaluation des Gesamtbedienkonzepts	131
6.2.1. Hypothesen	131
6.2.2. Studiendesign.....	132
6.2.3. Durchführung.....	136
6.2.4. Auswertung und Ergebnisse.....	138
6.3. Erkenntnisse für das entwickelte Gesamtbedienkonzept.....	150
7. Zusammenfassung	155
7.1. Diskussion	157
7.2. Ausblick	163
Literaturverzeichnis	166
Abbildungsverzeichnis	177

Tabellenverzeichnis	182
Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug	184
Anhang B: Leitfaden, Vorabfragebogen und Attrakdiff für die Realfahrtstudie „Vergleich reelles und simuliertes haptisches Feedback“	189
Anhang C: Leitfaden, Vorabfragebogen für die Fahrsimulator-Studie „Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den kritischen Aufgaben“	201
Anhang D: Checklisten zur Entwicklung des Menü-Konzepts	213
Anhang E: Leitfaden, Vorabfragebogen, ISONORM 10 und MiniAttrakdiff 2 für die Fahrsimulatorstudie „Evaluation des Gesamtbedienkonzepts“	216

1. Einleitung

Setzt man sich heutzutage in ein modernes Automobil, so unterscheidet sich der Innenraum bzw. im Speziellen die Mittelkonsole erheblich von früheren Fahrzeugen. In vergangenen Tagen waren beispielsweise ein Radio und eine Heizung alles, was ein Pkw an Unterhaltungs- und Komfortfunktionen zu bieten hatte. Deren Bedienung wurde über Knöpfe, Schieber und Anzeigeinstrumente ermöglicht. Für die große Funktionsvielfalt moderner Fahrzeuge ist dies nicht mehr praktikabel (Broy, 2011), da die enorme Vielzahl an Bedienelementen zu einer starken, zusätzlichen visuellen Belastung des Fahrers führen würde (Bernstein, Broecker, Marz & Robin, 2001). Daher findet man dort heute sogenannte Infotainmentsysteme oder auch Fahrerinformationssysteme (FIS) vor. Diese bestehen aus einer Anzeige-/ Bedieneinheit, welche kombiniert (z.B. Touchscreen) oder getrennt (z.B. Mitteldisplay und Dreh-Drück-Steller) ausgeführt sein kann, und einem zugehörigen Menüsystem. Darüber lassen sich zentral die unterschiedlichen Funktionen und Features des Fahrzeugs aus den Bereichen Entertainment, Information, Kommunikation und Assistenz bedienen (Meroth, Tolg & Plappert, 2008). Einige Beispiele hierfür sind Radio, Navigationssystem, Telefon und auch Fahrerassistenzsysteme. Dabei ist allerdings noch keine Obergrenze erreicht, denn es werden laufend weitere Funktionen ins Fahrzeug integriert – Internet, Mail, TV, Anbindung von Smartphones, Einbindung von Apps sind als Beispiele zu nennen. Diese stetig wachsende Fülle an Funktionen geht laut Eibl (2011) einher mit einer Abnahme der Gebrauchstauglichkeit der Systeme und einer zunehmenden Beanspruchung und Belastung für den Fahrer. Vor allem wenn diese Features während der Fahrt, also in einer sogenannten Dual-Task Situation, bedient werden. Zudem sind Fahrerinformationssysteme nach Meroth & Tolg (2008) sowie Heilemann & Palm (2011) inzwischen hochkomplexe Systeme, an die hohe Anforderungen in Bezug auf innovative Technik, Qualität, Sicherheit und Lebensdauer gestellt werden. Denn sie sollen eine Bedienung aller Tertiärfunktionen (i.e. Unterhaltungs- und Komfortfunktionen) (Rassl, 2004), die das Fahrzeug heute oder auch in Zukunft zu bieten hat, bei minimalem Ablenkungsgrad von der eigent-

lichen Hauptaufgabe der Fahrzeugführung ermöglichen. Deshalb soll in dieser Arbeit bei der Entwicklung eines Gesamtbedienkonzepts die folgende zentrale Fragestellung berücksichtigt und geklärt werden:

Wie kann eine möglichst effiziente und intuitive Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem realisiert werden?

Zur Beantwortung der Frage liegt der Fokus zum einen auf dem Fahrer bzw. dem Menschen mit seinen Eigenschaften und Fähigkeiten (siehe Abschnitt 2.3). Dieser durchläuft nach Wickens (2009) für die Ausführung einer jeden Handlung, wie zum Beispiel die Auswahl einer Tertiärfunktion des Fahrzeugs, den „Informationsverarbeitungsprozess des Menschen“. Dieser Prozess, der in Abschnitt 2.3 genauer erläutert wird, besteht aus den drei Phasen Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung (Bubb, 1993a). Zum anderen steht das Fahrerinformationssystem im Vordergrund, über das der Fahrer die Tertiärfunktionen des Fahrzeugs bedienen kann. Damit die Interaktion zwischen beiden möglichst effizient und intuitiv abläuft, sollte das Fahrerinformationssystem für alle drei genannten Phasen des Informationsverarbeitungsprozesses an die Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen angepasst werden.

Für die Aufnahme von Informationen aus der Umwelt stehen dem Menschen seine fünf Sinne Fühlen (=haptischer Sinn), Sehen (=visueller Sinn), Hören (=auditiver Sinn), Riechen (=olfaktorischer Sinn) und Schmecken (=gustatorischer Sinn) zur Verfügung (Bubb, 1993a). In Anlehnung an Dahm (2006) beschränken sich die meisten heute vorkommenden Mensch-Maschine-Systeme (siehe Kapitel 2) auf den visuellen, den auditiven und den haptischen Sinn. Bei der Bedienung eines Fahrerinformationssystems während der Fahrt besteht jedoch ein genereller Nachteil in der starken Beanspruchung des visuellen Kanals. Dieser wird sowohl zur Bewältigung der Fahraufgabe als auch für die Interaktion mit dem Fahrerinformationssystem hauptsächlich verwendet. Diese als nachteilig erachtete Tatsache wird durch die Aussagen von Wickens (1984), Wickens, Lee, Liu & Gordon-Becker (2004b) sowie Jürgensohn & Timpe (2001) bestätigt. Demnach kann es in Dual-Task Situationen zu Interferenzen zwischen den einzelnen Teilaufgaben kommen, wenn die gleichen mentalen Ressourcen beansprucht werden.

diesem Fall sind dies die visuellen Wahrnehmungsressourcen. Außerdem weist Bubb (1992) darauf hin, dass eine redundante Rückmeldung über multiple Sinneskanäle vorteilhaft für die Interaktion mit technischen Systemen ist. Deshalb ist es für diese Dual-Task Situation sinnvoll, den vornehmlich belasteten visuellen Kanal zu entlasten. Dies könnte zum einen über den akustischen Sinn geschehen. Die zweite Möglichkeit, die in dieser Arbeit im Vordergrund steht, ist die Entlastung über den haptischen Sinn. Der Grund dafür ist, dass laut Son, Howe, Wang & Hager (1996) Sehen und Fühlen zwei komplementäre Sinne sind, deren Kombination besonders gut für die Bewältigung komplexer Aufgaben, wie der Bedienung eines Fahrerinformationssystems während der Fahrt, geeignet ist (Grunwald, 2001; Kern, 2009). Hierzu ergänzen Bernstein et al. (2001), dass Fahrerinformationssysteme, bei denen die haptische und die visuelle Wahrnehmung aufeinander abgestimmt sind, die Sicherheit, die Antwort-Zeit und den Komfort für den Fahrer verbessern. Daher konzentriert sich diese Arbeit für die erste Phase des Informationsverarbeitungsprozesses – die Informationsaufnahme – auf den haptischen Sinn des Menschen.

Für die darauffolgende Verarbeitung der aufgenommenen Informationen spielen sogenannte „mentale Modelle“ des Menschen, auf die in Abschnitt 2.3.2 näher eingegangen wird, eine wichtige Rolle. Sie werden vom menschlichen Gedächtnis verwendet, um basierend auf den vorhandenen Informationen eine Entscheidung zu fällen und eine Antworthandlung auszuwählen (Dutke, 1994; Johnson-Laird, 1990; Norman, 1983; Seel, 1991). Daher sollte bei der Gestaltung eines Fahrerinformationssystems darauf geachtet werden, dass es an die Anforderungen und Fähigkeiten der mentalen Modellbildung angepasst wird (Totzke, Schmidt & Krüger, 2003). Hierbei ist eine größtmögliche Übereinstimmung mit dem mentalen Modell des Nutzers bzw. des Fahrers anzustreben. Das System sollte laut Gentner (1983) im idealen Fall analog und konsistent zum entsprechenden mentalen Modell sein. Diese Forderung gilt für alle Bestandteile eines Fahrerinformationssystems, also das Menüsystem und die Anzeige-/ Bedieneinheit.

Ein Menüsystem weist eine gewisse Struktur (Shneiderman & Plaisant, 2010; Wandmacher, 1993) und weitere Eigenschaften auf, die in Abschnitt 2.4.1 näher

beleuchtet werden. Die Menüstruktur hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf das Systemverständnis und das Systemwissen sowie auf die Geschwindigkeit und Qualität der Systembedienung (Norman, 1991; Jacko, Salvendy & Koubek, 1995; Jacko, 2012). Zur positiven Gestaltung dieses Einflusses ist es laut Norman (1991), Jacko et al. (1995) und Jacko (2012) erforderlich, bereits bei der Wahl der Menüstruktur vorhandene mentale Modelle, Anforderungen und Fähigkeiten des Nutzers mit einzubeziehen. Denn dadurch ist es möglich, die Bedienung des Fahrerinformationssystems zu erleichtern. Aus diesem Grund stellt das Menüsystem einen weiteren Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit dar.

In der letzten Phase des Informationsverarbeitungsprozesses – der Informationsumsetzung – führt der Mensch dann über die Bedieneinheit des Fahrerinformationssystems die entsprechende Antworthandlung aus. Hierbei können über die Interaktionsarten (z.B. relative oder absolute Schieberegler, Drehrad, Tasten, Multitouch-Gesten und Handschrifteingabe), die das jeweilige Bedienelement zur Verfügung stellt, die unterschiedlichen Aufgabentypen des Menüsystems, das in der Anzeigeeinheit dargestellt wird, bedient werden (siehe Abschnitt 2.4.2). Dabei sollten die Interaktionsarten des Bedienelements und die Aufgabentypen des Menüsystems bestmöglich aufeinander abgestimmt sein. Denn dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem optimal funktionieren kann. Deshalb wird in dieser Arbeit untersucht, wie die Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems für eine Dual-Task-Situation mit den verschiedenen Interaktionsarten der Bedieneinheit zu kombinieren sind.

Aus den obigen Betrachtungen gehen also die drei nachfolgenden Schwerpunktthemen dieser Arbeit hervor, um eine möglichst effiziente und intuitive Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem zu ermöglichen:

- Haptik (zur Entlastung des visuellen Kanals)
- Menüsysteme (inklusive Menüstruktur und weiterer Eigenschaften)
- Interaktionsarten (in Kombination mit den Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems)

1.1. Ausgangslage

Aktuell begegnen sämtliche Automobilhersteller weltweit der zuvor genannten Fragestellung mit verschiedenen Menüsystemen, wie z.B. hierarchischen oder aufgabenorientierten Menüs, und unterschiedlichen Arten von Bedienelementen, wie etwa Joysticks, Touchscreens, Sprachbedienung oder auch Dreh-Drück-Stellern. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz eines Touchpads, wie es beispielsweise die AUDI AG seit der Markteinführung des aktuellen A8 verwendet. Dieses Touchpad erfüllt derzeit nur einzelne Funktionen, wie etwa das Verschieben des Fadenkreuzes in der Navigationskarte oder eine direkte Schrifteingabe. Es ist aber auch denkbar, ein Touchpad als zentrales Bedienelement einzusetzen, um damit das gesamte Fahrerinformationssystem zu steuern (Spies, 2013).

Die Verwendung von Touchpads im Fahrzeug hat laut Hamberger (2010) einige Vorteile. Den Nutzern sind sie zum einen aus der inzwischen gewohnten Verwendung von Notebook-Touchpads bekannt und sie bieten zum anderen die Möglichkeit einer direkten Schrifteingabe. Des Weiteren sind die Trennung von Anzeige und Bedienung, sowie Robustheit, Optik und eine einfache Bedienung – auch von 2-dimensionalen Aufgaben (z.B. das Verschieben des Ziel-Cursors auf der Navigationskarte) – als positive Argumente zu nennen. Gemäß der Ergebnisse einer Fahrsimulatorstudie verringert ein gezielt gestaltetes Touchpad die Blickablenkung im Vergleich zu einem Dreh-Drück-Steller und einem Touchscreen (Hamberger, 2010). Betrachtet man im Speziellen eine Texteingabe, so reduziert nach Bechstedt, Bengler & Thüning (2005) ein Touchpad verglichen mit einem Dreh-Drück-Steller die Blickabwendungszeiten. Zudem wird von Nutzern die Verwendung eines Touchpads im Vergleich zu einem Touchscreen präferiert (Hamberger, 2010).

Bei der Verwendung eines Touchpads während der Fahrt besteht jedoch weiterhin ein Nachteil in der relativ starken Beanspruchung des visuellen Kanals. Der Grund dafür ist, dass viele Blicke auf das Display nötig sind, um das Fahrerinformationssystem zu bedienen. Denn der Nutzer erhält lediglich über den Bildschirm ein visuelles Feedback über die Position seines Fingers auf dem Touch-

pad. Daher ist es für eine Bedienung während der Fahrt sinnvoll, den bereits durch die Fahraufgabe belasteten visuellen Kanal zu entlasten. Hierfür wird in dieser Arbeit, wie zuvor bereits begründet, das Touchpad um ein zusätzliches haptisches Feedback erweitert. Damit durch diese Multimodalität die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem optimiert werden kann, muss außerdem eine Anpassung der multimodalen Systeme und Konzepte an die Anforderungen im Automobil erfolgen (Bengler, 2001, 2005). Daher sollten die Eigenschaften dieses integrierten haptischen Feedbacks, wie beispielsweise die Stärke und Deutlichkeit der Rückmeldung, für eine Verwendung im Fahrzeug ausgelegt werden. Zudem sind auch bei der Konzipierung des zugehörigen Menüsystems die Erfordernisse und Rahmenbedingungen für die Bedienung eines Fahrerinformationssystems zu berücksichtigen.

Ein Touchpad mit haptischer Rückmeldung für den Einsatz im Automobil, das im weiteren Verlauf auch als „Haptisches Touchpad“ (HTP) bezeichnet wird, wurde bereits von Spies, Peters, Toussaint & Bubb (2009b) und Peters, Spies, Toussaint, Fuxen & Hamberger (2010) entwickelt. Dieses basiert auf Braille-Technologie aus der Blindenschrift. Das bedeutet, dass es aus einer Matrix von Stiften besteht, die ein- und ausgefahren werden können. Durch die so entstehende adaptiv veränderbare Oberfläche ergibt sich die Möglichkeit, die auf dem Display angezeigten Menü-Elemente, wie beispielsweise Tasten oder Slider, als haptisch erfühlbare und bedienbare Elemente auf dem Touchpad darzustellen. Dieses Touchpad mit haptischer Rückmeldung wurde in einer Fahr-simulatorstudie mit einem herkömmlichen Touchpad verglichen. Daraus ergab sich für die Verwendung des haptischen Touchpads in der getesteten Dual-Task Situation eine signifikante Erhöhung der Bediengeschwindigkeit, eine Verbesserung der Fahrleistung und eine Reduzierung der Blickablenkung (Spies, 2013; Spies, Hamberger, Blattner, Bubb & Bengler, 2010; Spies et al., 2009b). Aus den dargelegten Gründen wird in dieser Arbeit ein Touchpad mit haptischer Rückmeldung als Bedienelement für das Fahrerinformationssystem gewählt.

1.2. Motivation und Ziele

Ein haptisches Touchpad zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems bringt, wie zuvor bereits aufgezeigt, einige Vorteile im Vergleich zu anderen Bedienelementen mit sich. Es lassen sich in Bezug auf eine Serientauglichkeit aber auch einige Probleme und Herausforderungen feststellen (Spies, 2013), welche im Zuge dieser Arbeit angegangen werden. Aus diesem Grund wird eine Reduzierung der Kosten und des Bauraumes angestrebt, damit die Integration eines haptischen Touchpads in ein Serienfahrzeug überhaupt möglich wird. Auch die Erkennung der Fingerposition auf dem Touchpad und die Realisierung des haptischen Feedbacks sind Gegenstand der Untersuchungen, um eine angenehmere und präzisere Bedienung sicherzustellen. Bei dem haptischen Touchpad von Spies (2013) wurde das haptische Feedback über eine adaptiv veränderliche Oberfläche des Touchpads realisiert. Zusätzlich zu dieser Art der haptischen Rückmeldung auf einem Touchpad gibt es noch die Möglichkeit, durch eine Vibration der Oberfläche ein haptisches Feedback auf dem Touchpad zu erzeugen (siehe Abschnitt 3.1). Dieses Vibrationsfeedback ist vielen Nutzern beispielsweise aus der Verwendung von Smartphones bekannt, wurde aber bislang nicht für Fahrerinformationssysteme verwendet oder untersucht. Daher soll folgende Fragestellung durch die Durchführung einer Realfahrtstudie beantwortet werden:

Welche Art der haptischen Rückmeldung ist für die Bedienung eines Fahrerinformationssystems mithilfe eines haptischen Touchpads in einer Dual-Task Situation zu verwenden?

Zudem sollen zwei weitere Interaktionsarten – Handschrifteingabe und Multi-touch-Gesten – auf dem Touchpad mit haptischer Rückmeldung integriert und für eine Verwendung während der Fahrt untersucht werden. Denn diese sind den meisten Nutzern etwa von der Bedienung eines Laptops oder eines Smartphones bekannt. Mithilfe sämtlicher Interaktionsarten des haptischen Touchpads (siehe Abschnitt 4.1) können die unterschiedlichen Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems bedient werden. Aus diesem Grund ergibt sich für diese Arbeit die nachfolgende Fragestellung, die in einer Fahrsimulatorstudie untersucht wird:

Welche Interaktionsart des haptischen Touchpads ist zur optimalen Bedienung des Fahrerinformationssystems in einer Dual-Task Situation mit welchem Aufgabentyp zu kombinieren?

Um das gesamte Potential des haptischen Touchpads für die Bedienung des Fahrerinformationssystems ausschöpfen zu können, ist es zudem erforderlich, dass das zugehörige Menüsystem und das Bedienelement, also das haptische Touchpad, bestmöglich aufeinander abgestimmt sind (Bernstein et al., 2001). Aktuell auf dem Markt angebotene Fahrerinformationssysteme dienen im Hinblick auf Funktionsumfang und Anzahl und Art der Features als Ausgangspunkt dieser Arbeit. Deren Menüsysteme sind aber nicht für eine reine Touchpad-Bedienung geeignet, da sowohl die Menüstruktur als auch die grafische Gestaltung der Menüsysteme für eine Bedienung vornehmlich mithilfe eines Dreh-Drück-Stellers oder eines Touchscreens konzipiert sind.

Deshalb soll in dieser Arbeit ein Gesamtbedienkonzept entwickelt werden, das im Hinblick auf Haptik, Interaktionsarten und Menüsystem speziell für die Bedienung eines Fahrerinformationssystems mit dem haptischen Touchpad ausgelegt und gestaltet ist. Daher bilden die eng verzahnte Entwicklung des Touchpads mit haptischer Rückmeldung und des zugehörigen Menüsystems für das Fahrerinformationssystem den zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit. Daraus soll letztlich ein möglichst einfaches, intuitives und sicher zu bedienendes Gesamtbedienkonzept für ein Fahrerinformationssystem entstehen, das in einer Fahrsimulatorstudie mit folgender Fragestellung evaluiert wird:

Wie schneidet das entwickelte Gesamtbedienkonzept für das haptische Touchpad im Vergleich zu einem Serienbedienkonzept mit Dreh-Drück-Steller für den Fall einer Dual-Task Situation ab?

1.3. Aufbau der Arbeit

Zur Klärung der zuvor aufgeführten Fragestellungen wird folgende Vorgehensweise gewählt, die sich im Aufbau dieser Arbeit widerspiegelt und in Abbildung 1-1 veranschaulicht ist.

EINLEITUNG

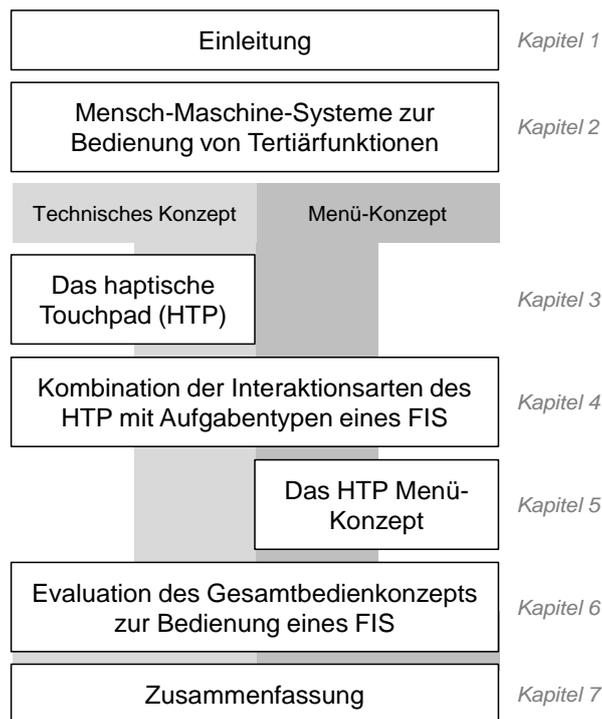


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

Nach diesem einleitenden Kapitel wird in Kapitel 2 „Mensch-Maschine-Systeme zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug“ die Interaktion zwischen Mensch und Maschine theoretisch beleuchtet. Dieses allgemeine Zusammenspiel wird auf die Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug übertragen. Dafür erfolgt eine genauere Betrachtung der Teilsysteme Fahrer und Fahrzeug bezüglich ihrer Eigenschaften und Fähigkeiten. Des Weiteren wird auf deren Interaktion über das Fahrerinformationssystem näher eingegangen.

Basierend auf den theoretischen Erkenntnissen werden in Kapitel 3 zunächst die Anforderungen an ein haptisches Touchpad zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems ermittelt. Hierfür werden verschiedene Arten eines haptischen Feedbacks und deren Realisierbarkeit untersucht. Die technisch umsetzbaren Varianten werden in einer Realfahrstudie miteinander verglichen und anhand der Ergebnisse ein neues Touchpad mit haptischer Rückmeldung entwickelt und aufgebaut.

Dieses haptische Touchpad liefert neben der normalen Touchpad-Bedienung weitere Interaktionsarten (z.B. Multitouch-Gesten), die in Kapitel 4 mit den unterschiedlichen Aufgabentypen (z.B. Listen-Scrolling) eines Fahrerinformationssystems kombiniert werden. Diese für den Nutzer möglichst optimale Kombination wird in einer Fahrsimulatorstudie ermittelt.

Die Ergebnisse daraus fließen in Kapitel 5 in die Entwicklung des Menü-Konzepts ein. Hier wird der genaue Entwicklungsprozess und das entstandene Menü-Konzept zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems mithilfe des haptischen Touchpads in Form einer Spezifikation vorgestellt.

Das daraus hervorgehende Gesamtbedienkonzept, bestehend aus dem haptischen Touchpad und dem Menü-Konzept, wird in Kapitel 6 in einer Fahrsimulatorstudie mit einem Dreh-Drück-Steller Serienbedienkonzept verglichen und evaluiert.

Kapitel 7 fasst die gewonnenen Erkenntnisse abschließend zusammen. Zudem erfolgt eine Diskussion der gewählten Methodik, der Ergebnisse und des entwickelten Konzepts, bevor noch ein Ausblick über zukünftige Entwicklungen und Untersuchungsmöglichkeiten gegeben wird.

2. Mensch-Maschine-Systeme zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug

Aus dem alltäglichen Leben eines Menschen sind Maschinen nicht mehr wegzu-denken. Angefangen beim Wecker und der Kaffeemaschine am Morgen, dem Auto auf dem Weg zur Arbeit, der Werkzeugmaschine oder dem PC am Arbeits-platz, dem Smartphone oder auch dem Fernseher am Abend. Diese beispielhafte Aufzählung ließe sich noch weiter fortsetzen. Das dabei immer wieder auftau-chende Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine zur Bewältigung einer Aufgabe wird dabei allgemein als ein Mensch-Maschine-System (MMS) bezeich-net (Geiser, 1990; Timpe, 2002). Dieses ist laut Bubb & Schmidtke (1993) das Bindeglied zwischen der eingehenden Aufgabenstellung (Aufgabe) und der resul-tierenden Aufgabenerfüllung (Ergebnis).

In dieser Arbeit wird im Speziellen das System bestehend aus Fahrer und Fahr-zeug zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Automobil betrachtet. Hierfür ist zunächst zu klären, welche Aufgaben im Fahrzeug diesem Tertiärbereich zuzu-ordnen sind.

Nach Bubb (2003) kann die gesamte Fahraufgabe in Primär-, Sekundär- und Tertiäraufgaben unterteilt werden.

Die primäre Aufgabe entspricht der eigentlichen Fahrzeugführung, bestehend aus den drei Teilaufgaben Navigation, Führung und Stabilisation (Bernotat, 1970; Bubb, 1993b). Dazu gehörende Aufgaben sind beispielsweise Routenplanung, Spurwechsel, Bremsen, Beschleunigen und Lenken.

Die indirekt auf die Fahraufgabe bezogenen Sekundäraufgaben haben eine unterstützende Wirkung für die primäre Aufgabe, werden dafür aber nicht zwin-gend benötigt. Diese können wiederum in aktive (z.B. Kuppeln und Gang schal-ten) und reaktive (z.B. Hupen, Blinken und Abblendlicht einschalten) Tätigkeiten aufgliedert werden (Bubb, 2003; Rassl, 2004).

Die tertiären Aufgaben beinhalten alle Tätigkeiten, die keinen Zusammenhang mit der eigentlichen Fahrzeugführung aufweisen (Rassl, 2004). Dazu zählt nach Rassl (2004) alles, was den Bereichen Entertainment und Komfort zugeteilt werden kann. Als Beispiele sind Radio, Telefon, Klimaanlage, Internet, Mail und TV zu nennen. Rassl (2004) ordnet auch die Bedienung des Navigationssystems den Tertiäraufgaben zu, was von Spies (2013) in Frage gestellt wird, da es eine Unterstützung des Fahrers zur Routenplanung und Fahrzeugführung darstellt. Die gleiche Diskussion könnte für die immer größer werdende Anzahl an Fahrerassistenzsystemen geführt werden. Sowohl die Verwendung des Navigationssystems als auch sämtlicher Fahrerassistenzsysteme werden im weiteren Verlauf den Tertiäraufgaben zugeordnet. Sie assistieren zwar dem Fahrer bei der primären Fahraufgabe, er kann diese aber auch ohne ihre Unterstützung uneingeschränkt bewältigen.

Die Bedienung der genannten tertiären Aufgaben ist Bestandteil eines jeden modernen Fahrzeuges und kann vom Fahrer mittels des Fahrerinformationssystems vorgenommen werden. Ziel der Arbeit ist es, das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug für den Bereich der tertiären Aufgaben zu optimieren. Dafür ist es erforderlich, dieses Mensch-Maschine-System bzw. dieses Wirkungsgefüge, bestehend aus Mensch (Fahrer) und Maschine (Fahrzeug), und deren Interaktion über das Fahrerinformationssystem im Folgenden genauer zu betrachten.

2.1. Das Wirkungsgefüge Mensch-Maschine

Mithilfe des Fahrerinformationssystems soll es dem Fahrer ermöglicht werden, die ständig zunehmende Anzahl an Tertiärfunktionen im Fahrzeug möglichst einfach bedienen zu können. Das dabei bestehende Wirkungsgefüge aus Mensch und Maschine kann durch das Strukturbild eines Mensch-Maschine-Systems (siehe Abbildung 2-1) allgemein beschrieben werden.

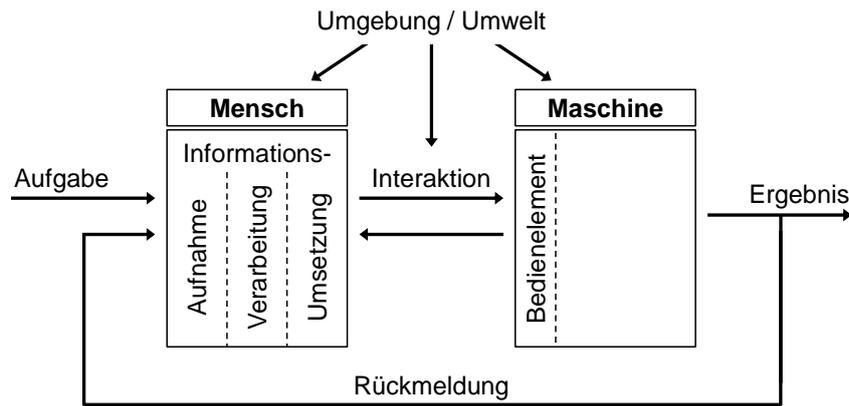


Abbildung 2-1: Strukturbild eines Mensch-Maschine-Systems in Anlehnung an Bubb & Schmidtke (1993)

Die Eingangsgröße dieses gesamten Systems bildet die von außen oder vom Menschen selbst gestellte Aufgabe (Bubb & Schmidtke, 1993). Diese kann beispielsweise das Autofahren, das Tätigen eines Anrufs oder die Wahl eines Radiosenders sein. Um diese Aufgabenstellung zu bewältigen, interagieren die Teilsysteme Mensch und Maschine miteinander. Diese Interaktion findet im Fall der Fahraufgabe zum Beispiel über das Gaspedal und das Lenkrad statt, während ein Telefonat oder eine Senderwahl im Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem getätigt werden kann. Aus diesem Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine geht ein bestimmtes Ergebnis als aktuelle Aufgabenerfüllung hervor, das den Ausgang des Mensch-Maschine-Systems darstellt. Dieser momentane Zustand kann durch den Menschen über eine Rückmeldung der Maschine mit der ursprünglichen Aufgabenstellung verglichen werden. Somit nimmt der Fahrer etwa die Bewegungsänderung des Fahrzeugs wahr oder sieht auf dem Display die gewählte Nummer bzw. den eingestellten Sender. Liegt hierbei eine Abweichung vom gewünschten Ergebnis vor, wird der Prozess erneut durchlaufen, bis der Zielzustand erreicht ist (Bubb & Schmidtke, 1993).

In dem erläuterten Mensch-Maschine-System können laut Bubb & Schmidtke (1993) die beiden interagierenden Teilsysteme und die Interaktion unter dem Einfluss der Umgebung bzw. der Umwelt stehen. Dies kann die Aufgabenerfüllung sowohl in positiver als auch negativer Weise beeinflussen. Im Hinblick auf diese

Umwelteinflüsse wird zwischen physikalischen (messbaren) und sozialen (nicht messbaren) Faktoren unterschieden (Bubb, 1992; Bubb & Schmidtke, 1993; Löhr, 1976). Die physikalischen Umweltfaktoren beeinträchtigen die menschlichen Fähigkeiten (z.B. toxische Einwirkungen), stören den Informationsfluss zwischen Mensch und Maschine (z.B. mangelnde Beleuchtung) und haben einen Einfluss auf die Maschinenfunktion (z.B. mechanische Schwingungen) (Bubb & Schmidtke, 1993). So können beispielsweise schlechte Lichtverhältnisse zu einer Erschwerung der Bedienung eines Fahrerinformationssystems führen. Im Gegensatz dazu beeinflussen die sozialen Umweltfaktoren (z.B. Beruf, Familie) den Menschen in seiner Motivation (Bubb & Schmidtke, 1993). Steht ein Autofahrer zum Beispiel aufgrund eines Termins unter Zeitdruck, kann sich dies auf seine Ausführung der Fahraufgabe auswirken, indem er beispielsweise mit erhöhter Geschwindigkeit fährt, um den Termin noch rechtzeitig zu erreichen.

Aus der Betrachtung des Prozesses zur Bewältigung einer Aufgabe wird deutlich, dass das Mensch-Maschine-System die Verknüpfung zwischen der Aufgabenstellung und dem Ergebnis darstellt (Bubb & Schmidtke, 1993). Damit dieses Wirkungsgefüge bestmöglich funktionieren bzw. realisiert werden kann, muss das Teilsystem Maschine (Fahrzeug) optimal auf den Menschen (Fahrer) abgestimmt sein. Hierfür ist es notwendig, diese beiden Teilsysteme nachfolgend näher zu beleuchten. Diese zunächst allgemeine Betrachtung wird auf den für diese Arbeit relevanten Kontext „Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug“ übertragen.

2.2. Das Fahrzeug als das Teilsystem Maschine

Einen wesentlichen Teil des zuvor beschriebenen Mensch-Maschine-Systems bildet das Teilsystem Maschine. Eine Maschine ist im Allgemeinen ein Werkzeug, das eine gewisse Verstärkereigenschaft für die Zielsetzung des Menschen aufweist (Bubb, 1993a). So unterstützt bzw. verstärkt beispielsweise ein Taschenrechner die Rechenfertigkeit und ein Fahrzeug die Fähigkeit zur Fortbewegung des Menschen. Dabei steht die Informationsumwandlung durch die Maschine im Zentrum der Betrachtung (Bubb, 1993a). Die Struktur des Teilsystems Maschine ist in Abbildung 2-2 schematisch veranschaulicht.

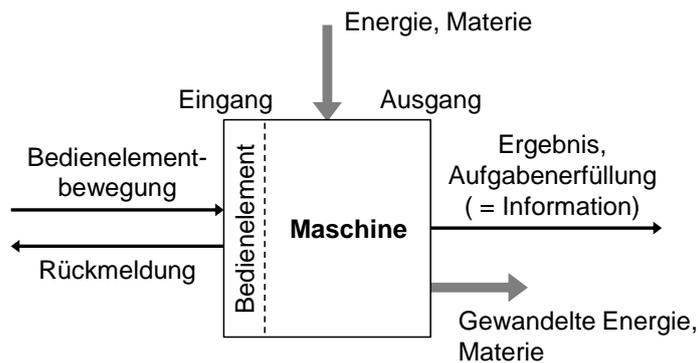


Abbildung 2-2: Teilsystem Maschine in Anlehnung an Bubb (1993a)

Eine Bedienelementbewegung, die der Mensch zur Erledigung einer gewissen Aufgabenstellung vornimmt, stellt die Eingangsinformation der Maschine dar. Dadurch kann der Mensch die Maschine kontrollieren. Diese Manipulation über das Bedienelement führt zu einer Wandlung der die Maschine am Ausgang verlassenden Energie bzw. Materie. Die Maschine bewerkstelligt durch diesen Vollzug der Informationsumwandlung im Idealfall die gewünschte Aufgabenerfüllung des Mensch-Maschine-Systems (Bubb, 1993a). Zudem gibt die Maschine, entweder direkt über seine Reaktion oder indirekt über das Bedienelement, dem Menschen eine Rückmeldung über die Ausführung der Aufgabe und das Ergebnis.

Im Zuge dieser Arbeit stellt das Fahrzeug das beschriebene Teilsystem Maschine dar. Dieses liefert dem Nutzer, also dem Fahrer, die Funktionen, um die zuvor genannten Tertiäraufgaben, wie zum Beispiel die Bedienung von Radio und Heizung, über das Bedienelement des Fahrerinformationssystems ausführen zu können. Hierfür wird in dieser Arbeit aufgrund der in der Einleitung dargelegten Vorteile (siehe Abschnitt 1.1) ein Touchpad mit haptischer Rückmeldung verwendet. Darüber kann der Fahrer die Funktionen des Fahrzeugs steuern, die ihm auf dem Display angezeigt werden. Das Fahrzeug reagiert auf die Eingaben des Menschen und führt die Aufgaben aus. Über das Bedienelement bekommt der Fahrer ein haptisches und über den Bildschirm ein visuelles Feedback, ob er beispielsweise den korrekten Knopf gedrückt hat und somit auch die Aufgabe gemäß seiner Zielsetzung erfüllt wurde.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Teilsystem Maschine erhält vom Menschen über das Bedienelement seine Eingaben und erfüllt dementsprechend die Aufgaben. Der Systemteil „Mensch“ kontrolliert also die Maschine und hat so einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis des Mensch-Maschine-Systems. Für ein möglichst optimales Zusammenspiel dieses Wirkungsgefüges ist es wichtig, bereits bei der Konzeption der Maschine bzw. der Bedienelemente den Menschen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf das zweite Teilsystem, den Menschen mit seinen perzeptuellen und kognitiven Eigenschaften und Fähigkeiten, näher eingegangen.

2.3. Der Fahrer als der Systemteil Mensch

Der Informationsverarbeitungsprozess des Menschen lässt sich, wie in Abbildung 2-1 bereits visualisiert, in die drei Schritte Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung unterteilen (Bubb, 1993a). Zur Bewältigung einer Aufgabe bzw. zur Ausführung einer Handlung werden im menschlichen Gehirn stets diese drei Bereiche durchlaufen.

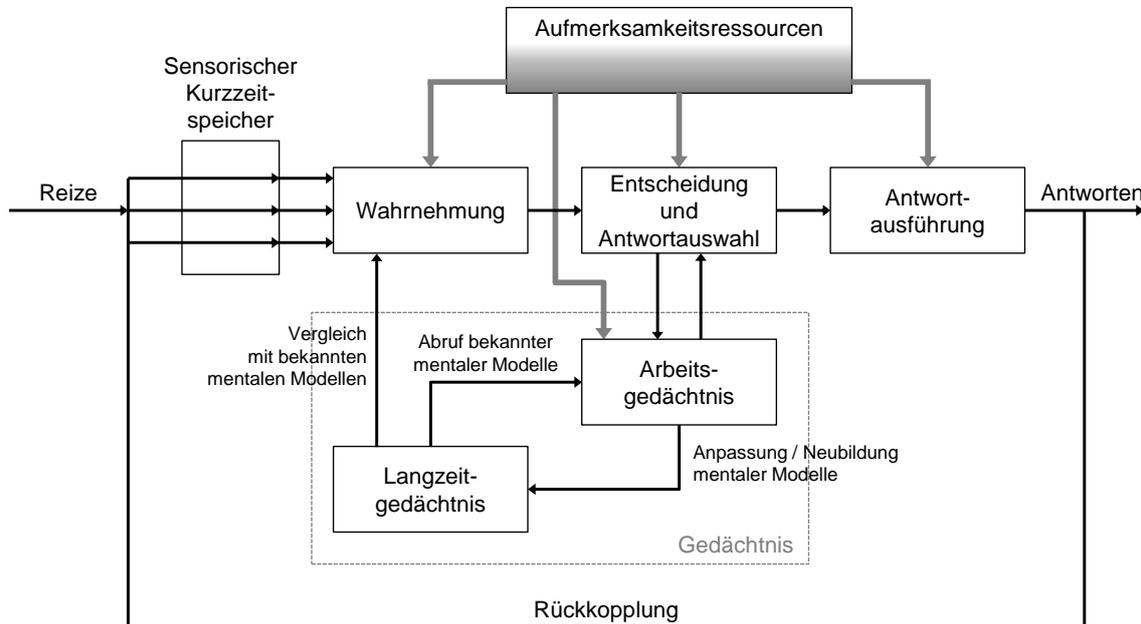


Abbildung 2-3: Informationsverarbeitungsprozess des Menschen (Wickens, 2009; Wickens, Lee, Liu & Gordon-Becker, 2004a)

Dieser Informationsverarbeitungsprozess läuft im Menschen daher auch bei der Erledigung von den zuvor erläuterten Tertiäraufgaben ab und ist in Abbildung 2-3 schematisch abgebildet.

In der ersten Phase nimmt der Mensch über seine Sinnesorgane Informationen in Form von äußeren Reizen (z.B. visuell, akustisch oder haptisch) auf. Diese werden im sensorischen Kurzzeitspeicher gefiltert und kategorisiert (Musterbildung) sowie für sehr kurze Zeit gespeichert (Rudlof, 2006). Wickens (2009) postuliert hierfür eine Speicherdauer ≤ 1 Sek., während Meroth & Tolg (2008) diese sogar auf $\leq 0,1$ Sek. reduzieren. Daraufhin nimmt der Mensch die Informationen wahr, die dabei mit bereits bekannten Mustern bzw. mentalen Modellen (Handlungsschemen) aus dem Langzeitgedächtnis verglichen werden.

Existiert dort bereits ein adäquates mentales Modell für die konkrete Aufgabenstellung, ruft das Arbeitsgedächtnis im Zuge der Informationsverarbeitung dieses ab und verwendet es zur Entscheidung und Antwortauswahl. Andernfalls muss ein vorhandenes mentales Modell auf die gestellte Aufgabe angepasst oder eventuell sogar ein neues mentales Modell gebildet werden. Hierfür wird vom Arbeitsgedächtnis nach Ähnlichkeiten (Analogien) zu im Langzeitgedächtnis existierenden mentalen Modellen gesucht. Das Auffinden solcher Analogien kann durch die Verwendung von sogenannten Metaphern (Entsprechungen) erleichtert werden (Dutke, 1994; Meroth & Tolg, 2008), wie zum Beispiel durch ein „Lupen-Icon“ als Hinweis auf eine Suchfunktion. Bei verschiedenen Aufgaben wird das Arbeitsgedächtnis je nach Vorhandensein eines mentalen Modells und je nach Übungsgrad bei der Entscheidung und Antwortauswahl unterschiedlich stark beansprucht (Rasmussen, 1986). Dabei ist die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses auf maximal 7 ± 2 psychologische Informationseinheiten (sog. Chunks) begrenzt (Bubb, 1992; Miller, 1956; Preim & Dachzelt, 2010; Rudlof, 2006).

Als letzte Antwort führt der Mensch dann über die Sprache oder seine Extremitäten (Bubb, 1993a) in der Phase der Informationsumsetzung die entsprechende Handlung aus.

Mithilfe der Rückkopplung (siehe Abbildung 2-3) kann der Erfolg der ausgeführten Antwort auf die Aufgabenstellung überprüft werden. Im Laufe des Prozesses werden bei der Wahrnehmung, bei der Entscheidung und Antwortauswahl im Arbeitsgedächtnis und bei der Antwortausführung die Aufmerksamkeitsressourcen des Menschen gebunden (Meroth & Tolg, 2008). Dabei kann bei paralleler Durchführung mehrerer Aufgaben die Begrenztheit der menschlichen Ressourcen zu einer Beeinträchtigung des Prozesses für die einzelnen Teilaufgaben führen (Jürgensohn & Timpe, 2001; Wickens, 1984; Wickens et al., 2004b).

Der beschriebene Informationsverarbeitungsprozess des Menschen wird im Folgenden anhand eines speziellen Anwendungsfalls veranschaulicht, der die Bewältigung von Tertiäraufgaben im Fahrzeug mithilfe eines haptischen Touchpads beinhaltet. Möchte der Fahrer etwa ein Navigationsziel eingeben, werden ihm auf dem Bildschirm verschiedene Funktionen angezeigt (visueller Reiz), die er auf dem haptischen Touchpad zugleich auch erfühlen kann (haptischer Reiz). Über das Lesen und das Ertasten nimmt der Fahrer die verfügbaren Optionen wahr. Mithilfe eines bereits existierenden mentalen Modells für diese Aufgabenstellung entscheidet er sich für die erforderliche Funktion und wählt diese über das haptische Touchpad aus. Hier ist es beispielsweise auch möglich, eine häufig durchgeführte und damit hochgeübte Aufgabe „blind“ auszuführen. Der Fahrer hat in diesem Fall bereits ein Abbild des Menüs im Kopf und kennt die Position der gewünschten Funktion. Über das haptische Feedback kann er diese auf dem Bedienelement erfühlen und auch auswählen. Somit ist zur Erledigung der Aufgabe kein Blick auf den Bildschirm erforderlich. Dadurch werden bei der Bedienung des Fahrerinformationssystems keine visuellen Ressourcen, die der Fahrer auch für die primäre Fahraufgabe benötigt, gebunden und damit einhergehend die Ablenkung des Fahrers minimiert. Besitzt der Fahrer jedoch keine Kenntnisse über das Menü und die Aufgabe einer Zieleingabe und existiert noch kein mentales Modell dafür, liegt eine stärkere Beanspruchung vor. Es werden mehr Aufmerksamkeitsressourcen gebunden, die dem Fahrer für die Fahraufgabe fehlen, und die Dauer bis zur Handlungsausführung erhöht sich.

Die allgemeine Betrachtung des Informationsverarbeitungsprozesses verdeutlicht, auf welche Weise der Mensch basierend auf einer Aufgabenstellung eine gewisse Antworthandlung auswählt und ausführt. Zur Erreichung eines optimierten Wirkungsgefüges Mensch-Maschine ist es aber notwendig, die physiologischen und kognitiven Eigenschaften des Teilsystems Mensch noch genauer zu kennen. Denn dadurch wird es erst möglich, ein an den Menschen (Fahrer) angepasstes Fahrerinformationssystem, bestehend aus Bedienelement (haptisches Touchpad) und Menü-System, und damit eine intuitive Bedienung der Fahrzeugfunktionen zu realisieren. Aus diesem Grund werden die einzelnen Teilbereiche des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses in den folgenden Abschnitten detaillierter behandelt.

2.3.1. Der haptische Sinn zur Informationsaufnahme

Für die erste Phase „Informationsaufnahme“ stehen dem Menschen seine Sinne zur Verfügung (Bubb, 1993a). Darüber nimmt der Systemteil Mensch die äußeren Reize auf. Die fünf menschlichen Sinne Fühlen, Sehen, Hören, Riechen und Schmecken sind in Abbildung 2-4 veranschaulicht. Dabei sind in Klammern die Wahrnehmungsbezeichnung und darunter zusätzlich das Sinnesorgan des jeweiligen Sinnes aufgeführt.

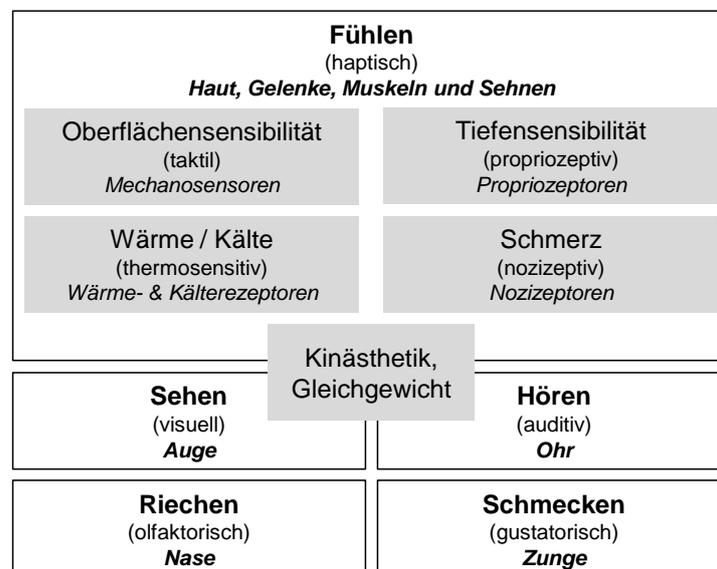


Abbildung 2-4: Aufteilung der menschlichen Sinne in Anlehnung an Reisinger & Wild (2008) und Kern (2009)

Somit ist das Auge für die visuelle (=Sehen), das Ohr für die auditive (=Hören), die Nase für die olfaktorische (=Riechen) und die Zunge für die gustatorische (=Schmecken) Wahrnehmung zuständig. Die haptische Wahrnehmung (=Fühlen) erfolgt über die Haut, Gelenke, Muskeln und Sehnen (Kern, 2009). Demzufolge bildet nach Reisinger (2009) sowie Reisinger & Wild (2008) der haptische Apparat das größte Wahrnehmungsorgan des Menschen und erstreckt sich über den gesamten Körper. Dieser haptische Sinn wird weiter in die nachfolgenden Bereiche unterteilt (siehe Abbildung 2-4).

Zunächst beinhaltet der Sinn „Fühlen“ das Empfinden von Wärme bzw. Kälte (thermosensitive Wahrnehmung) und Schmerz (nozizeptive Wahrnehmung), was über die entsprechenden Rezeptoren wahrgenommen wird. Des Weiteren sind die Oberflächensensibilität der Haut (taktile Wahrnehmung über Mechanorezeptoren für Druck, Berührung und Vibration) und die Tiefensensibilität (propriozeptive Wahrnehmung über Stellungsrezeptoren des Skeletts) Bestandteile des haptischen Sinns (Bubb, 1993a).

Die kinästhetische Bewegungswahrnehmung, der nach Reisinger (2009) sowie Reisinger & Wild (2008) auch der Gleichgewichtssinn zugehört, erfolgt über die Vestibular- und Maculaorgane und stellt nach Kern (2009) einen Sonderfall dar. Dieser Sinn ist zwar eindeutig vorhanden, wird aber nicht zu den klassischen fünf menschlichen Sinnen mit eigenen Rezeptoren gezählt (Kern, 2009). Der kinästhetische bzw. der Gleichgewichtssinn verwendet vielmehr die Sinnesorgane und Rezeptoren des Sehens, Hörens und Fühlens.

Hier ist zu erwähnen, dass nach Reisinger (2009) und Reisinger & Wild (2008) vor allem im angelsächsischen Raum die propriozeptive Wahrnehmung als Bestandteil der Kinästhetik verstanden wird. Laut Bubb (2001) lassen sich diese beiden Wahrnehmungsarten aber eindeutig unterscheiden. Ihm zufolge können Beschleunigungskräfte (kinästhetische Reize), die auf den gesamten Körper einwirken, klar von Skelettkräften (propriozeptive Reize), welche durch Belastung oder Stellung der einzelnen Körperteile verursacht werden, differenziert werden.

Laut Dahm (2006) beschränken sich die meisten heute vorkommenden Mensch-Maschine-Systeme auf den visuellen, den auditiven und den haptischen Sinn. Dies trifft auch auf die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem zu, wobei für die Fahraufgabe an sich auch die kinästhetische Wahrnehmung eine Rolle spielt. Als Begründung hierzu führt Dahm (2006) an, dass die Augen ca. 80% und die Ohren ca. 15% aller eingehenden Informationen liefern. Nørretranders (1994) stellt hingegen, basierend auf der Anzahl an Rezeptoren und vorhandenen Nervenverbindungen, eine etwas abweichende Verteilung der Informationsaufnahme über die Sinnesorgane vor. Daraus ergibt sich, dass der Mensch ca. 89% aller Informationen über die Augen, ca. 8,9% über die Haut und ca. 2,1% über die restlichen Sinne aufnimmt, was auch Kern (2009) bestätigt. Obwohl sich die Werte etwas unterscheiden, kann festgehalten werden, dass die visuelle, die akustische und die haptische Wahrnehmung ein sehr hohes Potenzial zur Informationsaufnahme aufweisen.

Daher spielen diese drei Sinne eine maßgebliche Rolle bei der Konzeption und Entwicklung eines Fahrerinformationssystems, um die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug optimal zu gestalten. Da der Fokus dieser Arbeit, wie bereits in Kapitel 1 dargelegt, auf der haptischen Wahrnehmung liegt, werden der visuelle und der auditive Sinn im weiteren Verlauf zwar bei der Entwicklung des Menü-Konzepts berücksichtigt, aber in den nächsten Abschnitten nicht genauer vorgestellt. Hierzu wird auf das Buch „Physiologie des Menschen“ von Schmidt (2010) verwiesen. Im Hinblick auf den haptischen Sinn ist laut Reisinger (2009) und Reisinger & Wild (2008) für die bestmögliche Gestaltung des haptischen Touchpads, das im Rahmen dieser Arbeit als Bedienelement des Fahrerinformationssystems fungieren soll, die Betrachtung der Oberflächen- und Tiefensensibilität ausreichend.

2.3.1.1. Begriffsabgrenzung „Haptik“ und „Taktilität“

Bevor jedoch in den nachfolgenden Abschnitten die physiologischen Grundlagen und Parameter dieser beiden oben genannten relevanten Komponenten der haptischen Wahrnehmung dargelegt werden, muss zunächst eine Festlegung der

Begriffe „haptisch“ und „taktil“ erfolgen. Der Grund dafür ist, dass diese in der Literatur in Abhängigkeit des Umfeldes oftmals unterschiedlich definiert, verstanden und aufgefasst werden. Daher ist eine genaue Abgrenzung dieser Begriffe für den vorliegenden Anwendungsfall notwendig, um eventuelle Missverständnisse auszuschließen.

Laut der Definition von Buss (2002) umfasst „Taktilität“ die mechanische, thermosensitive und nozizeptive Wahrnehmung in den Hautschichten („Hautsinn“). Der Begriff „Haptik“ fasst als Oberbegriff die beschriebene Taktilität sowie die Kinästhetik zusammen. Wobei die Kinästhetik hier sowohl die kinästhetische als auch die propriozeptive Wahrnehmung beinhaltet (Buss, 2002).

Auch nach Kern (2009) wird der gesamte menschliche Sinn des Fühlens mit allen genannten Teilbereichen, wie in Abbildung 2-4 dargestellt, unter dem Begriff „Haptik“ zusammengefasst. Ihm zufolge ordnet sich der Teilbereich Oberflächen-sensibilität (=Taktilität) darunter ein und beschreibt ausschließlich die mechanische Interaktion mit der Haut, also den „Hautsinn“ bzw. „Tastsinn“.

Demgegenüber bezeichnet laut Reisinger & Wild (2008), Reisinger (2009) und Doerrer (2004) das aus dem Altgriechischen stammende Wort „Haptik“ ebenfalls die „Lehre vom Tastsinn“. Hierbei wird zwischen haptischer und taktiler Wahrnehmung aus verhaltenspsychologischer Sicht wie folgt unterschieden: als haptisch wird die aktive Berührung bzw. Exploration durch eine gezielte Bewegung des Körpers, als taktil die passive Berührung ohne eine aktive Körperbewegung definiert (Reisinger, 2009; Reisinger & Wild, 2008). Diese Einordnung der Begriffe „Haptik“ und „Taktilität“ als aktive und passive Reizaufnahme teilen auch Grunwald (2001), Grunwald & Krause (2001) und Timpe (2002).

Aus der kurzen Betrachtung wird bereits ersichtlich, dass die Begriffsdefinitionen für „Haptik“ und „Taktilität“ und auch die Zuordnung der einzelnen Komponenten des menschlichen Sinns „Fühlen“ sehr unterschiedlich ausfallen. Der Grund dafür ist, dass die Definitionen oftmals an konkreten Anwendungsfällen orientiert und an bestimmte Situationen angepasst sind.

Bei der Bedienung eines Fahrerinformationssystems über ein haptisches Touchpad können die thermosensitiven, nozizeptiven und kinästhetischen Komponenten vernachlässigt werden (Reisinger, 2009; Reisinger & Wild, 2008). Der haptische Sinn beschränkt sich also auf die Tiefen- (Propriozeption) und Oberflächensensibilität (Taktilität). Des Weiteren tastet der Fahrer in diesem Fall zeitgleich aktiv das Bedienelement ab und nimmt passiv eine Kraftwirkung wahr. Die beiden Komponenten vermischen sich also und die erläuterte Differenzierung zwischen „haptisch“ und „taktil“ als aktive und passive Reizaufnahme eignet sich nach Reisinger & Wild (2008) nicht mehr für diesen Anwendungsfall. Daher erfolgt im weiteren Verlauf dieser Arbeit keine Unterscheidung zwischen haptischen und taktilen Reizquellen, unabhängig davon, ob diese aktiv oder passiv erfüllt werden. Hierfür wird in Bezug auf das Bedienelement und die Rückmeldung bzw. das Feedback stets der Begriff „Haptik“ bzw. „haptisch“ verwendet werden, womit in dieser Arbeit die Kombination aus Tiefen- und Oberflächensensibilität bezeichnet ist.

2.3.1.2. Tiefensensibilität

Die Tiefensensibilität (=Propriozeption) stellt dem Menschen Informationen über Gelenkstellungen, Muskel- und Skelettkräfte zur Verfügung (Reisinger, 2009; Reisinger & Wild, 2008). Hierfür werden über verschiedene Rezeptoren (=Propriozeptoren) die Lage bzw. Stellung der Gelenke sowie Bewegungen und Kräfte der Muskeln ermittelt (Treede, 2010). Ein Typ der Propriozeptoren sind die Golgie-Sehnenorgane, die sich in den Sehnen befinden und Informationen über die Muskelkräfte bzw. Muskelspannungen liefern. Die Ausdehnung der Muskeln als Maß für die Länge wird über die Muskelspindeln registriert. Des Weiteren gehen über Propriozeptoren in der Gelenkhaut Informationen über die Gelenkstellungen ein (Reisinger & Wild, 2008; Treede, 2010).

Bei der Verwendung eines Bedienelements, wie dem haptischen Touchpad, liefern die Propriozeptoren dadurch wichtige Informationen über Hübe (Reisinger & Wild, 2008) und Positionen (Reisinger, 2009). Ein Beispiel hierfür ist der Hub beim Drücken einer Taste oder des haptischen Touchpads zur Auswahl einer

Funktion. Auch Abstände und Entfernungen zwischen einzelnen Tasten oder deren Positionen werden über die Tiefensensibilität wahrgenommen.

2.3.1.3. Oberflächensensibilität

Die Rezeptoren für die Oberflächensensibilität (=Taktilität) der Haut sind die sog. Mechanosensoren (=Mechanorezeptoren), die reine Berührungsinformationen liefern (Reisinger & Wild, 2008). Dies erfolgt zum einen passiv, wenn etwas über die Haut bewegt wird. Und zum anderen, wenn der Mensch durch aktive Exploration etwas selbst ertastet. Für dieses aktive Erfühlen verwendet der Mensch vornehmlich seine Finger bzw. seine Hand, die laut Weiss (2001) ein „spezialisiertes taktil-haptisches Organ“ ist. In Verbindung mit der Tiefensensibilität entsteht dabei nach Reisinger & Wild (2008) ein erweiterter Eindruck über Körper und Gegenstände.

Für die Bedienung eines haptischen Touchpads sind diejenigen Mechanorezeptoren von Interesse, die sich in der unbehaarten Haut der Hand befinden, da das Bedienelement damit berührt wird. Sie nehmen nach Gardner & Palmer (1989) die nachfolgenden Informationen auf (Beyer & Weiss, 2001):

- Lokalisation und Stärke mechanischer Reize auf der Haut
- Krümmung der die Haut berührenden Objekte
- Struktur und Beschaffenheit der die Haut berührenden Objekte
- Tangentiale Geschwindigkeit sich bewegender Reize

Die menschliche Hand weist vier Typen von Mechanosensoren auf, die sich unter anderem in der Adaptationsgeschwindigkeit bei konstantem Druckreiz und in der Größe der rezeptiven Felder unterscheiden. Sie werden jeweils einer korpuskulären Nervenendigung zugeordnet und dementsprechend als Pacini-, Ruffini- und Meissner-Körperchen sowie als Merkel-Zellen bezeichnet (Beyer & Weiss, 2001; Treede, 2010). Diese Mechanorezeptoren und deren Eigenschaften und Bedeutung für die Wahrnehmung sind in Tabelle 2-1 aufgeführt.

Tabelle 2-1: Mechanorezeptoren der Haut und ihre Eigenschaften nach Beyer & Weiss (2001), Doerr (2004), Kern (2009), Treede (2010) und DIN EN ISO 9241-920

Typ	SA-I (Slow-Adaption)	SA-II (Slow-Adaption)	FA-I (Fast-Adaption) RA (Rapid-Adaption)	FA-II (Fast-Adaption) PC (Pacini)
Nervenendung, Bezeichnung	Merkel-Zellen	Ruffini-Körperchen	Meissner-Körperchen	Pacini-Körperchen
Adaptation	Langsam Proportional-Differenzial-Fühler	Langsam Proportional-Differenzial-Fühler	Schnell Differenzial-Fühler	Sehr schnell (doppelter) Differenzial-Fühler
Rezeptives Feld	Klein ($\leq 11\text{mm}^2$) Scharfe Grenzen	Groß ($\leq 60\text{mm}^2$) Unschärfe Grenzen	Klein ($\leq 12\text{mm}^2$) Scharfe Grenzen	Groß ($\leq 100\text{mm}^2$) Unschärfe Grenzen
Ansprechfrequenz	0-10 Hz	0-10 Hz	20-50 Hz	100-300 Hz
Adäquater Reiz	Vertikaler Druck	Laterale Zugspannung	Geschwindigkeit	Beschleunigung
Bedeutung für die Wahrnehmung	Sensitiv auf ansteigende Reizintensität und permanent andauernde Reize, besonders hohe dynamische Sensibilität bezüglich des Anstiegs der Reizstärke	Sensitiv auf ansteigende Reizintensität und permanent andauernde Reize, besonders genaue Aufrechterhaltung der Entladungsfrequenz über die gesamte Reizdauer	Sensitiv auf den Druckanstieg an der Haut	Sensitiv auf Beschleunigung oder höhere Ableitungen (wie bei Vibration), sensitiv nicht nur bei Reizzunahme sondern auch bei Verminderung der Reizintensität

Die höchste Dichte an Mechanorezeptoren (Innervationsdichte) ist an den Fingerbeeren zu finden. Die Meissner-Körperchen (FA-I), von denen sich dort bis zu $140/\text{cm}^2$ befinden können, sind dabei am stärksten vertreten (Beyer & Weiss, 2001). Die vier Typen von Mechanosensoren sind für die Wahrnehmung von Konturen (SA-I und FA-I) sowie Vibration und lateraler Spannung (SA-II und FA-II) zuständig (Beyer & Weiss, 2001).

Für die Bedienung eines haptischen Bedienelements sind die Tiefen- und Oberflächensensibilität hauptsächlich relevant (Reisinger, 2009; Reisinger & Wild, 2008). Sie bilden in diesem speziellen Anwendungsfall quasi die haptische Wahrnehmung. Aus der vorgenommenen Betrachtung ihrer Funktionsweise und Eigenschaften lassen sich nachfolgend wichtige Erkenntnisse für eine an den Menschen angepasste Gestaltung des haptischen Touchpads ableiten.

2.3.1.4. Parameter und Kennwerte der haptischen Wahrnehmung

Da die Bedienung eines haptischen Bedienelements lediglich über die Finger bzw. die Hand erfolgt, beschränkt sich die Aufzählung der Parameter und Kennwerte der haptischen Wahrnehmung in dieser Arbeit auf die menschliche Hand. Diese resultieren aus der gewonnenen Kenntnis über die Tiefen- und Oberflächensensibilität des Menschen und aus zahlreichen Literaturbeiträgen.

Doerrer (2004) liefert hierfür eine umfassende Zusammenstellung von Parametern und Kennwerten der haptischen Wahrnehmung der Hand, die in Tabelle 2-2 aufgeführt ist. Es ist allerdings anzumerken, dass diese Werte nur als Anhaltspunkte bzw. Richtwerte zu verstehen sind. Der Grund dafür ist, dass sie experimentell und unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen (z.B. verschiedene Größen und Zusammensetzungen der Probandenkollektive) ermittelt wurden. Die genauen Versuchsbedingungen sind den jeweiligen, in Tabelle 2-2 aufgeführten Quellen zu entnehmen.

Tabelle 2-2: Parameter und Kennwerte der haptischen Wahrnehmung der menschlichen Hand nach Doerrer (2004)

Grundgröße	Kennwert	Körperstelle	Wert	Quelle
Statische Auslenkung / Position	Hautauslenkung, Absolutschwelle ^(a)	Fingerspitze (taktil)	10 µm ^(b)	Kaczmarek & Bach-y-rita (1995)
	Zweipunktschwelle ^(c) (Räumliche Auflösung)	Fingerspitze (taktil)	2-3 mm ^(d, e, f)	Burdea (1996) Kaczmarek & Bach-y-rita (1995)
		Handfläche (taktil)	10-11 mm	Kaczmarek & Bach-y-rita (1995) Shimoga (1993a)
	Positionsauflösung, Differenzschwelle (JND) ^(g)	Fingergelenk (propriozeptiv)	2,5°	Tan, Srinivasan, Eberman & Cheng (1994)
Handgelenk (propriozeptiv)		2,0°	Tan et al. (1994)	
Dynamische Auslenkung (Vibration)	Frequenz, Obergrenze (taktile Wahrnehmung)	Finger (taktil)	5-10 kHz	Brooks (1990) Burdea (1996)
	Frequenz, Obergrenze (kinästhetisch)	gesamter Körper (kinästhetisch)	20-30 Hz	Brooks (1990)
	Maximale Empfindlichkeit	Fingerspitze, Handfläche (taktil)	bei 200-300 Hz	Baumann (1997) Blume & Boelcke (1990) Kaczmarek & Bach-y-rita (1995)
	Amplitude, Absolutschwelle	Fingerspitze, Handfläche (taktil)	0,1-0,2 µm bei 200-300 Hz ^(h, i, j)	Baumann (1997) Blume & Boelcke (1990) Kaczmarek & Bach-y-rita (1995)
	Amplitudenauflösung, Differenzschw. (JND) ^(g)	Fingerspitze (taktil)	10-25 %	Blume & Boelcke (1990)
	Frequenzauflösung, Differenzschwelle (JND)	Fingerspitze (taktil)	8-10 % ^(k)	Blume & Boelcke (1990)
Kraft und Druck	Kraft, Absolutschwelle	Fingerspitze ^(l) (taktil)	0,8 mN	Burdea (1996)
		Handfläche (taktil)	1,5 mN	Burdea (1996)
	Kraft, Differenzschwelle (JND)	gesamter Körper (kinästhetisch)	5-10 % (ca. 7%) ^(m,n,o)	Pang, Tan & Durlach (1991)
	Druck, Absolutschwelle	Finger (taktil)	0,2 N/cm ² ^(p)	Shimoga (1993b)
	Druck, Differenzschwelle (JND)	Handgelenk (propriozeptiv)	4-19 % ^(q)	Tan et al. (1994)
Drehmoment	Differenzschwelle (JND)	Daumen, Zeigefinger (propriozeptiv)	12,7 % ^(r)	Jandura & Srinivasan (1994)
Nachgiebigkeit	Differenzschwelle (JND)	Daumen, Zeigefinger (propriozeptiv)	5-15 % ^(s, t)	Tan, Pang & Durlach (1992)

Bemerkungen und Ergänzungen zu Tabelle 2-2 (Doerrer, 2004):

- (a) Absolutschwelle: Ab diesem absoluten Grenzwert wird der Reiz wahrgenommen.
- (b) Wird eine Bewegung des Fingers zugelassen, so können Oberflächenstrukturen mit $0,85\mu\text{m}$ Höhe wahrgenommen werden (Kontarinis & Howe, 1993).
- (c) Zwei Reize mit einem örtlichen Abstand größer der Zweipunktschwelle werden unterscheidbar wahrgenommen. Die räumliche Auflösung ist der Kehrwert der Zweipunktschwelle.
- (d) Bei vibrotaktile Stimulation (Vibrationen) befindet sich die Zweipunktschwelle an der unteren Grenze von 2 mm (Kaczmarek & Bach-y-rita, 1995).
- (e) Die Zweipunktschwelle wird kleiner, wenn die Reize nicht gleichzeitig, sondern zeitlich nacheinander dargeboten werden (Kaczmarek & Bach-y-rita, 1995).
- (f) Eine Positionsveränderung eines Reizes kann örtlich zehnfach besser aufgelöst werden als die Zweipunktschwelle (Kaczmarek & Bach-y-rita, 1995).
- (g) Differenzschwelle: Maß für notwendige Änderung eines Reizes, um eine unterscheidbare Wahrnehmung hervorzurufen. Übliche Abkürzung: JND für „Just Noticeable Difference“. Häufig ist die Differenzschwelle von der aktuellen Reizintensität abhängig und wird daher in Prozent dieses Referenzreizes angegeben (z.B. wird bei einer anliegenden Kraft von 5N und einer JND von 10% eine unterscheidbare Wahrnehmung erst ab 4,5 bzw. 5,5N erzeugt).
- (h) Die Wahrnehmungsschwelle hängt stark von der Vibrationsfrequenz, dem Ort der Reizung und der Größe der Reizfläche ab (Blume & Boelcke, 1990; Kaczmarek & Bach-y-rita, 1995; Shimoga, 1993a).
- (i) Amplituden größer als 0,1 mm werden an der Fingerspitze als lästig empfunden (Blume & Boelcke, 1990).
- (j) Bei Reizung mit konstanter Frequenz und Amplitude findet eine Desensibilisierung statt, die bis zu einem Taubheitsgefühl führen und nach Beenden der Reizung noch mehrere Minuten andauern kann (Caldwell, Lawther & Wardle, 1996; Kaczmarek, Webster, Bach-y-rita & Tompkins, 1991).
- (k) Die Fähigkeit Reize zu unterscheiden reduziert sich ab 320 Hz (Brooks, 1990).
- (l) Die Absolutschwelle der Kraftwahrnehmung wird von taktilen Mechanorezeptoren durch die Verformung der Haut registriert.
- (m) Der Wert von 7 % wurde als weitgehend unabhängig vom betreffenden Muskelsystem und vom Betrag der Kraft ermittelt (Pang et al., 1991).
- (n) Ein spezieller Versuch bezüglich der Kräfte zwischen Daumen und Zeigefinger zeigte eine JND von 5-10 % für Referenzkräfte zwischen 2,5 und 10 N bei einem Fingerabstand von 45 bis 125 mm. Für kleinere Kräfte wird eine größere JND vermutet (Pang et al., 1991).
- (o) Bei einem Versuch zur Unterscheidung von Massen unterschiedlicher Gegenstände wurde ein JND von 10 % festgestellt (Baumann, 1997).
- (p) Die taktile Wahrnehmung des Menschen ist besonders empfindlich für Druckgradienten und speziell für Objektkanten (Tan et al., 1994).
- (q) Versuch bei einem Referenzdruck von $1,8 \text{ N/cm}^2$. JND stark ansteigend mit abnehmender Kontaktfläche: 4,4% bei $5,06\text{cm}^2$, 18,8% bei $1,27\text{cm}^2$ (Tan et al., 1994).
- (r) Versuch bei einem Referenzdrehmoment von 60 mNm.
- (s) Versuch bei einer Referenznachgiebigkeit von 4 mm/N und einem Federweg von 15-35 mm.
- (t) Bei der Wahrnehmung der Nachgiebigkeit spielt die geleistete Arbeit beim Stauchen und die Verformung der Objektoberfläche eine Rolle (Burdea, 1996).

Zusätzlich zeigt Tabelle 2-3 weitere Parameter auf. Zum einen sind Empfehlungen in Bezug auf die Auslegung und Bedienung von haptischen Bedienelementen bzw. Drucktastern aufgeführt. Zum anderen beinhaltet sie zusätzliche Randbedingungen der Kenngrößen haptischer Wahrnehmung.

Tabelle 2-3: Empfehlungen zu Drucktastern und Randbedingungen der Kenngrößen haptischer Wahrnehmung nach Mischler (2013)

<i>Parameter</i>	<i>Wert</i>	<i>Quelle</i>
Durchschnittliche Kontaktkraft (während Abtastvorgang)	0,3-4,5 N	Jungmann (2004)
Optimale Druckschwelle	3-5 N 2,4 N ≥ 5 N	Meroth & Tolg (2008) Jürgensohn & Timpe (2001) DIN EN ISO 9241-920
Optimaler Hub	0,4-2 mm 2-5 mm	Meroth & Tolg (2008) Jungmann (2004)
Minimaler Kantenabstand	5-10 mm	Schmidt (2010)
Maximale Hautdeformation	3,5 mm	Jungmann (2004)
Durchschnittliche Abtastgeschwindigkeit	2 cm/s	Jungmann (2004)
Vibrationsschwelle	1µm bei 100-200 Hz 200-300 Hz 250 Hz	Schmidt (2010) Schmidt (2010) Kern (2009) Siciliano (2008)

Diese Auflistung wurde von Mischler (2013) anhand einer umfangreichen Literaturrecherche erstellt. Die empfohlenen Werte weichen allerdings je nach Autor teilweise stark ab.

Die genaue Betrachtung der menschlichen Sinne und Wahrnehmung liefert wichtige Erkenntnisse für die Informationsaufnahme des Teilsystems Mensch, also für die erste Phase des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses (siehe Abschnitt 2.3 und Abbildung 2-3). Für den speziellen Fall der Bedienung des Fahrerinformationssystems über das haptische Touchpad spielt der haptische Sinn, und dabei die Tiefen- und Oberflächensensibilität, eine zentrale Rolle. Aber auch über den visuellen und akustischen Sinn erhält der Fahrer eine Vielzahl an Informationen, die für die Erledigung der Tertiäraufgaben im Fahrzeug wichtig sind. Mit diesen kombinierten Sinneswahrnehmungen wird in der zweiten Phase

des Informationsverarbeitungsprozesses – der Informationsverarbeitung – eine Entscheidung herbeigeführt und eine Anwohndlung ausgewählt.

2.3.2. Modelle zur Informationsverarbeitung des Menschen

Aus der Informationsaufnahme steht dem Menschen bzw. dem Fahrer für den nächsten Schritt des Informationsverarbeitungsprozesses (siehe Abschnitt 2.3) eine Fülle an Informationen aus der Umwelt zur Verfügung. Zur weiteren Verarbeitung und Ausführung einer Handlung müssen aus dieser Informationsflut zunächst die für die jeweilige Situation bzw. Handlung relevanten Informationen selektiert werden. Dies bedeutet, dass der Mensch seine Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ausschnitt aller Informationen richtet (Wickens, 2009). Möchte ein Autofahrer beispielsweise in einem Stadtgebiet einen Abbiegevorgang vornehmen, konzentriert er sich auf den für diesen Vorgang wichtigen Teil aller eingehenden Informationen. Er setzt seinen Aufmerksamkeitsfokus etwa auf das Verkehrsgeschehen, wie querende Fahrzeuge, Fußgänger oder Radfahrer, während andere Informationen, wie die im Tacho angezeigte Fahrgeschwindigkeit oder die im Radio laufenden Nachrichten, in diesem Moment in den Hintergrund treten.

Diese situationsabhängige und handlungsorientierte Selektion kann anhand verschiedener Modelle beschrieben werden. Diese unterscheiden sich in der Art und dem Zeitpunkt der Informationsselektion. Beispielhaft sind hierbei die „Filtertheorie“ nach Broadbent (1969), die „Attenuationstheorie“ nach Treisman (1964) und die „Theorie der späten Selektion“ nach Deutsch & Deutsch (1963) zu nennen. Auf eine genauere Beschreibung dieser Theorien wird in dieser Arbeit verzichtet und auf das Buch „Wahrnehmung und Aufmerksamkeit“ von Hagedorf, Müller, Krummenacher & Schubert (2010) verwiesen. Allen diesen Modellen ist jedoch gemein, dass der Mensch seine Aufmerksamkeit auf den für die jeweilige Situation relevanten Ausschnitt aller aufgenommenen Informationen fokussiert. Diese Informationsselektion ist die Grundlage für die nächste Phase im Informationsverarbeitungsprozess des Menschen – die Informationsverarbeitung.

Für die soeben beschriebene Auswahl und Wahrnehmung der für die Aufgabenstellung wichtigen Informationen, deren kognitive Verarbeitung und die Antwortausführung verfügt der Mensch über eine bestimmte Menge an kognitiven bzw. Aufmerksamkeitsressourcen (siehe Abbildung 2-3). Kommen diese Ressourcen für eine bestimmte Situation bzw. Handlung an ihre Grenzen oder reichen nicht aus, kann dies zu Beeinträchtigungen bei der Bewältigung der Aufgabe führen. Die Begrenztheit dieser kognitiven Ressourcen kann also einen negativen Einfluss auf den Informationsverarbeitungsprozess des Menschen haben. Sie wird in der Literatur durch zwei unterschiedliche Arten von Modellen erklärt, der „Single-Ressource-Theorie“ und der „Multiplen-Ressourcen-Theorie“, die nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Bei der Single-Ressource-Theorie, vertreten durch Broadbent (1969), Kahneman & Tversky (1973), Moray (1967), Welford (1952) und Pashler (1994), wird von einer beschränkten zentralen Ressource ausgegangen. Dementsprechend müssen sich zwei simultane Aufgaben, wie zum Beispiel die Fahrzeugführung und die gleichzeitige Bedienung des Fahrerinformationssystems, diese eine zentrale Ressource teilen bzw. diese nacheinander nutzen.

Im Gegensatz dazu postuliert die Multiple-Ressourcen-Theorie, repräsentiert durch Wickens (1984), Wickens et al. (2004b), Norman & Bobrow (1975) und Allport (1989), dass eine Vielzahl kleinerer Ressourcen existiert, die für unterschiedliche und voneinander unabhängige Aufgabenbereiche zuständig sind. Demzufolge kommt es in Dual-Task Situationen zu Interferenzen, wenn die einzelnen Teilaufgaben die gleichen mentalen (z.B. visuell-räumliche) Ressourcen in Anspruch nehmen (Wickens et al., 2004b). Es ist gemäß dieser Theorie also für zeitgleich ausgeführte Aufgaben vorteilhaft, wenn die einzelnen Teilaufgaben verschiedene kognitive Ressourcen verwenden. Allerdings ist auch in diesem Modell die Gesamtheit der Ressourcen nur begrenzt vorhanden und eine starke oder übermäßige Auslastung kann zu Beeinträchtigungen bei der Aufgabenbewältigung führen (Bengler, Bubb, Totzke, Schumann & Flemisch, 2012).

2.3.2.1. Mentale Modelle

Hat sich der Mensch auf die relevanten Informationen fokussiert und stehen ausreichende kognitive Ressourcen zur Verfügung, kann die Phase der Informationsverarbeitung durchlaufen werden (siehe Abschnitt 2.3). Dabei erfolgt das menschliche Denken, Entscheiden und Handeln nach speziellen, im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Verhaltensmustern bzw. Handlungsschemen, den sogenannten mentalen Modellen. Diese werden vom Arbeitsgedächtnis abgerufen und bestimmen die Antwortauswahl und die Ausführung aller Handlungen des Teilsystems Mensch, also auch die Bewältigung der Tertiäraufgaben im Fahrzeug.

Die Entstehung und Entwicklung dieser mentalen Modelle erfolgt aus dem Alltagswissen (Dutke, 1994), aus der Selbsterfahrung des Menschen (Johnson-Laird, 1990) und aus dem natürlichen Umgang mit Systemen (Norman, 1983). Des Weiteren können sie nach Seel (1991) aus dem „gesunden Menschenverstand“, vermitteltem Wissen und darauf operierenden Schlussfolgerungen hervorgehen. Sie stellen dabei ein mentales Abbild einer Situation oder einer Handlung dar und können nach Dutke (1994) als „[...] Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt“ (Dutke, 1994) aufgefasst werden. Ein Beispiel hierfür ist die tägliche Bedienung eines Smartphones. Für die Erledigung einer bestimmten, häufig durchgeführten Menüaufgabe (z.B. Anrufen eines Kontaktes) wird ein mentales Modell gebildet. Damit kann die erneute Durchführung der einzelnen Handlungsschritte zunehmend automatisch und schneller erfolgen. Auch beim Verstehen einer Abbildung oder eines Textes wird laut Schnotz (1994) ein mentales Modell des geschilderten Sachverhalts konstruiert. Treten in weiteren Fällen Übereinstimmungen damit auf, erleichtert dies das Verständnis erheblich (Schnotz, 1994).

Der Mensch bildet also für jede Aufgabe ein mentales Modell, um die Handlung ausführen zu können. Dies trifft auch auf die Fahraufgabe oder die Erledigung von Tertiäraufgaben im Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem zu. Existiert für eine bestimmte Aufgabe bereits ein mentales Modell, so wird dieses zur Handlungsausführung verwendet. Für eine noch unbekanntere Aufgabenstellung

muss die Ausführung der Antworthandlung erst noch erlernt und ein mentales Modell gebildet werden. Bei wiederholtem Auftreten dieser Aktion kann somit das entstandene mentale Modell herangezogen werden und die Aufgabenerfüllung deutlich leichter erfolgen. So wird zum Beispiel für einen Fahranfänger der anfangs stark beanspruchende Abbiegevorgang mit seiner Vielzahl an einzelnen Handlungsschritten mit jeder Durchführung einfacher.

Bereits vorhandene mentale Modelle können auf die Interaktion zwischen Mensch und Maschine jedoch sowohl einen negativen als auch einen positiven Einfluss haben. Weist ein Fahrerinformationssystem zum Beispiel eine aufgabenorientierte Menüstruktur auf, so erschwert sich die Bedienung für einen Benutzer, der beispielsweise von Word 2003 ein hierarchisches Menü gewohnt ist und ein mentales Modell dafür besitzt, deutlich. In diesem Fall muss die neuartige Aufgabenstellung erst erlernt und ein existierendes mentales Modell verändert oder ein neues mentales Modell dafür gebildet werden. Im Gegensatz dazu fällt dem Nutzer, dem ein aufgabenorientiertes Menüsystem von Word 2010 oder von aktuellen Smartphones bekannt ist, die Interaktion mit diesem Fahrerinformationssystem leichter. Denn auch wenn die Systeme nicht komplett identisch sind, können sie Ähnlichkeiten, sogenannte Analogien, aufweisen.

2.3.2.2. Analogien

Analogien führen zu einer Erleichterung bei der Neubildung, der Anpassung sowie dem Auffinden und Abrufen mentaler Modelle. Dies geschieht dadurch, dass über Analogien mentale Modelle in Bezug zum Original gesetzt werden. Dabei unterscheiden sich zwar die einzelnen Elemente von Original und Modell, aber die Relationen zwischen den Elementen weisen Ähnlichkeiten auf (Dutke, 1994). Diese Eigenschaft von Analogien bestätigen auch Untersuchungen von Gick & Holyoak (1980). In ihren Experimenten lasen Probanden eine Geschichte, in der eine militärische Problemstellung mit einer gewissen Strategie gelöst wurde. Im Anschluss daran war es die Aufgabe der Versuchspersonen, eine Lösung für ein vorgegebenes medizinisches Problem zu finden. Die beiden Problemstellungen unterschieden sich zwar in ihren Rahmenbedingungen, aber das Lösungsprinzip

war identisch (Dutke, 1994). Und aufgrund der erkannten analogen Relationen zwischen den Elementen der unterschiedlichen Problemstellungen wählten die meisten Probanden für das medizinische Problem eine analoge Lösungsstrategie (Gick & Holyoak, 1980; Dutke, 1994).

Auch bei Fahrerinformationssystemen ist es möglich, verschiedene Aufgaben ähnlich bzw. analog darzustellen. Ein Beispiel hierfür ist die Bedienung von unterschiedlichen Listen, wie der Navigationsliste und der Medienliste, mithilfe eines Touchpads. Die einzelnen Listenelemente unterscheiden sich, da sie zum einen Adressen und zum anderen Songtitel anzeigen. Die Relationen zwischen den Einträgen sind aber identisch, da der Nutzer zur Wahl eines Elements jeweils die gleichen Aktionen ausführen muss. So wird beispielsweise über eine bestimmte Geste die Liste bis zum gewünschten Eintrag bewegt und dieser dann durch Drücken ausgewählt. Bestehen zwischen den einzelnen Elementen zusätzlich noch gewisse Ähnlichkeiten, erhöht sich nach Dutke (1994) die Wahrscheinlichkeit, dass die Analogiebeziehung zwischen Modell und Original registriert wird.

Es können aber auch Aufgabenstellungen auftreten, bei denen zwar Analogien zwischen Original und mentalem Modell bestehen, diese aber vom Nutzer nicht registriert werden. Der Grund dafür ist, dass sich die einzelnen Elemente zu sehr unterscheiden, was das Erkennen der bestehenden Relationen verhindert. In diesem Fall können sogenannte Metaphern (Entsprechungen) das Auffinden der Analogien zwischen Original und Modell vereinfachen.

2.3.2.3. Metaphern

Der Mensch verwendet im täglichen Sprachgebrauch oftmals Metaphern (Sarodnick & Brau, 2006). Dies sind nach Brockhaus (1977) übertragene und bildliche Ausdrücke, bei denen die übertragen gemeinte und die wörtlich bezeichnete Sache eine Ähnlichkeitsbeziehung aufweisen. Als anschauliches Beispiel dient hierbei die Aussage „die Nadel im Heuhaufen suchen“. Sie wird gebraucht, wenn jemand etwas Unauffälliges oder schwer Auffindbares inmitten einer sehr großen Anzahl ähnlicher Sachen sucht. Ein konkretes Beispiel wäre der Versuch eine

bestimmte Person in einer riesigen Menschenmenge aufzufinden. Dies ist ähnlich schwierig wie das Finden einer Nadel in einem Heuhaufen.

Im Hinblick auf die mentale Modellbildung können Metaphern die Relationen zwischen Elementen, auch wenn diese sehr unterschiedlich sind, verdeutlichen und so auf bestehende Analogien hinweisen (Dutke, 1994). Dies kann bei neuartigen oder komplizierten Problemstellungen hilfreich sein. Denn basierend auf Erfahrungen aus dem täglichen Leben, dem Beruf oder Ähnlichem bilden Metaphern abstrakte Sachverhalte auf eine vertraute Art und Weise ab (Sarodnick & Brau, 2006). Bei einem Fahrerinformationssystem könnte die Funktion „Löschen“ etwa durch das Bild eines Papierkorbes dargestellt werden. Dadurch wird dem Nutzer leichter klar, dass er über dieses Symbol bzw. diese Lösch-Funktion Dinge „wegwerfen“ kann. Der Grund dafür ist, dass auch im Alltag analog dazu nicht mehr benötigte Unterlagen und Dokumente im Papierkorb entsorgt werden. Ein weiteres Beispiel ist die Verdeutlichung der Funktion „Anrufen“ durch ein Bild, das einen abgehobenen Telefonhörer zeigt, wie es bei sehr vielen Smartphones verwendet wird.

Dementsprechend stellen Metaphern bei korrekter Verwendung einen Bezug zu bekannten Dingen und Handlungsabläufen her. Sie können dadurch das Erkennen von Analogien zu vorhandenen mentalen Modellen fördern und beispielsweise eine schnellere Einarbeitung in ein Menüsystem ermöglichen. Es besteht also auch die Möglichkeit, dass Metaphern den Lernaufwand verringern, indem neue Funktionen mit altbekannten Tätigkeiten in Verbindung gebracht werden (Sarodnick & Brau, 2006), wie die vorangegangenen Beispielmetaphern „Papierkorb“ und „abgehobener Telefonhörer“ zeigen.

Die erläuterten Metaphern, Analogien und mentalen Modelle spielen aufgrund ihrer in den letzten Abschnitten dargelegten Eigenschaften eine wichtige Rolle in der Phase der Informationsverarbeitung des Menschen (siehe Abschnitt 2.3 und Abbildung 2-3). Aus ihrer genaueren Betrachtung lassen sich Erkenntnisse für die Entwicklung eines Fahrerinformationssystems ableiten, die für diese Arbeit relevant und im nächsten Abschnitt noch einmal zusammengefasst sind.

2.3.2.4. Erkenntnisse für die Entwicklung eines Fahrerinformationssystems

Für die Phase der Informationsverarbeitung spielen die mentalen Modelle mit ihren aufgeführten Eigenschaften eine entscheidende Rolle. Sie bestimmen die Antwortauswahl und die Ausführung der menschlichen Handlungen in der Informationsumsetzung. Aus diesem Grund ist laut Totzke, Schmidt & Krüger (2003) auch bei der Gestaltung eines Fahrerinformationssystems darauf zu achten, dass eine Anpassung an die Anforderungen und Fähigkeiten der mentalen Modellbildung erfolgt. Es sollte dabei eine größtmögliche Übereinstimmung mit dem mentalen Modell des Nutzers bzw. des Fahrers sichergestellt sein. Im idealen Fall ist das System analog und konsistent zum entsprechenden mentalen Modell (Gentner, 1983). Kann der Nutzer jedoch keinerlei Analogien zu bekannten Aufgaben feststellen, wirkt sich dies negativ auf die Interaktion zwischen Mensch und Maschine aus und führt nach Dutke (1994) zu suboptimalen Leistungen. Daher ist es sinnvoll, Analogien zu gewohnten alltäglichen Handlungen und Metaphern, die deren Auffindung unterstützen, bei der Entwicklung sowohl des haptischen Touchpads als auch des Menüsystems zu berücksichtigen. Dadurch kann vor allem in der Dual-Task Situation eine einfachere Bedienung und Handhabbarkeit des Fahrerinformationssystems gewährleistet werden, was zugleich die Ablenkung von der primären Fahraufgabe verringert.

Nach der näheren Betrachtung, wie der Mensch die eingehenden Informationen aus der ersten Phase „Informationsaufnahme“ mit seinen vorhandenen Ressourcen selektiert und wahrnimmt sowie in der zweiten Phase verarbeitet, erfolgt in der dritten und letzten Phase des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses die Ausführung der ausgewählten Handlung. Diese „Informationsumsetzung“ geschieht allgemein über die oberen und unteren Extremitäten sowie die Sprache (Bubb, 1993a). Für den speziellen Anwendungsfall dieser Arbeit stehen dabei die Finger bzw. Hände im Vordergrund, über die das haptische Touchpad und somit das Fahrerinformationssystem bedient wird. Ansonsten wird die Phase der Informationsumsetzung nicht detaillierter vorgestellt.

Der Systemteil Mensch mit seinem dargelegten Informationsverarbeitungsprozess stellt ein relativ komplexes und wichtiges Glied des Mensch-Maschine-Sys-

tems dar, das bei dessen Gestaltung berücksichtigt werden muss. Das Teilsystem Maschine liefert dem Menschen dabei Funktionen, über welche die gestellten Aufgaben erfüllt werden. Damit dieses Mensch-Maschine-System funktioniert und das gewünschte Ergebnis hervorbringt, muss das Zusammenspiel der beiden Teilsysteme Mensch und Maschine möglichst optimal erfolgen. Für diese Interaktion weist die Maschine Displays, Stellteile und Bedienelemente auf, die bestmöglich an die Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen angepasst sein sollten. Darüber kann der Mensch die Maschine bedienen und kontrollieren und somit sein Ziel erreichen. Im Fall der Bewältigung von Tertiäraufgaben im Fahrzeug geschieht die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem, das als Schnittstelle dient. Aus diesem Grund wird darauf im Folgenden näher eingegangen.

2.4. Die Interaktion über das Fahrerinformationssystem

Aktuelle Fahrerinformationssysteme sind aus einer Anzeigeeinheit, einer Bedieneinheit und einem Menüsystem aufgebaut. Die Anzeige erfolgt dabei über ein Display, in dem die verschiedenen Funktionen des Fahrzeugs visuell dargestellt sind. Diese können vom Fahrer über die Bedieneinheit ausgewählt werden, um eine gewisse Aufgabe zu erledigen. Dabei kann die Anzeige-/ Bedieneinheit sowohl kombiniert (z.B. in Form eines Touchscreens) als auch getrennt (z.B. die Kombination aus Mitteldisplay und Dreh-Drück-Steller, Spracheingabe oder Touchpad) ausgeführt sein. Für den zweiten Fall werden Fahrerinformationssysteme nach Jürgensohn & Timpe (2001) als schalterreduzierte Bediensysteme mit abgesetzter Anzeige bezeichnet. Dieser Ansatz der Trennung von Anzeige- und Bedieneinheit findet auch in dieser Arbeit Verwendung. Dadurch ist es möglich, das Display im optimalen Sichtbereich und das haptische Touchpad im optimalen Greifbereich des Fahrers zu platzieren.

Aus der Kenntnis über die Eigenschaften und Fähigkeiten der Teilsysteme Mensch und Maschine lassen sich allgemeine Grundsätze für deren Interaktion über das Fahrerinformationssystem ableiten.

Tabelle 2-4: Zusammenstellung von Richtlinien und Normen für die ergonomische Gestaltung eines Fahrerinformationssystems im Hinblick auf eine optimierte Mensch-Maschine Interaktion in Anlehnung an Mischler (2013)

	Quelle	Themenbezug
Richtlinien aus Literaturquellen	Ablaßmeier (2009)	Zusammenstellung von Richtlinien und Normen
	Borchardt (2009)	Checkliste zur Entwicklung von Fahrerinformationssystemen
	Bubb (1993b)	Systemergonomische Gestaltung
	Mischler (2012)	Anforderungskatalog zur Entwicklung von Touchpads mit haptischem Feedback
	Rassl (2004)	Gestaltungsregeln für Fahrerinformationssysteme
	Shneiderman & Plaisant (2010)	Allgemeine Regeln für Interface-Design
	Stapelkamp (2007)	Empfehlungen zu Screen- und Interface-Design
	Wigdor & Wixon (2010)	Allgemeine Hinweise zu Natural User Interface Design
Guidelines internat. Vereinigungen	AAM (2003)	Guidelines d. „Alliance of Automobile Manufacturers“ (USA)
	ESoP (1998)	Guidelines „European Statement of principles on human machine interfaces“ (Europa)
	JAMA (2004)	Guidelines der „Japan Automobile Manufacturers Association“ (Japan)
	NHTSA (2010)	Guidelines der „National Highway Traffic Safety Administration (USA)
Normen	DIN EN ISO 9241-100	Ergonomische Anforderungen der Mensch-Maschine Interaktion
	DIN EN ISO 9241-110	Ergonomische Anforderungen der Mensch-Maschine Interaktion - Dialoggestaltung
	DIN EN ISO 9241-210	Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme
	DIN EN ISO 9241-910	Rahmen für die taktile und haptische Interaktion
	DIN EN ISO 9241-920	Empfehlungen für die taktile und haptische Interaktion
	DIN EN ISO 10075	Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung
	ISO 11581	Anwendungsbezogene Vorgaben zu Icondarstellungen in interaktiven Benutzeroberflächen
	DIN EN ISO 14915	Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen
	DIN EN ISO 15005	Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements bei Fahrerinformationssystemen
	DIN EN ISO 15008	Ergonomische Anforderungen an die visuelle Informationsdarstellung von Fahrerinformationssystemen

Für eine ergonomische Auslegung und Gestaltung eines Fahrerinformationssystems existieren bereits viele Richtlinien und Normen oder lassen sich auf diesen Spezialfall anwenden. Deren Beachtung ist im Hinblick auf eine optimierte Interaktion zwischen Mensch und Maschine bzw. Fahrer und Fahrzeug sinnvoll. Tabelle 2-4 zeigt eine Auflistung der in dieser Arbeit berücksichtigten Richtlinien und Normen auf.

Die aufgeführten Richtlinien und Normen beziehen sich neben der Anzeigeeinheit (Display) und dem Bedienelement (haptisches Touchpad) auch auf die ergonomische und benutzerorientierte Gestaltung des Menüsystems. Da dieses dem Nutzer die Funktionen letztlich in strukturierter Form zur Verfügung stellt, ist es für eine bestmögliche Anpassung des Gesamtsystems an den Fahrer entscheidend. Zudem bildet es die Grundlage für das in dieser Arbeit entwickelte Menü-Konzept und steht deshalb im Fokus der nachfolgenden Betrachtungen.

2.4.1. Grundlagen zu Menüsystemen

Die heutzutage große Vielzahl an Funktionen zur Bewältigung der Tertiäraufgaben im Fahrzeug ist im Menüsystem des Fahrerinformationssystems abgebildet und geordnet. Dieses wird im Display angezeigt und kann über das Bedienelement (z.B. das haptische Touchpad) bedient werden. Zur Ordnung der vielen Funktionen weist das Menüsystem eine gewisse Struktur auf, die laut Norman (1991) sowie Jacko (2012) und Jacko et al. (1995) einen wesentlichen Einfluss auf das Systemverständnis und das Systemwissen sowie auf die Geschwindigkeit und Qualität der Systembedienung hat. Um diesen Einfluss positiv zu gestalten, ist es erforderlich, bei der Wahl der Menüstruktur bereits vorhandene mentale Modelle, Anforderungen und Fähigkeiten des Nutzers mit einzubeziehen (Jacko, 2012; Jacko et al., 1995; Norman, 1991). Denn dadurch ist es möglich, die Bedienung des Fahrerinformationssystems zu erleichtern.

2.4.1.1. Menüstrukturen

Aus den zuvor dargelegten Gründen stellt die Wahl einer geeigneten Menüstruktur, die an den speziellen Aufgabenbereich und den vorhandenen Funktionsumfang angepasst sein sollte, bei der Gestaltung des Menüsystems einen zentralen

Schritt dar. Hierfür stehen grundlegend die nachfolgenden Menüstrukturen zur Verfügung (Shneiderman & Plaisant, 2010; Totzke, Rauch & Krüger, 2003; Wandmacher, 1993):

- Einfache Menüstruktur
- Lineare Menüstruktur
- Hierarchische Menüstruktur (Menübaum-Struktur)
- Vernetzte Menüstruktur
- Heterarchische Menüstruktur (Vermischte Struktur)

Die *einfache Menüstruktur* bietet alle n Funktionen eines Systems statisch auf einer einzigen Darstellungsebene an (siehe *Abbildung 2-5*). Zwischen den Auswahloptionen bestehen dabei keine Vernetzungen und keine hierarchischen Abhängigkeiten (Wandmacher, 1993).

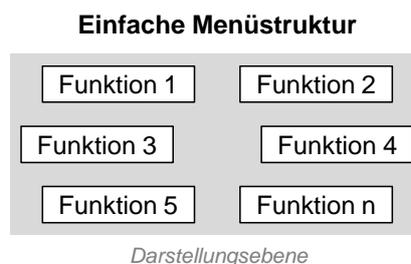


Abbildung 2-5: Schematische Darstellung einer einfachen Menüstruktur

Bei einer *linearen Menüstruktur* werden die n Auswahloptionen in einer streng seriellen Folge von m Hierarchieebenen geordnet. Dabei werden unabhängig von der Auswahl einer Funktion in der aktuellen Ebene (siehe *Abbildung 2-6*: Ebene 1 → Funktion 1.1, 1.2 oder 1.3) in der darauffolgenden Ebene stets die gleichen Optionen (siehe *Abbildung 2-6*: Ebene 2 → Funktion 2.1, 2.2 und 2.3) angeboten (Wandmacher, 1993).

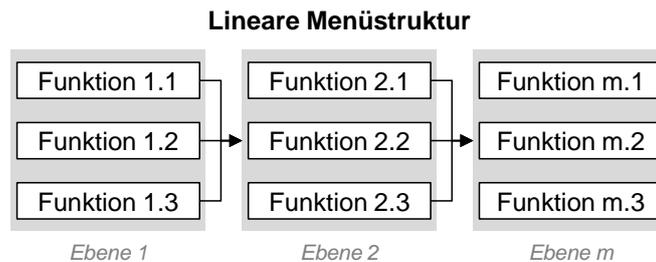


Abbildung 2-6: Schematische Darstellung einer linearen Menüstruktur

Als Beispiel kann hier ein Fahrkartenautomat dienen, bei dem der Anwender immer von der Eingabe des Ziels, über die Wahl der Fahrkartenart zur Zahlungsebene gelangt. Diese Abfolge und das Funktionsangebot sind unabhängig von der getätigten Auswahl in den einzelnen Ebenen.

Eine *hierarchische Menüstruktur* bildet das Menüsystem in einem hierarchisch geordneten Menübaum ab, bei dem eine „Hauptfunktion“ (z.B. Funktion 2) mit jedem Hierarchiegrad zunehmend feiner in „Unterfunktionen“ (z.B. Funktion 2.3) bis hin zu „Einzelfunktionen“ (z.B. Funktion 2.3.1) aufgliedert wird (siehe Abbildung 2-7). Dabei werden die Einzelfunktionen, die letztendlich erst die gewünschte Aktion ausführen, den Funktionen der nächsthöheren Ebene nach begrifflicher und semantischer Zusammengehörigkeit zugewiesen (Shneiderman & Plaisant, 2010; Wandmacher, 1993).

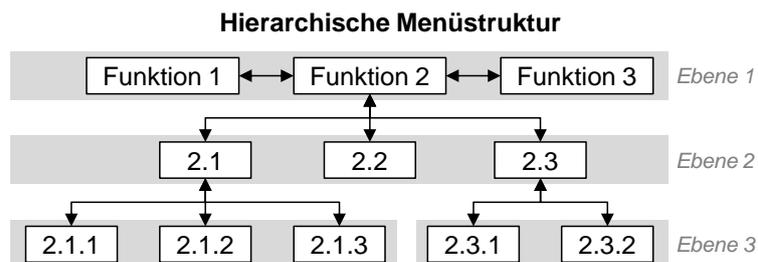


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung einer hierarchischen Menüstruktur

Daher ist ein direkter Sprung zwischen Funktionen einer Hierarchieebene nur möglich, wenn sie dem gleichen Oberbegriff angehören. Ansonsten muss der Nutzer dafür bis zum gemeinsamen Oberbegriff dieser beiden Funktionen zu-

rückspringen. Ein Beispiel hierfür ist der Windows Explorer, der die einzelnen Funktionen in einer hierarchischen Menübaumstruktur abbildet.

Bei der *vernetzten Menüstruktur* entsteht ein verzweigtes Netz aller Funktionen des Menüsystems. Dadurch werden von einer beliebigen Funktion aus direkte Sprünge zu den anderen Menüfunktionen ermöglicht, was einen Umweg über höhere Menüebenen erspart (Shneiderman & Plaisant, 2010). Im Gegensatz zur einfachen Menüstruktur können die Funktionen somit auch auf verschiedene Darstellungsebenen verteilt werden (siehe Abbildung 2-8). Allerdings ist es für den Nutzer bei einer großen Anzahl an Funktionen und Vernetzungen schwierig, den Überblick über das Menüsystem zu behalten, was die Bedienung erschwert (Shneiderman & Plaisant, 2010).

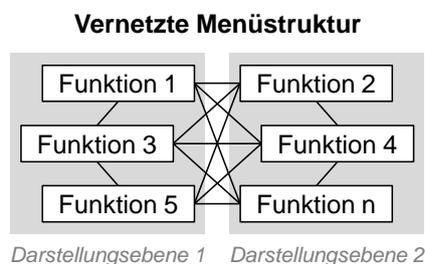


Abbildung 2-8: Schematische Darstellung einer vernetzten Menüstruktur

Eine *heterarchische Menüstruktur* entspricht zunächst einer hierarchischen Ordnung des Systems in einem Menübaum. Darin werden, wie Abbildung 2-9 zeigt, gezielt Vernetzungen integriert, die direkte Sprünge zwischen Funktionen unterschiedlicher Menüebenen und Oberbegriffe ermöglichen (Wandmacher, 1993). Durch die hierarchische Struktur bleibt eine gute Übersichtlichkeit für den Nutzer erhalten und die Vernetzungen wirken sich positiv auf die Bediengüte und die Bediengeschwindigkeit aus (Shneiderman & Plaisant, 2010). Als Beispiel für eine heterarchische Menüstruktur dienen moderne Smartphones, bei denen der Nutzer auf dem Startscreen Vernetzungen zu Funktionen aus unterschiedlichen Untermenüs (z.B. Kontakte aus dem Telefonbuch und Spiele) erstellen kann.

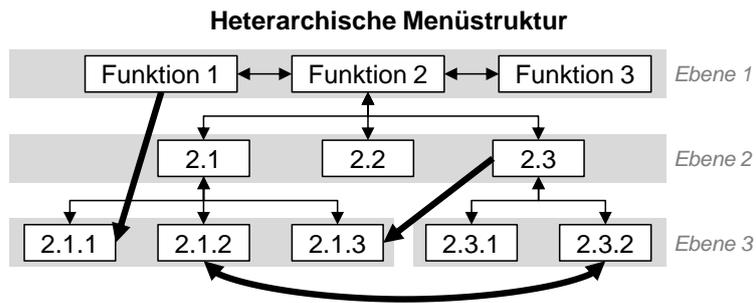


Abbildung 2-9: Schematische Darstellung einer heterarchischen Menüstruktur

Bei der Wahl der Menüstruktur für ein Fahrerinformationssystem ist darauf zu achten, dass dadurch eine einfache Bedienung und kurze Bedienzeiten sowie eine geringe Beanspruchung und Ablenkung des Fahrers von der primären Fahraufgabe gewährleistet wird. Aufgrund ihrer aufgezeigten Eigenschaften sind die einfache, die lineare und die vernetzte Menüstruktur für Fahrerinformationssysteme, die komplexe Menüsysteme mit mehr als 500 Einzelfunktionen aufweisen, ungeeignet. Denn mit ihnen ist es nicht möglich, eine Übersichtlichkeit, Handhabbarkeit und Komplexitätsminimierung der großen Funktionsvielfalt zu erzeugen (Wandmacher, 1993). Diese Anforderungen können durch die Verwendung einer hierarchischen oder heterarchischen Struktur erfüllt werden. Diese beiden Menüstrukturen sind vielen Nutzern aus dem täglichen Umgang mit PC- oder Smartphone-Betriebssystemen bekannt, wodurch für deren Bedienung bereits mentale Modelle vorhanden sind. Des Weiteren ist nach Jürgensohn & Timpe (2001) die enthaltene hierarchisch geprägte Grundstruktur vorteilhaft für eine einfache Bedienung und eine schnelle Erlernbarkeit des Menüsystems. Durch die zusätzlichen Vernetzungen verbessern sich bei einer heterarchischen Menüstruktur nach Shneiderman & Plaisant (2010) die Bediengüte und Bediengeschwindigkeit im Vergleich zu einer rein hierarchischen Ordnung. Allerdings kommt es durch die Integration von Vernetzungen in die hierarchische Grundstruktur zu einer Verbreiterung der Menüstruktur und einer Erhöhung der Funktionsanzahl auf dem Bildschirm. Dies führt zu einer Steigerung der visuellen Beanspruchung des Nutzers. Deshalb ist speziell für ein Fahrerinformationssystem, das auch während der Fahrt bedient wird, die Zahl der Vernetzungen auf ein ge-

wisses Minimum zu begrenzen. Denn in Anlehnung an Rassl (2004) und Herczeg (2009) sollten auf einem Display maximal 9 Funktionen simultan angeboten werden. Einer Untersuchung von Spies (2013) zufolge, verschlechtert sich die Bedienleistung bei einer Bedienung während der Fahrt bereits ab 8 simultan auf dem Bildschirm dargestellten Funktionen signifikant. Daher sollte die Einhaltung dieser Obergrenzen beachtet werden, damit die genannten Vorteile der heterarchischen Struktur erhalten und zugleich der visuelle Aufwand für den Fahrer möglichst gering bleiben.

Aus den genannten Gründen wird für das in dieser Arbeit zu entwickelnde Menükonzept des Fahrerinformationssystems eine heterarchische Struktur gewählt, bei der die hierarchische Grundordnung der Funktionen durch begrenzt und sinnvoll eingesetzte Vernetzungen ergänzt wird.

Neben dieser grundlegenden Ordnung der Funktionen gibt es noch weitere Eigenschaften eines Menüsystems, die bei dessen Gestaltung im Hinblick auf eine ablenkungsminimierte und einfache Bedienung berücksichtigt werden sollten.

2.4.1.2. Aufgabenorientiertheit

Hier ist zunächst die Aufgabenorientiertheit des Menüsystems zu nennen. Dabei werden dem Nutzer in Abhängigkeit des Systemzustands und der Menüposition nur die aktuell benötigten bzw. möglichen Funktionen zur Verfügung gestellt (Spies, Blattner, Horna, Bubb & Hamberger, 2009a). So wird beispielsweise bei einem aktiven Telefonat lediglich die eine aufgabenrelevante Funktion „Auflegen“ zur Beendigung der Aktion vom Menüsystem angeboten. Dadurch erfolgt eine Reduzierung der Anzahl an Auswahloptionen und der Komplexität der Bedienung.

2.4.1.3. Menübreite und Menütiefe

Eine weitere Eigenschaft ist die Beziehung aus Menübreite (i.e. Anzahl der auswählbaren Optionen pro Menüebene) und Menütiefe (i.e. Anzahl der Menüebenen bis zum Erreichen der gewünschten Option). Nach Preim & Dachzelt (2010), Miller (1981) sowie Shneiderman & Plaisant (2010) weisen breite, flache Me-

nüsysteme Vorteile gegenüber schmalen, tieferen Menüs auf, da die Nutzer sie schneller durchsuchen und bedienen können. Hierzu führten Totzke et al. (2003) Untersuchungen durch, bei denen in einer Dual-Task Situation ein breites Menü (8-8 Funktionen → 2 Ebenen) mit einem tiefen Menü (4-2-2-4 Funktionen → 4 Ebenen) verglichen wurde. Die beiden Menüs bestanden auf der Zielebene jeweils aus 64 Funktionen und enthielten die identischen Menüinhalte (Totzke et al., 2003). In Abbildung 2-10 sind diese beiden Menüvarianten schematisch dargestellt. In dem durchgeführten Vergleich wurden jedoch für die Verwendung der tiefen Menüvariante im Hinblick auf Bediengeschwindigkeit und visuelle Beanspruchung die besseren Ergebnisse erzielt.

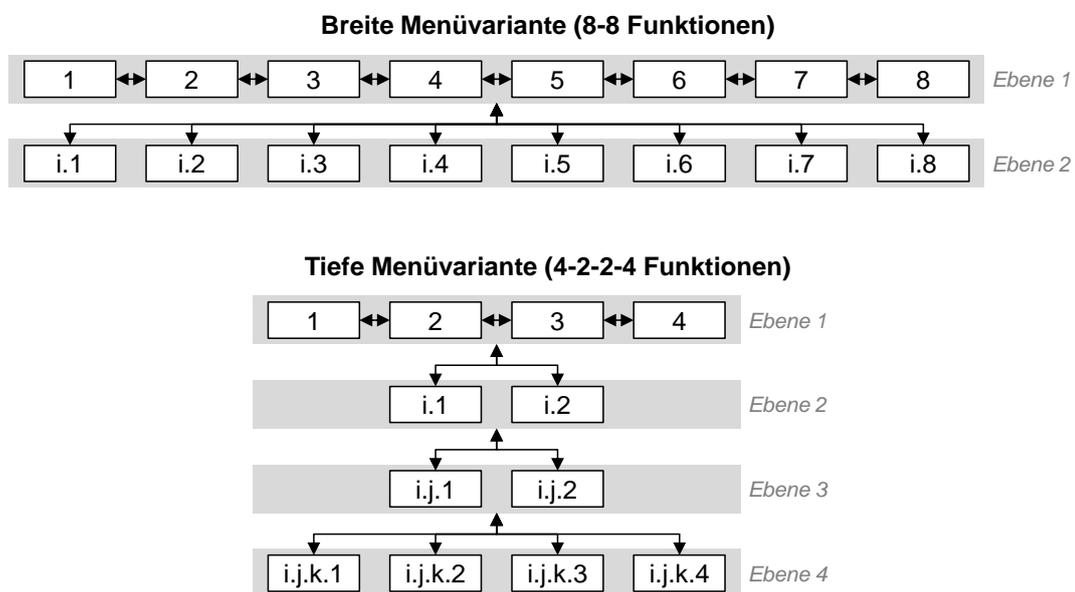


Abbildung 2-10: Schematische Darstellung der breiten und tiefen Menüvariante aus den Untersuchungen von Totzke et al. (2003)

Allgemein ist für die Menübedienung während der Fahrt festzuhalten, dass in der Breite die Obergrenze von 9 zeitgleich auf dem Display angebotenen Funktionen einzuhalten ist (Herczeg, 2009; Rassl, 2004). Eine geringere Zahl kleiner 8 simultan auswählbarer Optionen wäre gemäß den Untersuchungen von Spies (2013) jedoch sinnvoll. Diese niedrigere maximale Anzahl könnte eine Erklärung für das schlechtere Abschneiden des breiten Menüs in den Versuchen von Totzke et al. (2003) sein, da hierbei auf jeder der beiden Menüebenen jeweils 8

Funktionen simultan auf dem Bildschirm angeboten wurden. Zusätzlich zu diesen Maximalwerten für die Menübreite sollte das Menüsystem eine möglichst geringe Menütiefe aufweisen, die laut Miller (1981) im Optimalfall zwei bis drei Ebenen umfasst.

2.4.1.4. Konsistenz

Bei der Gestaltung eines Menüsystems stellt die Konsistenz eine weitere wichtige Eigenschaft dar. Denn ungewollte Inkonsistenzen in Systemen sind die Ursache für etwa 15 Prozent aller Bedienfehler (Preim & Dachzelt, 2010). Die Konsistenz von Menüsystemen sollte deshalb sichergestellt werden und kann nach Preim & Dachzelt (2010) in vier Kategorien eingeteilt werden:

- Sprachliche Konsistenz
 - Konsistente Verwendung von Terminologien (z.B. keine Wechsel zwischen „Einstellungen“, „Optionen“ und „Settings“)
- Strukturelle Konsistenz
 - Einheitliche Anordnung von Bedienelementen und Funktionen (z.B. Back-Funktion befindet sich immer links oben)
- Grafische Konsistenz
 - Konsistente Verwendung von Farben und grafischen Effekten (z.B. Einheitlichkeit von Buttondesign, Menüfarben und Animationen)
- Interaktionskonsistenz
 - Einheitliche Reaktion auf Bedieneingaben (z.B. einfaches Drücken des Touchpads führt stets zur Auswahl einer Funktion)

2.4.1.5. Adaptierbarkeit und Individualisierbarkeit

Zudem ist die Adaptierbarkeit bzw. Individualisierbarkeit eines Menüsystems eine weitere zu berücksichtigende Eigenschaft. Dadurch erhält der Nutzer die Möglichkeit, das System an seine individuellen Bedürfnisse anzupassen. Ein Beispiel hierfür ist die Erstellung von Vernetzungen auf oberster Menüebene zu frei wählbaren Favoritenfunktionen. Diese können zu einer schnelleren und einfacheren Bedienung führen. Allerdings ist auch hier im Hinblick auf Übersichtlichkeit und

Ablenkungsreduzierung eine Obergrenze dieser individualisierbaren Vernetzungen anzustreben.

2.4.1.6. Prinzip der „virtuellen Desktops“

Eine zusätzliche Eigenschaft ist das Prinzip der „virtuellen Desktops“ (Preim & Dachelt, 2010). Diese Fenstersysteme ermöglichen zum Beispiel direkte Sprünge zwischen Bildschirmfenstern von r verschiedenen Hauptfunktionen (siehe Abbildung 2-11). Dies bedeutet, dass der Nutzer beispielsweise aus dem Bildschirmfenster der Hauptfunktion 2, ohne den Umweg über das Hauptmenü, direkt in das Bildschirmfenster der benachbarten Hauptfunktion 1 wechseln kann (siehe Abbildung 2-11). Die Übergänge werden dabei in der Regel durch grafische Animationen dargestellt. Dieses Prinzip findet aktuell vor allem im Smartphone-Bereich Anwendung und ist bei dieser Nutzergruppe bereits gut bekannt.

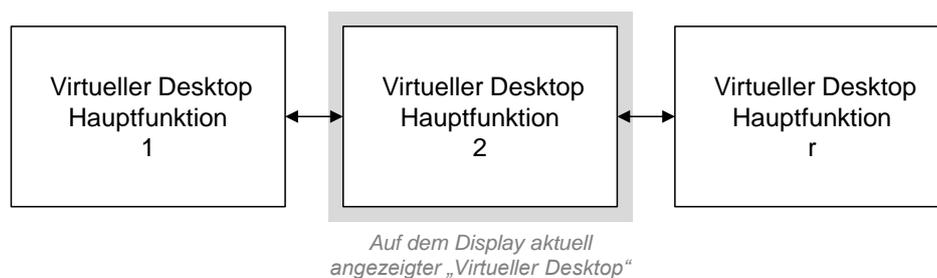


Abbildung 2-11: Prinzip der „virtuellen Desktops“

Durch die Menüstruktur und die oben genannten Eigenschaften werden der grundlegende Aufbau und die Funktionalität, also quasi der Rahmen des Menüsystems definiert. Darin werden die einzelnen Funktionen integriert und dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Dieses so entstandene Menüsystem bildet zusammen mit dem Display und der Bedieneinheit – in dieser Arbeit das haptische Touchpad – das Fahrerinformationssystem.

2.4.2. Aufgabentypen im Fahrzeug

Zur Bedienung der Tertiärfunktionen im Fahrzeug muss der Nutzer bzw. der Fahrer verschiedene Menüaufgaben ausführen. Diese beschränken sich nach Peters et al. (2010) bei den meisten Menüsystemen aktuell eingesetzter Fahrerinformationssysteme auf die nachfolgenden Aufgabentypen:

- Auswahl-Aufgabe, ≤ 9 Elemente
 - z.B. Menü-Auswahl
- Auswahl-Aufgabe, > 9 Elemente
 - z.B. Auswahl aus einer Liste
- Bewegen/Einstellen, 1-dimensional
 - z.B. Einstellen der Lautstärke, Scrollen von Listen
- Bewegen/Einstellen, 2-dimensional
 - z.B. Verschieben der Navigationskarte
- Freie Interaktionsaufgabe
 - z.B. Auswahl eines „Points of interest“ (POI) in der Karte

Spies (2013) ergänzt diese Aufzählung noch um alphanumerische Eingaben. Ein Beispiel hierfür ist das Schreiben von Buchstaben oder Zahlen auf einem Touchpad oder Touchscreen, um etwa einen Eintrag im Telefonbuch zu suchen oder direkt eine Telefonnummer einzugeben.

Auf diese grundlegenden Aufgabentypen lässt sich die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug zur Bedienung der Tertiärfunktionen demzufolge eingrenzen, was auch Haslbeck et al. (2011) bestätigen. Daher müssen diese Aufgabentypen über das Fahrerinformationssystem abgebildet und für den Menschen bzw. den Fahrer über die Interaktionsarten des haptischen Touchpads (siehe Abschnitt 4.1) möglichst einfach zu bedienen sein.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der durchgeführten theoretischen Betrachtung von Mensch-Maschine-Systemen zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug stellen die Basis für das in dieser Arbeit entwickelte Fahrerinformationssystem dar. In den Entwicklungsprozess werden die ermittelten Eigenschaften und Fähigkeiten der Teilsysteme Mensch bzw. Fahrer und Maschine bzw. Fahr-

zeug sowie die Grundlagen ihrer Interaktion über das Fahrerinformationssystem einbezogen. Dies erfolgt sowohl bei der Konzeption des Menüsystems als auch bei der Entwicklung des haptischen Touchpads, die im folgenden Kapitel vorgestellt wird.

3. Anforderungen an ein haptisches Touchpad (HTP) für ein Fahrerinformationssystem (FIS)

Als Bedienelement des Fahrerinformationssystems wird in dieser Arbeit aufgrund der in Abschnitt 1.1 aufgezeigten Vorteile ein haptisches Touchpad gewählt. Die Grundlage für die Entwicklung dieses haptischen Touchpads stellen zum einen die Ergebnisse aus den Untersuchungen von Spies (2013) dar. Zum anderen spielen die in Kapitel 2 gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der physiologischen und psychologischen Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen sowie bestehende Richtlinien und Normen eine entscheidende Rolle. Daraus ergibt sich eine Vielzahl an Anforderungen, die ein haptisches Touchpad für ein Fahrerinformationssystem erfüllen sollte. Mischler (2011) hat basierend auf theoretischen Betrachtungen diesbezüglich einen „Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug“ zusammengestellt (siehe Anhang A). Die Beachtung und Einhaltung all dieser Anforderungen wird im Rahmen des nachfolgenden Entwicklungsprozesses berücksichtigt.

Hierfür ist in einem ersten Schritt zu klären, auf welche Weise ein haptisches Feedback auf einem Touchpad erzeugt und umgesetzt werden kann.

3.1. Verschiedene Arten eines haptischen Feedbacks

Das Ergebnis einer durchgeführten umfangreichen Technologierecherche und -bewertung ist, dass ein haptisches Feedback auf einem Touchpad für Anwendungen im Fahrzeug grundsätzlich auf die folgenden beiden Arten realisiert werden kann (Blattner, Spies, Bengler & Hamberger, 2012a):

- Reelles haptisches Feedback (über adaptiv veränderliche Oberfläche)
- Simuliertes haptisches Feedback (über Vibration der Oberfläche)

Diese beiden unterschiedlichen Umsetzungsmöglichkeiten eines haptischen Feedbacks sind in Abbildung 3-1 veranschaulicht.

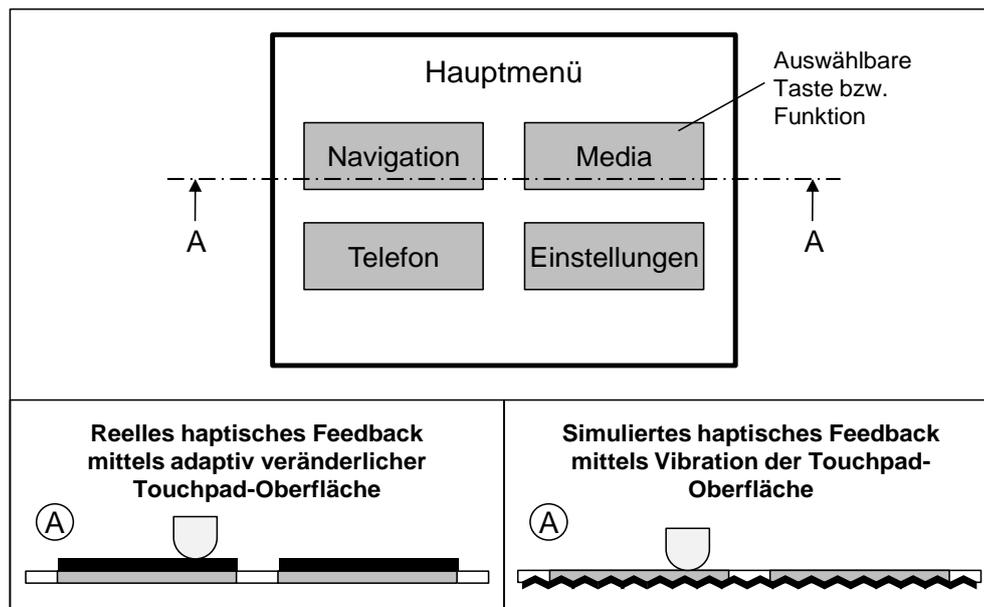


Abbildung 3-1: Zwei verschiedene Arten eines haptischen Feedbacks auf einem Touchpad zur Bedienung der auf dem Display dargestellten Menüfunktionen (oben)

Die erste Variante ist die Ausführung als reelles haptisches Feedback mittels einer adaptiv veränderlichen Touchpad-Oberfläche. Dieses Prinzip wird beispielsweise bei Doerrer (2004) und Spies et al. (2009b) angewendet. Dabei passt sich das Touchpad durch eine Veränderung seiner Oberfläche an die jeweils auf dem Display dargestellten Menüelemente (z.B. Tasten für „Navigation“ oder „Media“) an und bildet diese erfühlbar ab. Diese Manipulation der Oberfläche kann über unterschiedliche Technologien erfolgen. Bei dem Braille-Touchpad von Spies et al. (2009b) werden zum Beispiel über Piezo-Aktoren die entsprechenden Stifte zur Abbildung der Bildschirmhalte ausgefahren. Somit besteht für den Nutzer die Möglichkeit, die aktuell verfügbaren Menüfunktionen auf dem Display (z.B. die auswählbare Funktion „Media“), die als erhabene Elemente auf dem Touchpad dargestellt sind (siehe Abbildung 3-1, linke Seite), zu erfühlen und durch Drücken auszuwählen.

Bei dem zweiten Prinzip wird mittels Vibration der Touchpad-Oberfläche ein simuliertes haptisches Feedback erzeugt. Hierfür wird zunächst die auf dem Display angezeigte Konfiguration an auswählbaren Menüelementen (z.B. Listenein-

träge) virtuell auf dem Touchpad reproduziert. Dabei erfolgt jedoch keine Veränderung der stets ebenen Oberfläche. Berührt der Nutzer das Touchpad im virtuellen Bereich einer auswählbaren Funktion (z.B. erneut die Taste „Media“), erfolgt eine haptische Rückmeldung über eine dauerhafte Vibration der Touchpad-Oberfläche. Für die Erzeugung dieses simulierten haptischen Feedbacks können ebenfalls verschiedene Technologien verwendet werden. Das Vibrations-Feedback wird aufrechterhalten, solange sich der Finger des Nutzers auf dem virtuellen Bereich einer auswählbaren Funktion befindet (siehe Abbildung 3-1, rechte Seite). Durch das Drücken auf die Touchpad-Oberfläche innerhalb des zugehörigen Bereichs kann der Nutzer die jeweiligen Menüelemente auswählen. Diese Auswahl wird durch ein anderes Vibrationsmuster kurzer Dauer bestätigend rückgemeldet.

Im Hinblick auf die Reizung der Mechanorezeptoren (siehe Abschnitt 2.3.1.3) zur Wahrnehmung des haptischen Feedbacks ergeben sich ebenfalls Unterschiede für die beiden erläuterten Varianten. Gemäß der in Tabelle 2-1 aufgeführten Eigenschaften der Mechanorezeptoren werden durch das reelle haptische Feedback in erster Linie die Merkel-Zellen (SA-I) und die Meissner-Körperchen (FA-I) angesprochen. Der Grund dafür ist, dass die Kanten der ausgefahrenen Elemente einen vertikalen Druck auf die Haut ausüben und beim Berühren der Kanten ein Druckanstieg an der Haut entsteht (siehe Tabelle 2-1). Beim Überfahren der Kanten mit den Fingern werden zusätzlich die Ruffini-Körperchen (SA-II) gereizt, da dabei eine erhöhte laterale Zugspannung auf der Haut erzeugt wird. Im Gegensatz dazu werden beim simulierten haptischen Feedback hauptsächlich die Pacini-Körperchen (FA-II) adressiert, die sich sehr schnell an den eingehenden Reiz adaptieren, der wie zuvor erläutert durch die dauerhafte Vibration der Touchpad-Oberfläche beim Berühren eines auswählbaren Elements hervorgerufen wird. Sie sind besonders sensitiv auf Beschleunigungen und Vibrationen im Frequenzbereich von 100-300 Hz (siehe Tabelle 2-1). Daraus wird ersichtlich, dass zur Wahrnehmung des haptischen Feedbacks bei der realen Variante drei der vier Mechanorezeptoren angesprochen werden, während beim simulierten haptischen Feedback hauptsächlich die Pacini-Körperchen dafür adressiert sind.

Diese Tatsache könnte Auswirkungen auf die Wahrnehmungsleistung der Nutzer für die beiden unterschiedlichen Varianten eines haptischen Feedbacks haben.

Da es nach Bubb (1992) sinnvoll ist, die Rückmeldung multimodal zu gestalten, sollte das haptische Feedback durch ein visuelles und akustisches Feedback unterstützt werden. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei beiden Varianten das jeweils aktuell auf dem Touchpad berührte Element zusätzlich auch auf dem Display durch ein visuelles Highlight markiert. Bei der Auswahl eines Elements durch Drücken erfolgt ein weiteres visuelles Feedback über eine andere grafische Markierung auf dem Bildschirm. Zudem wird ein hörbarer Klick als akustische Bestätigung der Auswahl gegeben.

Aus technischer Sicht wäre ein Touchpad mit simulierter haptischer Rückmeldung einfacher umzusetzen als ein Touchpad mit reellem haptischen Feedback. Der Grund dafür ist, dass eine adaptiv veränderliche Oberfläche nach aktuellem Stand der Technik nur sehr schwer und aufwendig zu realisieren ist. Jedoch wurden die in Abschnitt 1.1 aufgezeigten Vorteile aus den Untersuchungen von Spies (2013) und Spies et al. (2009b, 2010) für ein haptisches Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung (Braille-Technologie) festgestellt. Deshalb ist eine Untersuchung erforderlich, ob ein simuliertes haptisches Feedback mittels Vibration der Touchpad-Oberfläche in einer Dual-Task Situation vergleichbar gute Ergebnisse liefert.

Um diesen Vergleich durchführen zu können, müssen zunächst zwei Prototypen eines haptischen Touchpads konzipiert und realisiert werden. Dabei stehen für die Umsetzung der beiden erläuterten Arten eines haptischen Feedbacks, wie bereits erwähnt, verschiedene Technologien bzw. Aktorprinzipien zur Verfügung, die im Folgenden vorgestellt werden.

3.1.1. Aktorprinzipien zur Umsetzung

Zur Erzeugung der beiden Arten des haptischen Feedbacks existieren nach Kern, Matysek & Sindlinger (2009) verschiedene Aktorprinzipien, die in Tabelle 3-1 aufgelistet sind.

Tabelle 3-1: Zusammenstellung nutzbarer Aktorprinzipien nach Kern et al. (2009)

Aktorprinzip	Erläuterung
Elektrodynamisches Prinzip	Kraft, so genannte Lorentzkraft, die auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld wirkt.
Elektromagnetisches Prinzip	Kraft, die auf einen Magnetkreis wirkt, um die in diesem enthaltene Energie zu minimieren.
Piezoelektrisches Prinzip	Kraft, die in Folge einer angelegten Spannung auf einen Kristallverbund wirkt und diesen deformiert.
Kapazitives Prinzip	Kraft, resultierend aus dem Bestreben von Ladungen, die in einem Kondensator gespeicherte Energie zu minimieren.
Magnetorheologisches Prinzip	Viskositätsänderung einer Flüssigkeit, die aus dem Bestreben von Partikeln resultiert, die in einem Magnetkreis enthaltene Energie zu minimieren.
Elektrochemisches Prinzip	Hub bzw. Druck in einem geschlossenen System, bei dem unter Anwendung elektrischer Energie ein Material ausgast und somit sein Volumen ändert.
Elektrostatisches Prinzip	Unter Zugabe von elektrischer Energie erzeugt ein adaptives elektroaktives Polymer hohe Dehnungen.
Elektrotaktiler Prinzip	Periodisch aufgebrachte elektrostatische Kräfte ziehen den berührenden Finger an und täuschen unterschiedliche Texturen vor.
Thermisches Prinzip	Längenänderung eines Materials aufgrund gezielter Temperaturänderungen, resultierend aus dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten.
Formgedächtnis-Legierung	Formänderung eines Materials aufgrund von relativ niedrigen Temperaturänderungen ($\approx 500\text{ °C}$) in eine Ursprungsform, die bei der Herstellung unter hohen Temperaturen ($\approx 1000\text{ °C}$) eingepreßt worden war.
Pneumatisches Prinzip	Umwandlung von Druck und Volumenfluss in Auslenkung und Kraft. Medium der Druckübertragung ist die Luft.
Hydraulisches Prinzip	Umwandlung von Druck und Volumenfluss in Auslenkung und Kraft. Druckübertragung über eine Flüssigkeit, in der Regel ein Öl.

Aufgrund der Verwendung des Touchpads im Fahrzeug ergeben sich basierend auf den theoretischen Betrachtungen zahlreiche Anforderungen (siehe Abschnitt 2.3.1.4) an die Eigenschaften des haptischen Feedbacks. Beispielhaft sind dabei die folgenden Faktoren zu nennen: realisierbare Kräfte und Wege, Dynamik, erzeugbare Frequenzen, Geräuschbelastung, Bauraum oder die Intensität der Rückmeldung. Daher wird im nächsten Abschnitt bewertet, welche der erläuterten Prinzipien nach aktuellem Stand der Technik für ein haptisches Touchpad im Fahrzeug anwendbar sind.

3.1.2. Anwendbarkeit im Fahrzeug

Die meisten der aufgeführten Aktorprinzipien können die Anforderungen an Stellweg, Maximalkraft, Dynamik, Regelfähigkeit, etc. aktuell nicht erfüllen (Doerr, 2004). Deshalb kommen für ein automotive-taugliches haptisches Touchpad in Anlehnung an Doerr (2004) generell nur die nachfolgenden Prinzipien in Frage:

- Elektrodynamische Aktoren (z.B. Tauchspule, Voice-Coil Aktor)
- Elektromagnetische Aktoren (z.B. Hubmagnet, Schwinger)
- Piezoelektrische Aktoren (z.B. Stapelaktoren, Biege wandler)
- Elektrostatische Aktoren (z.B. Stapelaktor, Rollenaktor, Diaphragma-Aktor)

Um die beiden verschiedenen Arten eines haptischen Feedbacks (i.e. reell und simuliert) vergleichen zu können, werden zwei Touchpad-Prototypen aufgebaut. Hierfür werden jeweils diejenigen Aktorprinzipien verwendet, welche nach aktuellem Stand der Technik und als Ergebnis eines Expertenworkshops die Anforderungen (siehe Anhang Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug) an ein haptisches Touchpad zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems bestmöglich erfüllen.

3.2. Realisierte Varianten eines haptischen Touchpads im Fahrzeug

Im Falle des Touchpads mit reeller haptischer Rückmeldung kommen piezoelektrische Biege wandler zum Einsatz. Da das bereits existierende Braille-Touchpad von Spies (2013) ebenfalls nach diesem Prinzip funktioniert, wird es für den Vergleich herangezogen. Das Touchpad besteht dabei aus einer Matrix aus 40x30 Stiftelementen, die über die Biege wandler 0,7 mm ausgefahren werden können. Dadurch kann die Oberfläche des Touchpads adaptiv verändert und dynamisch an die im Display angezeigten und auswählbaren Menüelemente angepasst werden (siehe Abbildung 3-2, links).

ANFORDERUNGEN AN EIN HAPTISCHES TOUCHPAD

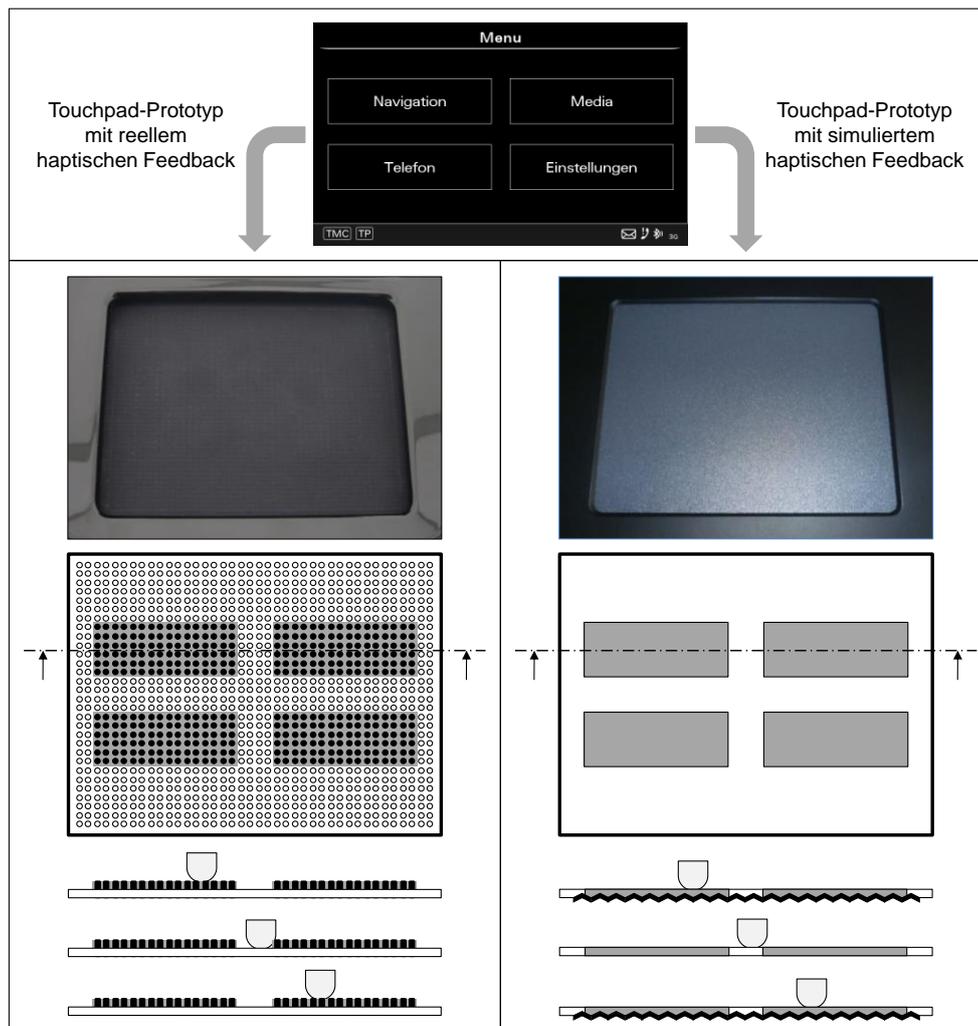


Abbildung 3-2: Abbildungsprinzip für die auswählbaren Menüfunktionen und Funktionsweise der beiden Touchpad-Prototypen mit reellem haptischen Feedback (links) und simuliertem haptischen Feedback (rechts)

Für das Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback erfolgt die Verwendung eines elektromagnetischen Aktorprinzips. Hierfür wird ein Prototyp mit vier elektromagnetischen Schwingern realisiert. Diese werden an den Rändern eines herkömmlichen Touchpads angebracht und bringen die Oberfläche zum Vibrieren. Dieses relativ stark ausgeführte Vibrationsfeedback mit einer Frequenz von 250 Hz wird nicht ortsabhängig, sondern ganzflächig erzeugt, solange der Nutzer das Touchpad innerhalb des virtuellen Bereichs einer auswählbaren Funktion berührt (siehe Abbildung 3-2, rechts).

Mithilfe dieser beiden Varianten erfolgt der Vergleich des realen und des simulierten haptischen Feedbacks für ein Touchpad im Fahrzeug in der nachfolgend beschriebenen Realfahrtstudie.

3.3. Realfahrtstudie – Vergleich reales und simuliertes haptisches Feedback

Mit der Durchführung dieser Realfahrtstudie soll folgende zentrale Fragestellung geklärt werden:

Welche Art des haptischen Feedbacks (reell oder simuliert) ist für ein haptisches Touchpad zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems in einer Dual-Task Situation einzusetzen?

Hierfür soll in der Studie ermittelt werden, wie sich die Verwendung dieser beiden Varianten eines haptischen Touchpads während der Fahrt auf die Bediendauer, die Blickabwendung und die Fahrqualität auswirkt. Zudem erfolgt eine subjektive Bewertung der beiden unterschiedlichen haptischen Touchpads durch die Versuchspersonen.

3.3.1. Hypothesen

Ein Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback wäre, wie in Abschnitt 3.1 erläutert, aus technischen Gründen einfacher zu realisieren. Es muss aber erst nachgewiesen werden, dass diese Art des haptischen Feedbacks für die Bedienung des Fahrerinformationssystems in einer Dual-Task Situation vergleichbar gut abschneidet wie ein Touchpad mit realer haptischer Rückmeldung. Aus diesem Grund werden die folgenden vier Hypothesen aufgestellt und in der Realfahrtstudie untersucht:

- 1-H1.** Ein Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback mittels Vibration führt zu identischen oder kürzeren Menü-Bedienzeiten wie ein reales haptisches Feedback.
- 1-H2.** Das Blickverhalten bei der Bedienung des Fahrerinformationssystems mittels Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback ist genauso effizient

oder effizienter als bei einem Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung.

1-H3. Ein haptisches Feedback mittels Vibration liefert mindestens gleichwertige Fahrleistungen wie ein Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung.

1-H4. Die subjektive Bewertung der Probanden für das Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback ergibt vergleichbare oder bessere Ergebnisse wie für das Touchpad mit reellem haptischem Feedback.

3.3.2. Studiendesign

Die Beurteilung dieser Hypothesen und die damit verbundene Beantwortung der zentralen Fragestellung stellen das Ziel der durchgeführten Realfahrtstudie dar, auf deren Studiendesign in diesem Abschnitt näher eingegangen wird.

3.3.2.1. Probandenkollektiv

Die Durchführung der Realfahrtstudie zum Vergleich der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback erfolgt im „within-subject“ Design. Dies bedeutet, dass die beiden Touchpad-Varianten von denselben Probanden getestet und bewertet werden (Field, 2013). Dabei besteht die abhängige Stichprobe aus 30 Versuchspersonen (7 Frauen; 23 Männer; Altersdurchschnitt $\bar{\mu}_A = 38,8$ Jahre; Standardabweichung $StAbw_A = 8,5$ Jahre).

3.3.2.2. Fahraufgabe

Die Fahraufgabe aller Probanden besteht darin, mit einem Audi A8L auf der Autobahn A9 (Teilstück zwischen Lenting und Denkendorf) auf der mittleren Spur zu fahren. Dabei soll eine Geschwindigkeit von 100 km/h erreicht und nach Möglichkeit konstant eingehalten werden. Hierfür stehen keine technischen Hilfsmittel, wie beispielsweise ein Tempomat oder eine ACC-Funktion, zur Verfügung. Die Versuchspersonen werden jedoch explizit darauf hingewiesen, dass die Sicherheit und die Vermeidung von gefährlichen Situationen oder Unfällen oberste Priorität besitzen.

3.3.2.3. Menübedienungsaufgaben

Als Nebenaufgabe zu dieser primären Fahraufgabe müssen die Probanden die nachfolgenden Menübedienungsaufgaben ausführen. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Handlungsschritte zur Bewältigung der drei Menüaufgaben ist dabei dem Studienleitfaden (siehe Anhang B: Leitfaden, Vorabfragebogen und Attrakdiff für die Realfahrtstudie „Vergleich reelles und simuliertes haptisches Feedback“) zu entnehmen.

1-A1. Eingabe eines vorgegebenen Ziels aus dem „Letzte Ziele“-Speicher

1-A2. Anruf eines definierten Kontaktes aus dem Telefonbuch

1-A3. Reduzierung der Lautstärke des Navigationssystems

Diese Interaktionsaufgaben sind in ein vereinfachtes und speziell für diese Realfahrtstudie implementiertes Fahrerinformationssystem eingebettet, das für beide Touchpad-Varianten verwendet wird. Den Startpunkt für die drei Aufgaben bildet dabei jeweils der Hauptmenü-Screen mit den vier verfügbaren Funktionen „Navigation“, „Media“, „Telefon“ und „Einstellungen“. Die Probanden erledigen diese drei Menübedienungsaufgaben während der Fahrt in permutierter Reihenfolge mit den beiden unterschiedlichen haptischen Touchpads. Hierfür werden die Touchpad-Varianten austauschbar im Fahrzeug integriert und jeweils an gleicher Stelle auf der Mittelkonsole zwischen Fahrer- und Beifahrersitz platziert.

3.3.2.4. Datenerhebung

Parallel zur Erledigung der Menübedienungsaufgaben in der beschriebenen Dual-Task Situation werden objektive (Bedien-, Blick- und Fahrdaten) Daten erhoben.

Die Bedienqualität wird über die Zeitdauer, die zur Erledigung der Menüaufgaben benötigt wird, objektiv bewertet. Dabei wird die Zeitnahme automatisch von der implementierten Menüsimulation getriggert und durch das System „Dikablis“ gespeichert. Für die Bediendaten ergibt sich daher der nachfolgende Kennwert:

- Bediendaten:
 - Bediendauer (= *Zeitdauer für die Erledigung einer Menüaufgabe*)

Zur Ermittlung der Blickdaten bzw. Blickablenkung wird ebenfalls das System „Dikablis“ verwendet. Dies ist ein kopfgetragenes Blickerfassungssystem, das die Blickbewegungen der Versuchspersonen während der Interaktion mit den beiden Touchpad-Varianten in Echtzeit erfasst. Hierfür werden sogenannte „areas of interest“ (AOIs) benötigt, die in dieser Studie durch das Display und das aktuell verwendete haptische Touchpad festgelegt sind. Für Einzelheiten und Details zu Funktionsweise, Systemarchitektur und Hardwarekomponenten dieses Blickerfassungssystems wird auf Lange, Wohlfahrter & Bubb (2006) verwiesen. Aus den aufgezeichneten Blickbewegungen werden die folgenden fünf Kennwerte für die Ablenkung von der primären Fahraufgabe durch Blicke auf diese AOIs berechnet:

- Aggregierte Blickdaten:
 - Kumulierte Blickdauer auf AOIs
(= Summe aller Einzelblickdauern auf die AOIs während der Erledigung einer Menüaufgabe)
 - Anzahl der Blicke auf AOIs
(= Summe aller Einzelblicke auf die AOIs während der Erledigung einer Menüaufgabe)
 - Verkehrsblindheitsquotient
(= Quotient aus der kumulierten Blickdauer und der Bediendauer für die Erledigung einer Menüaufgabe)
- Einzelblickdaten:
 - Maximale Blickdauer auf AOIs
(= Längste Einzelblickdauer auf die AOIs während der Erledigung einer Menüaufgabe)
 - Mittlere Blickdauer auf AOIs
(= Gemittelte Zeitdauer aller Einzelblicke auf die AOIs während der Erledigung einer Menüaufgabe)

Für die Aufzeichnung der Fahrdaten werden mithilfe der Software-Umgebung „ADTF“ (Automotive Data and Time-triggered Framework) verschiedene Kennwerte vom CAN-Bus des Fahrzeugs abgegriffen und gespeichert. Über diese

nachfolgend aufgelisteten Kennwerte erfolgt die Bewertung des Einflusses der beiden Touchpad-Varianten auf die Fahrqualität:

- Longitudinale Fahrdaten:
 - Standardabweichung der Geschwindigkeit
(= *StAbw der Fahrgeschwindigkeit während der Erledigung einer Menüaufgabe*)
 - Standardabweichung der Gaspedalstellung
(= *StAbw der Gaspedalstellung während der Erledigung einer Menüaufgabe, wobei der gesamte Bewegungsbereich des Gaspedals 100 % entspricht*)
- Laterale Fahrdaten:
 - Standardabweichung des Lenkwinkels
(= *StAbw des Lenkwinkels während der Erledigung einer Menüaufgabe in Grad*)

Die Synchronisierung der Aufzeichnung aller aufgeführten objektiven Versuchsdaten übernimmt das Blickerfassungssystem „Dikablis“.

Zudem erfolgt eine subjektive Einschätzung und Bewertung der unterschiedlichen haptischen Touchpads durch die Versuchspersonen. Dies geschieht jeweils im Anschluss an die Durchführung der drei Menübedienungsaufgaben. Hierfür werden den Probanden zum einen sechs Fragen bezüglich der Bedienung der jeweiligen Touchpad-Variante gestellt, die sie mithilfe einer sechs-stufigen Likert-Skala beantworten sollen. Zum anderen wird anhand des Attrakdiff-Fragebogens von Hassenzahl, Burmester & Koller (2003) die subjektiv wahrgenommene hedonische und pragmatische Qualität sowie die Attraktivität der beiden haptischen Touchpads ermittelt. In einem letzten Schritt sollen die Versuchspersonen angeben, welche der beiden Touchpad-Varianten sie bevorzugen.

3.3.3. Durchführung

Die exakte Durchführung der Realfahrtstudie erfolgt für jeden teilnehmenden Probanden gemäß dem in Abbildung 3-3 veranschaulichten Ablauf.

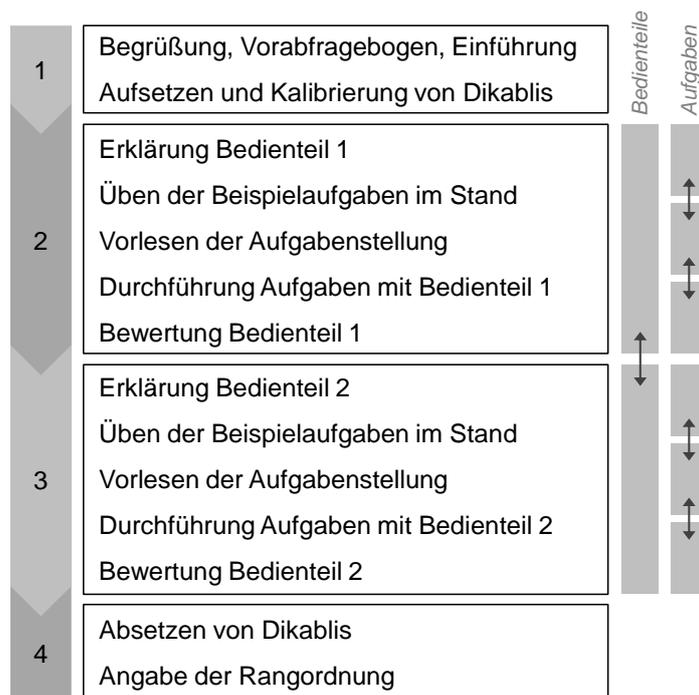


Abbildung 3-3: Versuchsablauf der durchgeführten Realfahrtstudie zum Vergleich von reellem und simuliertem haptischen Feedback

Im Anschluss an die Abholung und Begrüßung durch den Versuchsleiter fährt die Versuchsperson zu einer Tankstelle in der Nähe der A9 Autobahnanschlussstelle Lenting und parkt das Fahrzeug. Dort bekommt der Proband einen Vorabfragebogen, den er ausfüllt, und eine allgemeine Einführung zur Thematik sowie zum Ablauf und Inhalt der Studie. Des Weiteren wird ihm das Blickerfassungssystem „Dikablis“ aufgesetzt und kalibriert.

Daraufhin erhält der Proband eine genaue Erklärung des ersten Bedienteils und kann dessen Bedienung anhand verschiedener Beispielaufgaben im Stand üben. Im Anschluss daran fährt die Versuchspersonen an der Anschlussstelle Lenting auf die Autobahn A9 in Richtung Nürnberg. Auf dem Weg dorthin wird die beschriebene Fahraufgabe erläutert. Sobald sich das Fahrzeug auf der mittleren Spur befindet und die Geschwindigkeit von 100 km/h erreicht ist, liest der Versuchsleiter die Aufgabenstellung der ersten Menübedienungsaufgabe vor. Der Proband kann diese Aufgabe dann selbstständig starten und führt diese bis zum

vorgegebenen Ergebnis aus. Dieser Vorgang wird für die beiden weiteren Menübedienungsaufgaben wiederholt. Nach Erledigung der drei Menüaufgaben für das erste Bedienteil fährt die Versuchsperson bei der Anschlussstelle Denkendorf von der Autobahn A9 ab und bleibt bei einem nahegelegenen Parkplatz stehen. An dieser Stelle erfolgen die subjektive Bewertung des soeben verwendeten Bedienteils anhand der sechs Fragen und des Attrakdiff Fragebogens sowie der Umbau auf das zweite Bedienteil, den der Versuchsleiter vornimmt.

Dieser für das erste Bedienteil beschriebene Ablauf wird für das zweite Bedienteil in identischer Weise wiederholt. Die Durchführung erfolgt dabei auf dem Autobahnteilstück der A9 zwischen Denkendorf und Lenting in Richtung München und die subjektive Bewertung an der zuvor bereits erwähnten Tankstelle bei der Anschlussstelle Lenting.

Im Anschluss daran nimmt der Versuchsleiter dem Probanden das Blickerfassungssystem „Dikablis“ ab und erfragt abschließend, welche Variante des Touchpads mit haptischem Feedback die Versuchsperson bevorzugt. Im letzten Schritt der Studie wird der Proband noch zum gewünschten Zielort gebracht.

Zwischen den Probanden wird sowohl die Abfolge der Bedienteile als auch jeweils der drei Menübedienungsaufgaben permutiert, um eventuelle Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Dieses Permutationsprinzip ist ebenfalls in Abbildung 3-3 auf der rechten Seite dargestellt.

3.3.4. Auswertung und Ergebnisse

Die aus der erläuterten Realfahrtstudie gewonnenen Daten für die beiden Touchpad-Varianten werden mithilfe von t-Tests bei gepaarten Stichproben (Field, 2013) statistisch ausgewertet. Dabei wird das Signifikanzniveau auf den Wert 0,05 festgelegt. Demnach liegt für den jeweiligen Kennwert ein signifikanter Unterschied zwischen den Touchpad-Varianten vor, wenn der Signifikanzwert $p < 0,05$ ist. Eine detaillierte Erläuterung und Beschreibung der verwendeten Statistik-Werte ist Field (2013) zu entnehmen.

Es ist zu erwähnen, dass für die Auswertung der objektiven Kennwerte aufgrund technischer Probleme mit der Datenaufzeichnung die Daten von fünf Versuchs-

personen nicht verwendet werden können. Daher reduziert sich die Stichprobengröße n hierfür auf 25 Probanden und die Anzahl der Freiheitsgrade auf $df = 24$.

Im Folgenden werden die aus der Studie resultierenden Ergebnisse für die beiden unterschiedlichen Touchpads mit reellem bzw. simuliertem haptischen Feedback vorgestellt. Ein Ausschnitt dieser Ergebnisse ist auch bei Blattner, Spies, Bengler & Hamberger (2012b) und Blattner, Bengler, Hamberger & Schnieder (2012) zu finden.

3.3.4.1. Bediendaten

Im Hinblick auf die Bediendauer liefert das Touchpad mit reellem haptischen Feedback für alle drei Menübedienungsaufgaben signifikant kürzere Werte als das Touchpad mit simulierter haptischer Rückmeldung (siehe Tabelle 3-2 und Abbildung 3-4).

Tabelle 3-2: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	Bediendauer			
	<i>df</i>	<i>T</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
Aufgabe 1	24	-3,81	<,001	,61
Aufgabe 2	24	-4,11	<,001	,64
Aufgabe 3	24	-5,01	<,001	,71

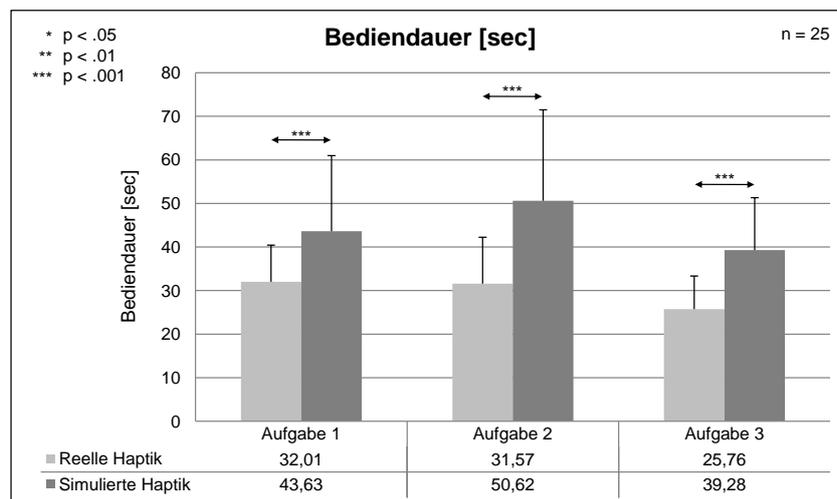


Abbildung 3-4: Bediendauer der Probanden zur Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback

Da die Effektstärke $r \geq 0,50$ ist, liegt nach Field (2013) zudem für jede der Aufgaben ein großer Effekt vor, was Tabelle 3-2 zeigt.

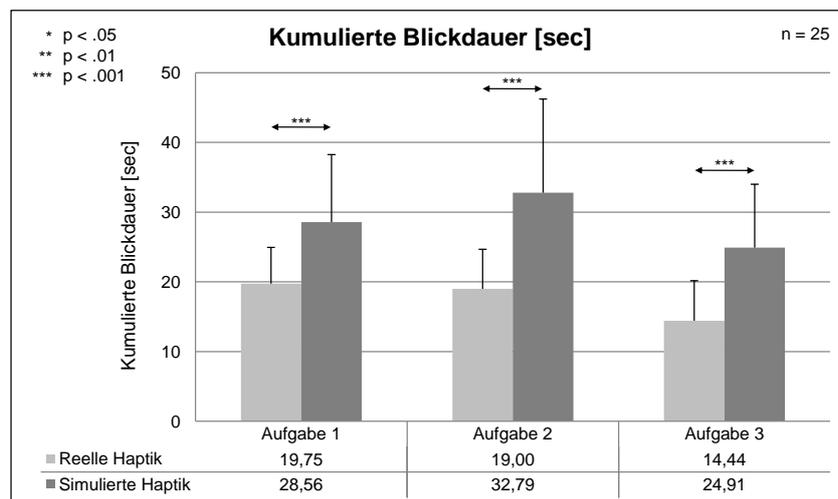
Demzufolge kann die Hypothese 1-H1, dass ein Touchpad mit simuliertem haptischem Feedback mittels Vibration zu identischen oder kürzeren Menü-Bedienzeiten wie ein reelles haptisches Feedback führt, in der durchgeführten Realfahrtstudie nicht verifiziert werden.

3.3.4.2. Blickdaten

Die Betrachtung der aggregierten Blickdaten zeigt folgendes Ergebnis. Bei den beiden Kennwerten „Kumulierte Blickdauer“ und „Anzahl der Blicke“ liegt für alle zu erledigenden Menübedienungsaufgaben ebenfalls ein signifikanter Unterschied mit jeweils großer Effektstärke zugunsten des realen haptischen Feedbacks vor (siehe Tabelle 3-3 und Abbildung 3-5).

Tabelle 3-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	Kum. Blickdauer				Anzahl Blicke				Verkehrsblindheitsquotient			
	df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
Aufgabe 1	24	-4,56	<,001	,68	24	-3,83	<,001	,62	24	-2,34	,028	,43
Aufgabe 2	24	-5,27	<,001	,73	24	-3,83	<,001	,62	24	-1,40	,175	,27
Aufgabe 3	24	-5,05	<,001	,72	24	-4,91	<,001	,71	24	-3,01	,006	,52



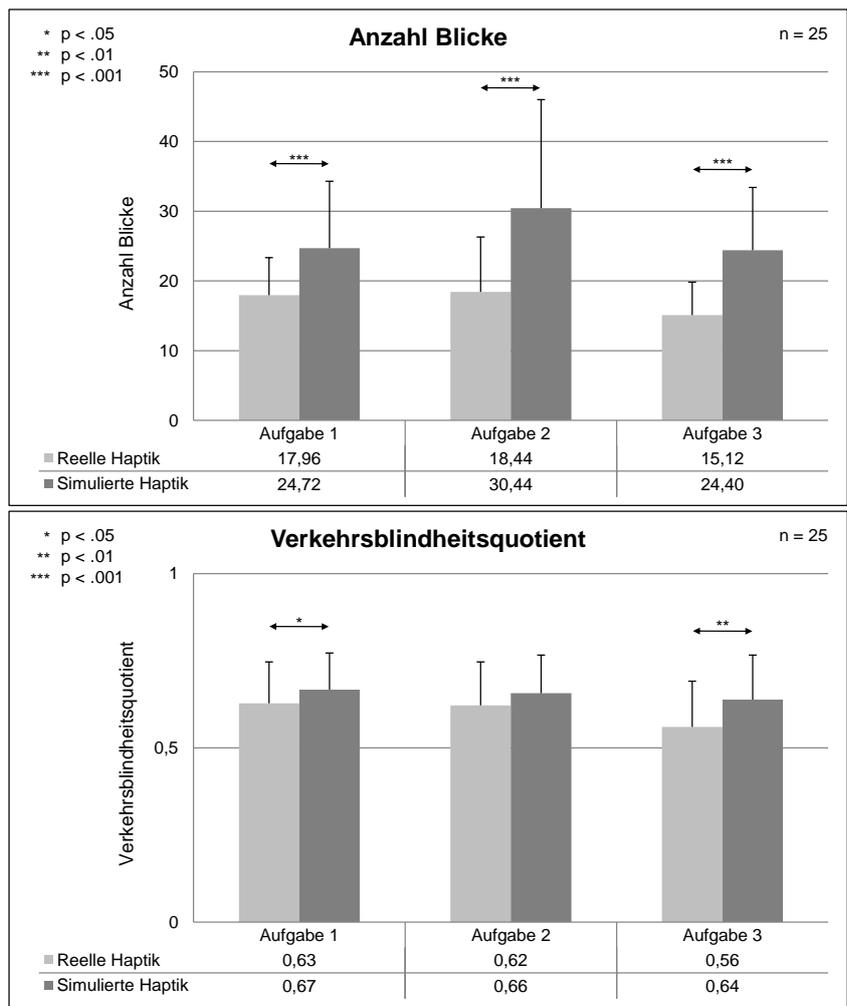


Abbildung 3-5: Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpad-Varianten

Beim Verkehrsblindheitsquotienten weist das Touchpad mit reellem haptischen Feedback für die Menüaufgaben 1-A1 und 1-A3 signifikant bessere Ergebnisse mit mittlerer ($0,30 \leq r < 0,50$) bzw. großer Effektstärke auf. Lediglich für Menübedienungsaufgabe 1-A2 zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Touchpad-Varianten.

Die Analyse der maximalen Blickdauer auf die AOs legt für das Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung signifikant kürzere Werte während der Ausführung der drei Menübedienungsaufgaben dar. Dabei liegen mittlere bis große Effekte vor (siehe Tabelle 3-4 und Abbildung 3-6). Für die mittlere Blickdauer auf

die AOIs, den zweiten Kennwert der Einzelblickdaten, lässt sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden unterschiedlichen haptischen Touchpads feststellen.

Tabelle 3-4: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	Max. Blickdauer				Mittlere Blickdauer			
	df	T	p	r	df	T	p	r
Aufgabe 1	24	-3,05	,005	,53	24	-1,51	,144	,29
Aufgabe 2	24	-2,43	,023	,44	24	-0,87	,392	,18
Aufgabe 3	24	-2,06	,050	,39	24	-1,84	,079	,35

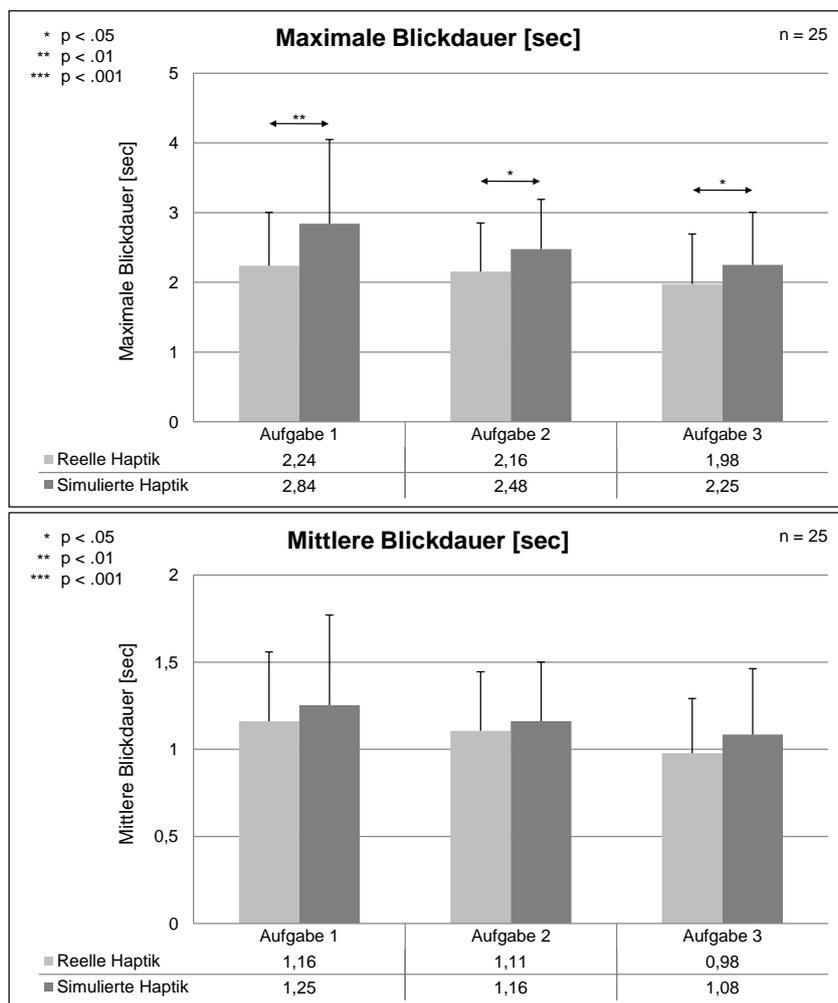


Abbildung 3-6: Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOIs während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpad-Varianten

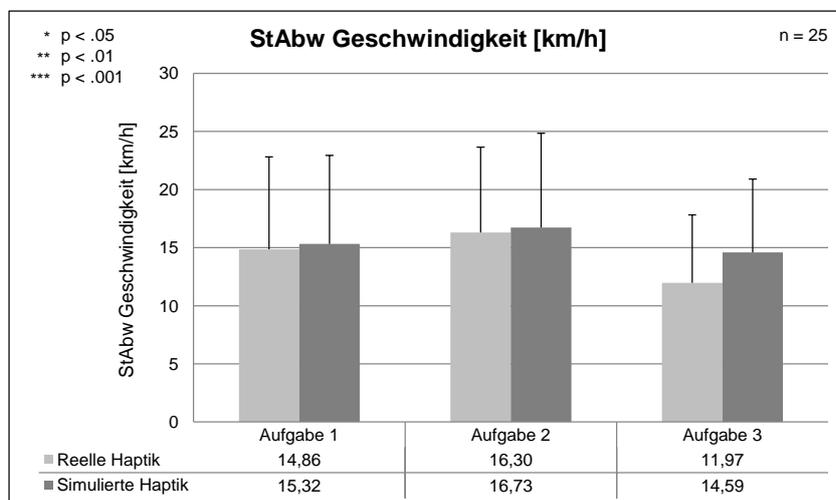
Insgesamt betrachtet ergeben die Blickdaten dennoch einen klaren Vorteil für das Touchpad mit reellem haptischen Feedback, weshalb auch Hypothese 1-H2 nicht bestätigt werden kann.

3.3.4.3. Fahrdaten

Hinsichtlich der longitudinalen und lateralen Fahrdaten zeigt sich für die StAbw der Geschwindigkeit und des Lenkwinkels kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Touchpad-Varianten. Dies trifft auch bei der ersten Menübedienungsaufgabe für die StAbw der Gaspedalstellung zu. Bei den anderen beiden Aufgaben ergeben sich hier jedoch signifikant bessere Resultate bei einer großen Effektstärke für das Touchpad mit reellem haptischen Feedback (siehe Tabelle 3-5 und Abbildung 3-7).

Tabelle 3-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen und lateralen Fahrdaten

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	StAbw Geschwindigkeit				StAbw Gaspedalstellung				StAbw Lenkwinkel			
	df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
Aufgabe 1	24	-0,35	,732	,07	24	-0,65	,522	,13	24	-0,66	,513	,13
Aufgabe 2	24	-0,24	,812	,05	24	-3,09	,005	,53	24	-1,08	,292	,21
Aufgabe 3	24	-1,85	,077	,35	24	-3,27	,003	,56	24	-0,58	,566	,12



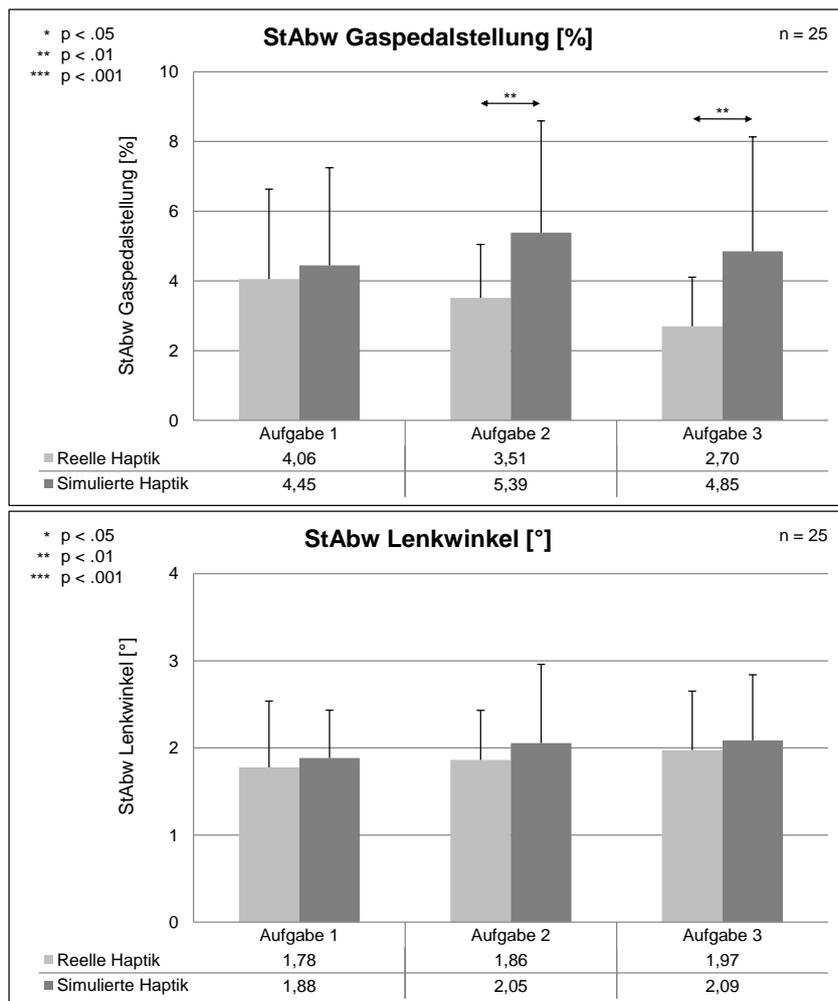


Abbildung 3-7: StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Lenkwinkels während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischem Feedback

Aufgrund der Tatsache, dass sich zwischen den Touchpads mit reellem bzw. simuliertem haptischem Touchpad im Hinblick auf die Fahrdaten überwiegend kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen lässt, wird Hypothese 1-H3 nicht abgelehnt. Dennoch ergeben sich tendenzielle Vorteile für das Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung.

3.3.4.4. Subjektive Daten

Nach den objektiven Daten folgt die Vorstellung der Ergebnisse aus der subjektiven Bewertung der beiden unterschiedlichen haptischen Touchpads durch die

Probanden. Aus der Beurteilung der sechs Fragen, die nach der Erledigung der Menüaufgaben jeweils für das verwendete Bedienteil gestellt wurden, resultieren deutliche Vorteile für das Touchpad mit reellem haptischem Feedback. Dieses schneidet bei allen sechs Fragen signifikant besser ab, wobei mit Ausnahme der Frage 5 (mittlere Effektstärke) ausschließlich große Effekte vorliegen (siehe Tabelle 3-6 und Abbildung 3-8).

Tabelle 3-6: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der sechs gestellten Fragen

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	Subjektive Bewertung			
	df	T	p	r
Frage 1	29	9,27	<,001	,86
Frage 2	29	6,00	<,001	,74
Frage 3	29	6,19	<,001	,75
Frage 4	29	4,97	<,001	,68
Frage 5	29	2,77	,010	,46
Frage 6	29	5,29	<,001	,70

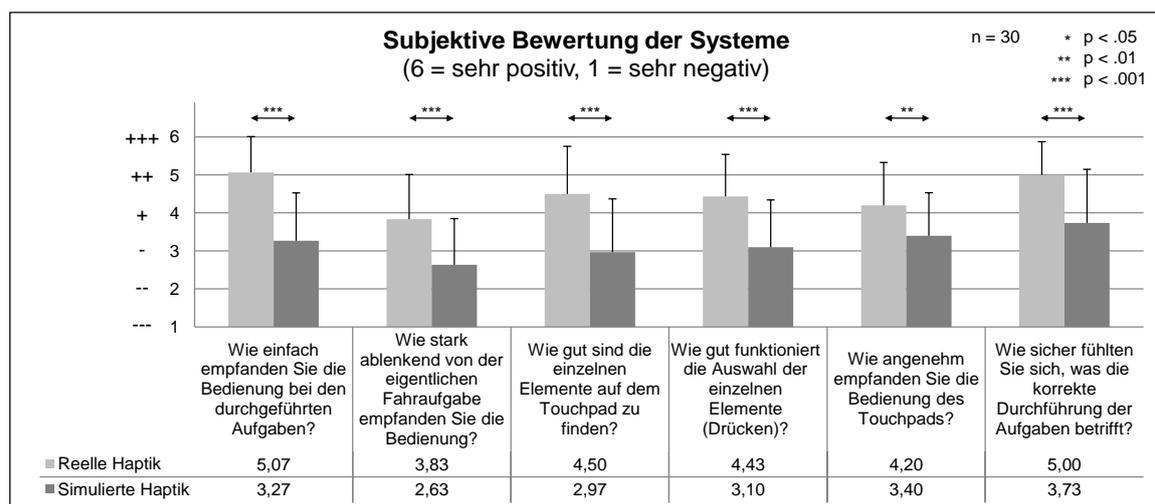


Abbildung 3-8: Subjektive Bewertung der beiden Touchpad-Varianten anhand der sechs gestellten Fragen

Auch die subjektive Bewertung der Touchpad-Varianten mithilfe des Attrakdiff Fragebogens von Hassenzahl et al. (2003) führt in allen Dimensionen zu einem signifikant besseren Ergebnis für das Touchpad mit reellem haptischen Feedback. Im Hinblick auf die Dimensionen pragmatische Qualität (PQ), hedonische Qualität in der Ausprägung Stimulation (HQ-S) und Attraktivität (ATTR) zeigen

sich dabei große Effekte. Für die hedonische Qualität in der Ausprägung Identität (HQ-I) liegt eine mittlere Effektstärke vor (siehe Tabelle 3-7 und Abbildung 3-9).

Tabelle 3-7: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des Attrakdiff Fragebogens

Reelle Haptik - Simulierte Haptik	Subjektive Bewertung			
	df	T	p	r
PQ	29	5,45	<,001	,71
HQ-S	29	3,97	<,001	,59
HQ-I	29	2,50	,018	,42
ATTR	29	3,86	<,001	,58

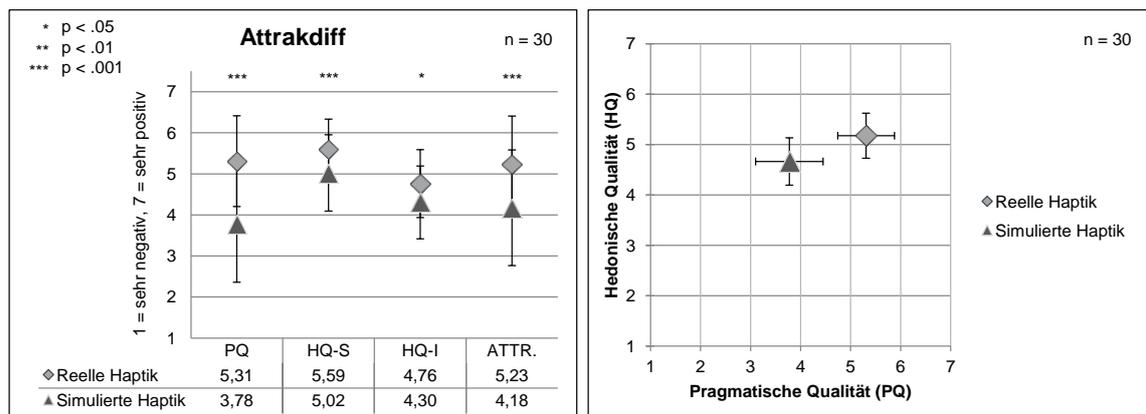


Abbildung 3-9: Subjektive Bewertung der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback anhand des Attrakdiff Fragebogens

Zudem geben 90 Prozent der Versuchspersonen an, dass sie das Touchpad mit reellem haptischen Feedback bevorzugen. Dementsprechend kann Hypothese 1-H4 in der durchgeführten Realfahrtstudie nicht verifiziert werden, da das Touchpad mit reeller haptischer Rückmeldung in allen Belangen der subjektiven Bewertung signifikant besser abschneidet.

3.3.4.5. Schlussfolgerung

Aus den vorgestellten Ergebnissen der durchgeführten Realfahrtstudie zeigt sich zusammengefasst, dass die in den Hypothesen angenommene Vergleichbarkeit der beiden Arten eines haptischen Feedbacks auf einem automobilen Touchpad nicht bestätigt werden kann. Sowohl für die Bedienzeiten als auch die Kennwerte der Blickablenkung führt die Verwendung des Touchpads mit reellem haptischem

Feedback zu signifikant besseren Ergebnissen. Diese Tatsache wird durch die subjektive Bewertung der beiden Touchpad-Varianten durch die Probanden bekräftigt. Lediglich im Hinblick auf die Fahrdaten kann das Touchpad mit simulierter haptischer Rückmeldung zu einem überwiegenden Teil annähernd vergleichbare Resultate erzielen. Aus diesen Gründen ist für ein haptisches Touchpad zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems in einer Dual-Task Situation das haptische Feedback in Form einer reellen haptischen Rückmeldung, also mit einer adaptiv veränderlichen Oberfläche, auszuführen und umzusetzen. Um die weiteren, in Kapitel 1 dargelegten Untersuchungen dieser Arbeit durchführen zu können, wird im nächsten Abschnitt der durchgeführte Aufbau eines neuen haptischen Touchpads beschrieben.

3.4. Aufbau eines neuen Prototypen des haptischen Touchpads

Basierend auf den oben aufgeführten Ergebnissen der durchgeführten Realfahrtstudie wird ein neuer Prototyp eines automotive-tauglichen Touchpads mit reellem haptischem Feedback entwickelt. Daher beinhaltet die Bezeichnung „Haptisches Touchpad“ im weiteren Verlauf die Umsetzung des Feedbacks als reelle haptische Rückmeldung. Auf den Aufbau und die Funktionsweise dieses haptischen Touchpads wird zum besseren Verständnis der nachfolgenden Untersuchungen mit diesem Prototypen im Folgenden in Form einer Spezifikation näher eingegangen.

Als Grundlage für den neuen Prototypen dienen die Erkenntnisse aus den theoretischen Betrachtungen (siehe Kapitel 2 und Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug), das haptische Touchpad von Spies (2013) mit Braille-Technologie und die Erkenntnisse aus den durchgeführten Untersuchungen von Spies (2013). Daraus ergeben sich im Hinblick auf eine anzustrebende Serientauglichkeit die nachfolgenden Herausforderungen und Ziele, die bei der Entwicklung des haptischen Touchpads berücksichtigt werden:

- Reduzierung des Bauraumes und der Kosten
- Verbesserung des haptischen Feedbacks
- Integration weiterer Interaktionsarten

Der neue Prototyp des haptischen Touchpads ist in Abbildung 3-10 als Gesamtbedienteil dargestellt. Dessen Abmaße belaufen sich auf 194 x 78 x 58 mm und entsprechen damit denen des aktuellen Serien-Bedienteils aus dem Audi A6. Dadurch ist gewährleistet, dass das haptische Touchpad problemlos in die Mittelkonsole eines herkömmlichen Fahrzeugs integriert werden kann.

Das Gesamtbedienteil besteht dabei aus dem eigentlichen „Haptik-Modul“, das zentral platziert ist, sowie vordefinierten und frei belegbaren Tasten und sonstigen Stellteilen (siehe Abbildung 3-10). Die einzelnen Komponenten werden, mit Ausnahme der sechs Tasten am linken Rand des Bedienteils und des Lautstärke-Reglers auf der rechten Seite, nachfolgend genauer betrachtet.

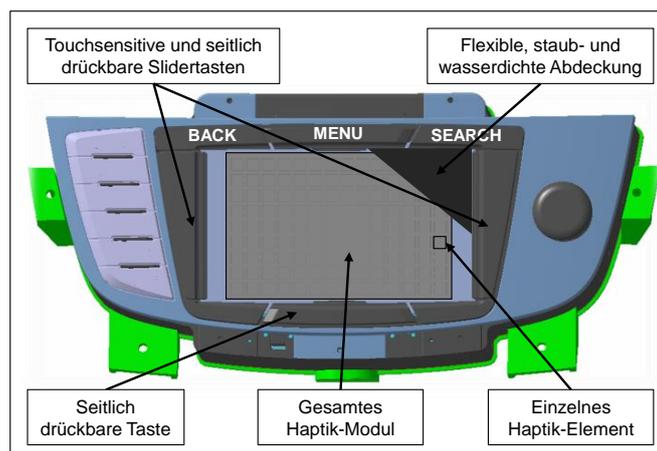


Abbildung 3-10: CAD-Darstellung des Gesamtbedienteils „Haptisches Touchpad“

Die historisch funktionierende „BACK“-Taste ermöglicht den Widerruf von getätigten Menüaktionen. Dadurch können Fehleingaben einfach und unmittelbar korrigiert werden. Über die „MENU“-Taste hat der Nutzer die Möglichkeit, aus jeder beliebigen Position im Menü direkt zum Hauptmenü zurückzukehren. Die „SEARCH“-Taste bietet die Möglichkeit, eine globale Suche im Menüsystem zu initiieren und durchzuführen.

Im Gegensatz zu diesen drei vordefinierten Tasten ist die am unteren Rand zentral angebrachte und seitlich drückbare Taste für die spätere Menükonzeption frei belegbar ausgeführt. Das Betätigen dieser Taste erfolgt durch ein nach unten Ziehen, parallel zur Touchpad-Ebene.

Die seitlich angeordneten touchsensitiven und drückbaren Slidertasten sind ebenfalls frei belegbar und weisen folgende kombinierte Funktionalität auf. Zum einen fungieren sie durch seitliches nach links bzw. rechts Drücken als herkömmliche Tasten und können mit einer Funktion versehen werden. Zum anderen bieten sie durch die zusätzliche Touchsensitivität ihrer Oberfläche die Möglichkeit, als relative Slider (=Schieberegler) eingesetzt zu werden. Diese Interaktionsart stellt sich gemäß den Untersuchungen von Spies (2013) für 1-dimensionale Einstell- und Bewegungsaufgaben (z.B. Scrollen in einer Liste, Lautstärkeinstellung oder Zoomen) in einem Vergleich mit anderen Interaktionsarten (absoluter Schieberegler, Drehrad und Tasten) als besonders gut geeignet heraus. Auch Haslbeck et al. (2011) empfehlen Slider für die Menüaufgabe einer Werteeinstellung. Aus diesem Grund wird diese Interaktionsart für das haptische Touchpad beibehalten. Dabei weisen die touchsensitiven und drückbaren Slidertasten speziell ausgeführte Kanten als zusätzliche haptische Führung auf. Dadurch ist ein einfaches Auf- und Abwärtsbewegen des Fingers bei der Nutzung der relativen Sliderfunktion möglich. Auch die integrierte Taste kann somit einfacher betätigt werden.

Auch alle übrigen um das Haptik-Modul angeordneten Tasten besitzen eine deutlich erfühlbare Kante und Abhebung voneinander, damit der Nutzer diese ohne zusätzliche Blickabwendung finden, ertasten, identifizieren und betätigen kann.

Im Zentrum des Gesamtbedienteils (siehe Abbildung 3-10) befindet sich das integrierte Haptik-Modul, das als Gesamtpaket in Abbildung 3-11 gezeigt ist. Dieses ist für die Erzeugung der adaptiv veränderlichen Oberfläche und somit das haptische Feedback zuständig. Zudem ist die Oberfläche des Haptik-Modul als ein kapazitives, multitouch-fähiges Touchpad ausgeführt, das eine Größe von 89 x 56 mm besitzt. Dadurch wird es möglich, Multitouch-Gesten und Handschrifteingabe als weitere Interaktionsarten des haptischen Touchpads anzubieten, die

den Nutzern zum Beispiel aus der täglichen Nutzung von Smartphones bestens bekannt sind.

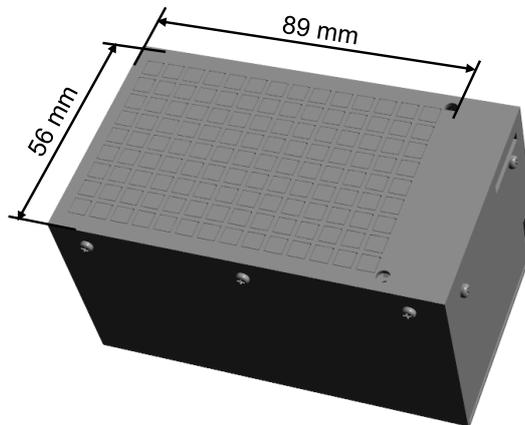


Abbildung 3-11: Gesamtes Haptik-Modul des haptischen Touchpads

Zur Realisierung des haptischen Feedbacks ist das Haptik-Modul aus einer Matrix von 14 x 9 einzelnen Haptik-Elementen aufgebaut (siehe Abbildung 3-12), die über jeweils zwei Piezo-Biegewandler ausgefahren, in dieser Position arretiert und auch wieder freigegeben werden können.



Abbildung 3-12: Matrix aus 14 x 9 einzelnen Haptik-Elementen

Daraufhin fallen die einzelnen Haptik-Elemente in ihre Ausgangsposition zurück. Befinden sich alle Haptik-Elemente in ihrer Ausgangsposition und sind demzufolge nicht ausgefahren, weist das gesamte Haptik-Modul eine komplett geschlossene Oberfläche auf. Die einzelnen Haptik-Elemente haben eine quadratische Grundform bei einer Größe von 4 x 4 mm, wobei ein Zwischenraum von 1 mm besteht.

Dadurch können die auf dem Display angezeigten und verfügbaren Menüfunktionen als haptisch erfühlbare Elemente auf dem haptischen Touchpad abgebildet, vom Nutzer ertastet und durch Drücken ausgewählt werden. Dies ist in Abbildung 3-13 veranschaulicht, wobei die ausgefahrenen Haptik-Elemente schwarz ausgefüllt dargestellt sind.

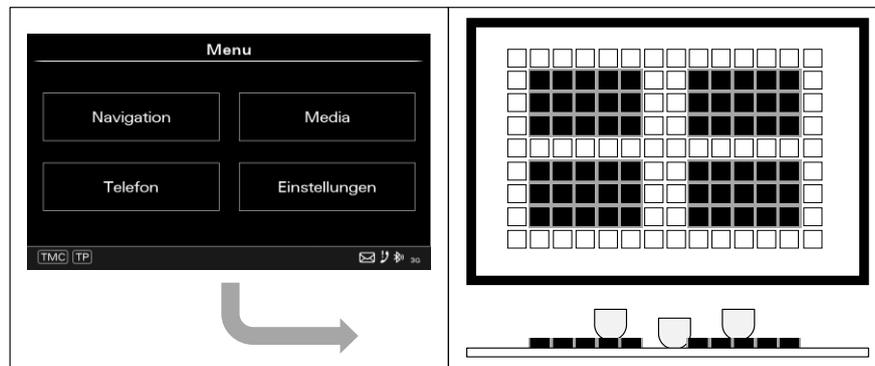


Abbildung 3-13: Abbildungsprinzip des haptischen Touchpads

Beim Braille-Touchpad von Spies et al. (2009b) und Peters et al. (2010) werden zur Auswahl einer dargestellten Menüfunktion die einzelnen Stifte heruntergedrückt, was von den Probanden als unangenehm bewertet wird (Spies, 2013). Daher bleiben beim neuen Prototyp des haptischen Touchpads die ausgefahrenen Haptik-Elemente arretiert und der Nutzer drückt das gesamte Haptik-Modul hinunter, das im Gesamtbedienteil seitlich geführt ist. Dadurch wird ein Drucktaster ausgelöst, der unterhalb des Haptik-Moduls angebracht ist und die Information an die Steuerelektronik weitergibt. Beim Loslassen des Haptik-Moduls durch den Nutzer erfolgt die Anpassung der adaptiv veränderlichen Oberfläche an die neuen Menüinhalte auf dem Bildschirm. Die benötigte Druckkraft wird über die Federhärte von vier Federn eingestellt, auf denen das Haptik-Modul gelagert ist und die es an die Oberkante des Gesamtbedienteils zurückbewegen. Auf diese Weise erhält der Nutzer das gleiche qualitativ hochwertige haptische Feedback wie beim Drücken einer herkömmlichen Taste. Die Auflösung des haptischen Touchpads mit 14 x 9 Haptik-Elementen fällt im Vergleich zum Braille-Touchpad von Spies et al. (2009b) und Peters et al. (2010) mit 40 x 30 Pins relativ gering aus. Spies (2013) hat in seinen Untersuchungen jedoch gezeigt, dass

eine formcodierte Abbildung der Menüfunktionen auf dem Touchpad keinen Mehrwert bringt und von den meisten Testpersonen nicht erkannt wird. Aus diesem Grund werden beim neuen haptischen Touchpad die auf dem Display angezeigten Funktionen stets als rechteckige Elemente erfüllbar und bedienbar dargestellt, wofür die geringere Auflösung ausreicht. Damit können, wie in Abbildung 3-14 gezeigt, beispielsweise fünf Listeneinträge oder neun Tastenelemente problemlos unter Einhaltung der ergonomischen Anforderungen (siehe Kapitel 2 und Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug) auf dem haptischen Touchpad abgebildet werden.

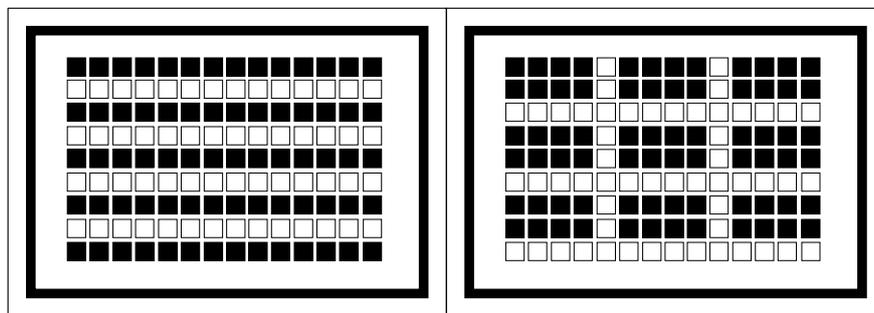


Abbildung 3-14: Abbildungsbeispiel für fünf Listeneinträge (links) und neun Tastenelemente (rechts)

Die nachfolgende Abbildung 3-15 zeigt das vorgestellte und beschriebene haptische Touchpad, das im weiteren Verlauf dieser Arbeit als Bedienelement des Fahrerinformationssystems verwendet wird.



Abbildung 3-15: Das haptische Touchpad

4. Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems (FIS)

Damit die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug über das Fahrerinformationssystem optimal funktionieren kann, müssen neben der Beachtung der theoretischen Guidelines, Richtlinien und Normen (siehe Abschnitt 2.4) das Bedienelement und das zu entwickelnde Menüsystem bestmöglich aufeinander abgestimmt sein. Deshalb wird in diesem Kapitel zunächst untersucht, wie die Bedienmöglichkeiten bzw. Interaktionsarten des haptischen Touchpads mit den verschiedenen Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems (siehe Abschnitt 2.4.2) verknüpft werden sollten.

4.1. Die Interaktionsarten des haptischen Touchpads

Die grundsätzliche Bedienung des haptischen Touchpads erfolgt, wie von konventionellen Touchpads bekannt, mit einem Finger. Durch diese Interaktionsart können Auswahl-Aufgaben, freie Interaktionsaufgaben und Verschiebeaufgaben (siehe Abschnitt 2.4.2) ausgeführt werden. Der Nutzer kann somit zum Beispiel abgebildete Listenelemente durch Ertasten finden und diese durch Drücken auswählen oder auch das Fadenkreuz in der Karte bewegen. Der neue Prototyp des haptischen Touchpads weist jedoch weitere Interaktionsarten auf, die zur Bewältigung der unterschiedlichen Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems verwendet werden können.

4.1.1. Beschreibung der Interaktionsarten

Diese Interaktionsarten, welche die meisten Nutzer bereits von herkömmlichen Touchpads oder Touchscreens gewohnt sind und den aktuellen Stand der Technik repräsentieren, sind die Folgenden (Blattner, Bengler & Hamberger, 2013):

- Handschrifteingabe
- Multitouch-Gesten
- Erfühlbare Slider

Die Integration und die Bedienbereiche dieser drei Interaktionsarten auf dem haptischen Touchpad sind in Abbildung 4-1 dargestellt.

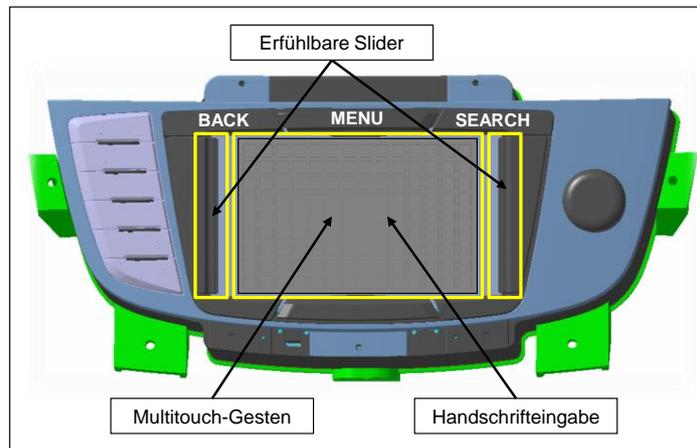


Abbildung 4-1: Zusätzliche Interaktionsarten des haptischen Touchpads und die zugehörigen Bedienbereiche

Die ersten beiden Interaktionsarten, also Handschrifteingabe und Multitouch-Gesten, werden auf der Oberfläche des Haptik-Moduls im Zentralbereich des haptischen Touchpads (siehe Abschnitt 3.4) ausgeführt und detektiert. Dort steht dem Nutzer eine Fläche von 89 x 56 mm zur Verfügung, um etwa Buchstaben oder Zahlen zu schreiben (z.B. zur Suche in langen Listen oder zur Zielorteingabe) oder Gesten auszuführen (z.B. Zoom-Geste zur Vergrößerung der Navigationskarte). Die erfühlbaren Slider, als dritte Interaktionsart des haptischen Touchpads, sind als Teil der in Abschnitt 3.4 beschriebenen touchsensitiven und seitlich drückbaren Slidertasten am rechten und linken Rand des Haptik-Moduls platziert. Durch die speziell geformten Kanten können die Benutzer eine geführte Auf- und Abwärtsbewegung entlang der Slidertasten ausführen und diese somit ohne Blickabwendung als erfühlbare Slider haptisch ertasten und nutzen. Auf diese Weise kann etwa in Listen gescrollt (z.B. im Telefonbuch), ein Zoomvor-

gang ausgeführt (z.B. beim Betrachten eines Fotos) oder die Einstellung konkreter Werte (z.B. Verstärkung der Bässe und Höhen) vorgenommen werden.

4.1.2. Darstellung der Interaktionsarten auf dem Display

Damit der Nutzer weiß, welche der genannten Interaktionsarten des haptischen Touchpads in der aktuellen Menüposition (z.B. in der Navigationskarte) zur Erledigung der Aufgaben benutzt werden kann, ist es sinnvoll, durch Nutzerhinweise darauf hinzudeuten. Diese Nutzerhinweise können auf unterschiedliche Art und Weise ausgeführt sein und sollten mit den mentalen Modellen der Nutzer übereinstimmen. Mögliche Varianten sind sprachliche oder textuelle Hinweise. Für diese Arbeit werden bildliche Anzeigen in Form von Icons auf dem Display als Nutzerhinweise gewählt.

4.1.3. Usability-Befragung – Nutzerhinweise auf dem Display über die Verfügbarkeit der Interaktionsarten des haptischen Touchpads

Es ist grundlegend zu klären, welche Nutzerhinweise bzw. Icons auf dem Display angezeigt werden sollten, um die Verfügbarkeit der Interaktionsarten des haptischen Touchpads eindeutig und verständlich – also den vorhandenen mentalen Modellen der Nutzer entsprechend – anzuzeigen. Aus diesem Grund wird von Duscher (2012) eine Usability-Befragung durchgeführt, auf die in diesem Abschnitt kurz eingegangen wird. Für eine detailliertere Beschreibung und die Ergebnisse der Usability-Befragung wird auf Duscher (2012) verwiesen.

Anhand einer Literaturrecherche und eines ausführlichen Benchmarks wird zunächst die Verwendung und Darstellung von Handschrifteingaben, Multitouch-Gesten und Slidern bei aktuell verfügbaren Smartphones, Mobile-Devices und Laptops ermittelt. Basierend darauf werden die drei Interaktionsarten den unterschiedlichen Menüaufgaben (z.B. Verschieben, Scrollen oder Zoomen) des Fahrerinformationssystems zugewiesen und jeweils mehrere Nutzerhinweis-Icons für die einzelnen Aufgaben entwickelt. Diese werden in der Usability-Befragung von 30 Versuchspersonen (13 Frauen; 17 Männer; Altersdurchschnitt $\bar{\varnothing}_A = 38,0$ Jahre; Standardabweichung $StAbw_A = 14,3$ Jahre) in permutierter Reihenfolge bewertet. Die daraus resultierenden Favoriten werden im weiteren Verlauf, so-

wohl bei der Durchführung von Studien als auch bei der Entwicklung des Menükonzepts, als Nutzerhinweise über die Verfügbarkeit der Interaktionsarten des haptischen Touchpads zur Erledigung der verschiedenen Menüaufgaben auf dem Display verwendet. Dadurch sollen dem Nutzer der Lernvorgang und die Bedienung des Fahrerinformationssystems über die Interaktionsarten des haptischen Touchpads erleichtert werden.

4.2. Kritische Aufgaben eines Fahrerinformationssystems für das haptische Touchpad

Bei der Bedienung des Fahrerinformationssystems ist in den meisten Menüpositionen die Ausführung von mehreren verschiedenen Aufgaben zeitgleich möglich. In der Navigationskarte kann beispielsweise gleichzeitig das Fadenkreuz oder die Karte bewegt, der Zoom-Faktor eingestellt und ein Ziel ausgewählt werden. Hierfür reicht die grundlegende Bedienung des haptischen Touchpads mittels eines Fingers nicht mehr aus, da es zu Konflikten kommen würde. Es stellt sich beispielhaft die Frage, ob der Nutzer durch die Bewegung des einen Fingers auf dem Touchpad die Karte oder das Fadenkreuz verschieben will.

Daher bedarf es für die „weiterführenden“ Aufgaben in einer Menüposition der weiteren Interaktionsarten des haptischen Touchpads, um die Konflikte zu beseitigen. Eine durchgeführte Analyse der Menüaufgaben, für welche die drei Interaktionsarten des haptischen Touchpads parallel zur grundsätzlichen Bedienung mit einem Finger erforderlich sind, ergibt die nachfolgenden drei kritischen Aufgaben:

- Listen-Scrolling
- Zoomen von Karten und Bildern
- Werteeinstellung

4.3. Zuordnung der Interaktionsarten zu den kritischen Aufgaben

Die zuvor aufgeführten drei kritischen Menüaufgaben können jeweils über mehrere der drei Interaktionsarten des haptischen Touchpads ausgeführt werden. Laut den Untersuchungen von Spies (2013) schneidet ein relativer Slider (=Schieberegler), der den erfühlbaren Slidern des haptischen Touchpads entspricht, für 1-dimensionale Einstell- und Bewegungsaufgaben, denen die drei kritischen Aufgaben Listen-Scrolling, Zoomen und Werteeinstellung zuzuordnen sind, im Vergleich zu einem absoluten Schieberegler, einem Drehrad und Tasten signifikant besser ab. Für die Aufgabe der Werteeinstellung wird dies zudem von Haslbeck et al. (2011) bestätigt. Das haptische Touchpad liefert aber zwei weitere Interaktionsarten (i.e. Handschrifteingabe und Multitouch-Gesten), mit denen der relative Slider für eine Bedienung der drei kritischen Aufgaben in dieser Arbeit verglichen wird. Dadurch soll, wie in Kapitel 1 bereits dargelegt, die optimale Kombination der Interaktionsarten und der Aufgabentypen ermittelt werden. Hierfür erfolgt zunächst eine Beschreibung, welche der drei Interaktionsarten jeweils für die kritischen Aufgaben eingesetzt werden können.

Das Scrollen in einer Liste zum Suchen eines gewünschten Eintrages kann über alle drei Interaktionsarten erfolgen. Über die erfühlbaren Slider und eine Multitouch-Geste (in diesem Fall eine vertikale Zwei-Finger-Wisch-Geste) kann die Liste bis zur benötigten Stelle nach oben oder unten bewegt werden. Bei der Handschrifteingabe hingegen wird über die Eingabe von Teilen des Suchbegriffs zur gewünschten Stelle in der Liste gesprungen. Daraufhin kann der Listeneintrag ausgewählt werden.

Für die Aufgabe des Zoomens von Karten und Bildern ist die Interaktionsart Handschrifteingabe gemäß mehreren Expertenaussagen nicht geeignet, da es keine diskreten Zielwerte gibt, die über die Eingabe eines Schriftzeichens ausgewählt werden können. Deshalb wird die Handschrifteingabe hierfür nicht verwendet und es stehen für die Zoomaufgabe als Interaktionsarten lediglich Multitouch-Gesten und die erfühlbaren Slider zur Verfügung. Bei der ersten Variante wird über eine Zoom-In-Geste (spreizende Bewegung zweier Finger) in das Objekt

hineingezoomt und über eine Zoom-Out-Geste (zusammenführende Bewegung zweier Finger) aus dem Objekt herausgezoomt. Mithilfe der erfühlbaren Slider erfolgt das Hineinzoomen über eine Vorwärtsbewegung des Fingers entlang der haptischen Führung und das Herauszoomen über eine Rückwärtsbewegung.

Das Einstellen von konkreten Werten ist wiederum über alle drei Interaktionsarten möglich. Über eine Multitouch-Geste (in diesem Fall ebenfalls eine vertikale Zwei-Finger-Wisch-Geste) und die erfühlbaren Slider kann der einzustellende Wert (z.B. die Lautstärke der Navigationsansagen) nach oben bzw. unten verschoben und somit eingestellt werden. Bei der Handschrifteingabe erfolgt die direkte Eingabe des gewünschten Zahlenwertes.

Die erläuterte Zuordnung der Interaktionsarten zu den kritischen Aufgaben ist nachfolgend noch einmal zusammenfassend aufgeführt (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Zuordnung der Interaktionsarten zu den kritischen Aufgabentypen

	<i>Listen-Scrolling</i>	<i>Zoomen von Karten und Bildern</i>	<i>Werteeinstellung</i>
<i>Handschrifteingabe</i>	X		X
<i>Multitouch-Gesten</i>	X	X	X
<i>Erfühlbare Slider</i>	X	X	X

4.4. Fahrsimulatorstudie – Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den kritischen Aufgaben

Aufgrund der oben dargestellten mehrfachen Verfügbarkeit muss zunächst geklärt und herausgefunden werden, welche Interaktionsart sich jeweils am besten für die jeweilige Menüaufgabe eignet. Hierfür wird eine Untersuchung in Form einer Fahrsimulatorstudie mit der folgenden zentralen Fragestellung durchgeführt:

Welche Interaktionsart des haptischen Touchpads ergibt mit welcher der drei kritischen Aufgaben die optimale Kombination zur Bedienung des Fahrerinformationssystems in einer Dual-Task Situation?

Dabei soll die Studie aufzeigen, ob sich Unterschiede bei der Verwendung der verschiedenen Interaktionsarten des haptischen Touchpads zur Bewältigung der kritischen Menüaufgaben ergeben und in welcher Ausprägung. Dazu werden die Bediendauer, die Blickabwendung und die Fahrqualität der Probanden in der Dual-Task Situation genauer betrachtet. Des Weiteren wird jeweils eine subjektive Bewertung der Interaktionsarten durch die Versuchspersonen vorgenommen.

4.4.1. Hypothesen

Dabei ist anzunehmen, dass die Qualität der Fahrerinformationssystem-Bedienung mithilfe der verschiedenen Interaktionsarten für die einzelnen als kritisch identifizierten Aufgaben unterschiedlich ausfällt und bewertet wird. Deshalb werden die folgenden Hypothesen formuliert, die in der Fahrsimulatorstudie evaluiert werden sollen:

- 2-H1.** Es besteht ein Unterschied im Hinblick auf die Bediendauer bei der Verwendung der verschiedenen Interaktionsarten für die drei kritischen Menüaufgaben.
- 2-H2.** Das Blickverhalten während der Durchführung der kritischen Aufgaben unterscheidet sich für die verschiedenen Interaktionsarten.
- 2-H3.** Die Verwendung der verschiedenen Interaktionsarten für die kritischen Menüaufgaben verursacht unterschiedliche Fahrleistungen.
- 2-H4:** Die subjektive Bewertung durch die Probanden ergibt Unterschiede für die Interaktionsarten des haptischen Touchpads zur Bedienung der kritischen Aufgaben.

4.4.2. Studiendesign

Im Folgenden wird das genaue Studiendesign vorgestellt, das zur Klärung der zentralen Fragestellung und zur Bewertung der aufgestellten Hypothesen für die durchgeführte Studie Anwendung findet.

4.4.2.1. Probandenkollektiv

Die Fahrsimulatorstudie zum Vergleich der Interaktionsarten des haptischen Touchpads in Verbindung mit den kritischen Menüaufgaben wird im „within-subject“ Design durchgeführt. Hierfür ergibt sich in dieser Studie eine abhängige Stichprobe von 31 Probanden (8 Frauen; 23 Männer; Altersdurchschnitt $\bar{\varnothing}_A = 34,7$ Jahre; Standardabweichung $StAbw_A = 8,4$ Jahre). Diese führen jeweils alle gestellten Menübedienungsaufgaben, welche die kritischen Aufgaben repräsentieren, mit den jeweils verfügbaren Interaktionsarten aus und bewerten diese.

4.4.2.2. Fahraufgabe

Die Fahraufgabe der Studie wird im statischen Fahrsimulator der AUDI AG in Ingolstadt nachgebildet. Dieser Simulator umfasst ein A8 Fahrzeug Mockup, in dessen Mittelkonsole das haptische Touchpad eingebaut wird, und eine 360° Rundumprojektion, die mithilfe von neun HD-Projektoren erzeugt wird. Dadurch ist eine realitätsnahe visuelle Nachstellung der Fahrsituation möglich. Außerdem ermöglicht ein auditives Feedback der Fahrgeräusche über mehrere Lautsprecher eine gute subjektive Einschätzung der momentan gefahrenen Geschwindigkeit. Des Weiteren erfolgt über Rückstellkräfte am Lenkrad und Vibrationen im Fahrersitz ein zusätzliches haptisches Feedback in begrenztem Umfang. Allerdings können aufgrund der statischen Umsetzung keine kinästhetischen Rückmeldungen erzeugt werden.

In diesem Fahrsimulator führen alle Probanden die Fahraufgabe aus. Dabei sollen sie einem vorausfahrenden Fahrzeug, das mit einer Geschwindigkeit von ca. 90 km/h fährt, in einem Abstand von zwei Straßenbegrenzungspfählen (ca. 100 Meter) folgen. Während der parallelen Erledigung der Menübedienungsaufgaben ist dieser Abstand ohne die Verwendung von technischen Hilfsmitteln, wie z.B. Tempomat oder ACC-Funktion, konstant zu halten und auf die seitliche Spurführung zu achten. Die simulierte Fahrstrecke ist eine Landstraße ohne Kreuzungen und Gegenverkehr. Diese „Endlosstrecke“ besteht aus sich abwechselnden langgezogenen Links- und Rechtskurven mit identischem Kurvenradius.

Den Versuchspersonen wird jeweils deutlich nahegebracht, dass trotz der ungefährlichen Fahrsimulatorumgebung die Fahraufgabe die Primäraufgabe darstellt und ein Verhalten wie in der Realität erwartet wird.

4.4.2.3. Menübedienungsaufgaben

Mithilfe des haptischen Touchpads führen die Probanden als Nebenaufgabe die nachfolgenden sechs Menübedienungsaufgaben durch, wovon jeweils zwei die in Abschnitt 4.2 genannten kritischen Aufgaben abbilden:

2-A1. Listen-Scrolling

- a. Eingabe eines vorgegebenen Ziels aus dem „Letzte Ziele“-Speicher
- b. Anruf eines definierten Kontaktes aus dem Telefonbuch

2-A2. Zoomen von Karten und Bildern

- a. Hineinzoomen in die Navigationskarte
- b. Herauszoomen aus einem Kontaktfoto

2-A3. Werteeinstellung

- a. Reduzierung der Lautstärke des Navigationssystems
- b. Erhöhung des Warntons der Park-Distance-Control

Diese Menüaufgaben sind in ein vereinfachtes und speziell für diese Studie implementiertes Fahrerinformationssystem integriert. Den Startpunkt für die einzelnen Aufgaben bildet dabei jeweils der Zielscreen, in dem die Interaktionsarten des haptischen Touchpads anzuwenden sind und bei Zielerreichung eine abschließende Bestätigung auszuführen ist. Am Beispiel von Menübedienungsaufgabe 2-A1.a befindet sich der Proband bei Beginn der Aufgabe bereits in der „Letzte Ziele“-Liste. Dort verwendet er je nach Anweisung die verschiedenen Interaktionsarten, um zum vorgegebenen Zieleintrag zu gelangen und diesen auszuwählen. Dabei ist im Sinne der Vergleichbarkeit gewährleistet, dass die beiden Menübedienungsaufgaben eines kritischen Aufgabentyps jeweils die identischen Bedienschritte umfassen.

4.4.2.4. Datenerhebung

Während der gleichzeitigen Ausführung der Fahraufgabe und der Menübedienungsaufgaben erfolgt die Messung von objektiven (Bedien-, Blick- und Fahrdaten) Daten.

Dabei wird die Effizienz der Bedienung über die Bedienzeit, die zur Erledigung der Menüaufgaben benötigt wird, objektiv ermittelt. Das Triggern der Zeitnahme erfolgt automatisch durch die implementierte Menüsimulation, das Speichern übernimmt das System „Dikablis“. Die Bedienqualität wird daher über den folgenden Kennwert erhoben:

- Bediendaten:
 - Bediendauer

Die Messung der Blickdaten bzw. Blickablenkung erfolgt über das System „Dikablis“ (Lange et al., 2006), das in Abschnitt 3.3.2.4 genauer erläutert ist. Die AOIs bilden in dieser Fahrsimulatorstudie wiederum das Display und das haptische Touchpad als Bedienelement. Aus dem ermittelten Blickverhalten ergeben sich die nachfolgenden fünf Kennwerte für die Ablenkung von der primären Fahraufgabe:

- Aggregierte Blickdaten:
 - Kumulierte Blickdauer auf AOIs
 - Anzahl der Blicke auf AOIs
 - Verkehrsblindheitsquotient
- Einzelblickdaten:
 - Maximale Blickdauer auf AOIs
 - Mittlere Blickdauer auf AOIs

Die Fahrdaten werden in Form verschiedener Kennwerte, die im Folgenden aufgeführt sind, direkt von der Simulator-Software aufgezeichnet und gespeichert. Darüber erfolgt für die drei kritischen Aufgaben die Bewertung des Einflusses der verschiedenen Interaktionsarten auf die Fahrqualität: Dabei sind in Klammern nur diejenigen Kennwerte erläutert, die in Abschnitt 3.3.2.4 noch nicht genauer beschrieben wurden:

- Longitudinale Fahrdaten:
 - Standardabweichung der Geschwindigkeit
 - Standardabweichung der Gaspedalstellung
 - Standardabweichung des Abstands zum Vordermann
(= *StAbw des Abstands vom Ego-Fahrzeug zum vorausfahrenden Fahrzeug während der Erledigung einer Menüaufgabe*)
- Laterale Fahrdaten:
 - Spurübertretungen
(= *Anzahl der Verlassensvorfälle der eigenen Fahrbahn während der Erledigung einer Menüaufgabe*)
 - Standardabweichung des Lenkwinkels
 - Standardabweichung der Distance-To-Line
(= *StAbw des Abstandes vom linken Vorderreifen des Ego-Fahrzeugs zur linken Fahrbahnbegrenzung der eigenen Fahrbahn während der Erledigung einer Menüaufgabe*)

Über das Blickerfassungssystem „Dikablis“ erfolgt die Synchronisierung der Aufzeichnung aller aufgeführten objektiven Versuchsdaten.

Zusätzlich zu den objektiven Daten wird eine subjektive Bewertung der unterschiedlichen Interaktionsarten des haptischen Touchpads durch die Versuchspersonen erfragt. Dies erfolgt jeweils nach der Erledigung der beiden Menübedienungsaufgaben, die eine kritische Aufgabe repräsentieren, mittels aller verfügbaren Interaktionsarten. Dazu werden den Probanden zwei Fragen bezüglich der Einfachheit der Bedienung („Wie einfach empfanden Sie die Bedienung bei den durchgeführten Aufgaben?“) und der Ablenkungswirkung („Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung?“) gestellt, die sie für jede dafür verwendete Interaktionsart mithilfe einer sechs-stufigen Likert-Skala bewerten. Zudem sollen die Versuchspersonen angeben, welche Interaktionsart sie für die jeweilige kritische Aufgabe bevorzugen, wobei auch eine Gleichplatzierung möglich ist.

4.4.3. Durchführung

Für die Teilnahme an der Studie, deren Ablauf in diesem Abschnitt genauer vorgestellt wird und in Abbildung 4-2 veranschaulicht ist, werden ausschließlich Probanden herangezogen, die bereits Vorerfahrungen mit statischen Fahrsimulatoren aufweisen. Dadurch soll die Ausfallquote aufgrund von möglicher „Simulator-Sickness“ minimiert werden.

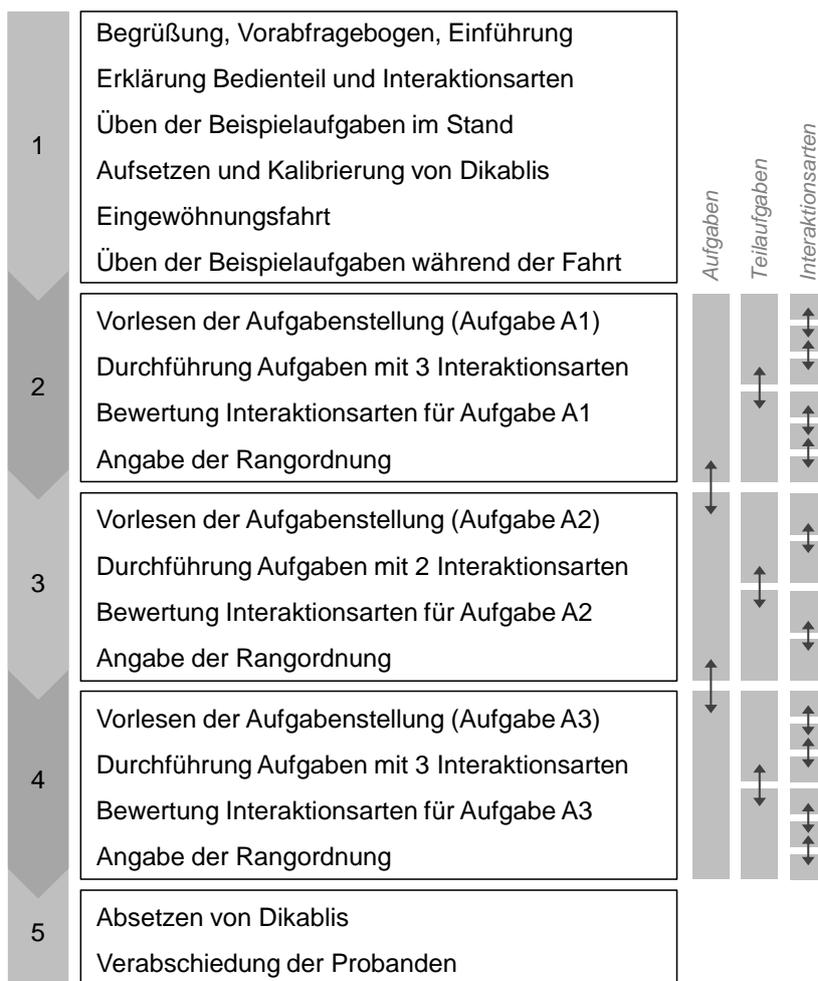


Abbildung 4-2: Versuchsablauf der durchgeführten Fahrsimulatorstudie zur Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads mit den kritischen Aufgaben

Die genaue Durchführung kann auch anhand des Studienleitfadens (siehe Anhang C: Leitfaden, Vorabfragebogen für die Fahrsimulator-Studie

„Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den kritischen Aufgaben“) nachvollzogen werden.

Im Anschluss an die Begrüßung durch den Versuchsleiter und das Ausfüllen eines allgemeinen Vorabfragebogens nimmt die Versuchsperson auf dem Fahrersitz des Fahrsimulator-Mockups Platz. Dort stellt sich der Proband zunächst den Sitz sowie alle Fahrzeug-Spiegel passend ein und schnallt sich an. Daraufhin gibt der Versuchsleiter eine kurze Einführung zur Funktionsweise des Fahrsimulators und zur Thematik sowie zum Ablauf und Inhalt der Studie. Als nächster Schritt werden ihm das haptische Touchpad und die verschiedenen Interaktionsarten genauer erläutert, deren Bedienung dann mithilfe mehrerer Beispielaufgaben intensiv geübt wird. Des Weiteren erfolgt das Aufsetzen und Kalibrieren des Blickerfassungssystems „Dikablis“. Nach einer Eingewöhnungsfahrt, bei der die beschriebene Fahraufgabe trainiert wird, findet ein weiteres Üben der Bedienung anhand der Beispielaufgaben während der Fahrt statt.

Zur eigentlichen Durchführung der Studie verliert der Versuchsleiter die Aufgabenstellung der ersten Menübedienungsaufgabe eines kritischen Aufgabentyps. Die Versuchsperson startet daraufhin durch Drücken einer „Start“-Taste selbstständig die Abarbeitung und führt diese Menüaufgabe jeweils mit allen dafür verfügbaren Interaktionsarten des haptischen Touchpads (siehe Abschnitt 4.3) nacheinander bis zum vorgegebenen Ergebnis aus. Dabei wird entsprechend der Permutationsreihenfolge nur jeweils eine Interaktionsart, die dem Probanden ebenfalls vorgegeben ist, aktiviert, damit keine Vermischung der Interaktionsarten erfolgen kann. Daraufhin erfolgt für die zweite Menübedienungsaufgabe dieser kritischen Aufgabe das gleiche Vorgehen. Abschließend müssen die Probanden für den momentan bedienten kritischen Aufgabentyp die verwendeten Interaktionsarten anhand zweier Fragen subjektiv bewerten und eine Rangordnung angeben.

Dieser Ablauf wird für die beiden anderen kritischen Aufgaben und deren repräsentative Menübedienungsaufgaben sowie die zugeordneten Interaktionsarten des haptischen Touchpads in gleicher Weise wiederholt. Danach erfolgen ab-

schließlich das Absetzen des Blickerfassungssystems „Dikablis“ und die Verabschiedung der Versuchsperson.

Während der Fahrsimulatorstudie wird die Reihenfolge der Abhandlung der kritischen Aufgaben (siehe Abschnitt 4.2) permutiert. Innerhalb der kritischen Aufgaben erfolgt ebenfalls eine permutierte Abarbeitung der beiden zugehörigen Menü- bzw. Teilaufgaben. Als letzter Permutationsschritt werden auch die jeweils zugeordneten Interaktionsarten des haptischen Touchpads in unterschiedlicher Abfolge verwendet. Dadurch sollen eventuelle Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden. Das gesamte, soeben beschriebene Permutationsverfahren ist in Abbildung 4-2 auf der rechten Seite vereinfacht abgebildet.

4.4.4. Auswertung und Ergebnisse

Die statistische Auswertung der aus der Fahrsimulatorstudie gewonnenen Daten erfolgt im Falle der kritischen Aufgaben 2-A1 „Listen-Scrolling“ und 2-A3 „Werteeinstellung“ (jeweils drei zugeordnete Interaktionsarten) jeweils mittels einer 1-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholung (Field, 2013). Dabei wird ein Signifikanzniveau von 0,05 gewählt. Ergibt sich ein Signifikanzwert $p < 0,05$ und besteht damit ein signifikanter Unterschied zwischen den Interaktionsarten, werden paarweise Vergleiche durchgeführt. Für die Anpassung der paarweisen Vergleiche werden „Bonferroni post-hoc-Tests“ gewählt (Field, 2013). Statistisch signifikante Unterschiede aus den paarweisen Vergleichen sind in den Ergebnisdigrammen durch Doppelpfeile und den Signifikanzwert angegeben. Falls die Annahme der Sphärizität, dass die Varianzen für alle Versuchsbedingungen übereinstimmen, verletzt sein sollte (Mauchly's Test ergibt einen Signifikanzwert, der kleiner als 0,05 ist), wird eine „Greenhouse-Geisser“-Korrektur der Freiheitsgrade vorgenommen (Field, 2013). Dies ist in allen nachfolgenden Ergebnistabellen der statistischen Auswertung durch die grau hinterlegten Felder mit den enthaltenen angepassten Freiheitsgraden angezeigt.

Im Falle der kritischen Aufgabe 2-A2 „Zoomen von Karten und Bildern“ werden die ermittelten Daten mithilfe von t-Tests bei gepaarten Stichproben (Field, 2013)

statistisch ausgewertet. Auch hier wird für das Signifikanzniveau der Wert 0,05 festgelegt.

Für eine genauere Erläuterung und Beschreibung der verwendeten Auswerteverfahren und Statistik-Werte wird an dieser Stelle auf Field (2013) verwiesen.

Aufgrund technischer Probleme mit der Datenaufzeichnung fehlen für die Auswertung der Bedien- und Blickdaten bei Menübedienungsaufgabe 2-A1.b und der Fahrdaten bei den Menübedienungsaufgaben 2-A1.b und 2-A3.a die Daten von jeweils einer Versuchsperson. Daher verringert sich in den genannten Fällen die Stichprobengröße n auf 30 Probanden.

Nachstehend erfolgt die Vorstellung der aus der Simulatorstudie resultierenden Ergebnisse für die Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads mit den identifizierten kritischen Menüaufgaben. Ein Teil der Resultate ist bei Blattner, Bengler & Hamberger (2012) und Blattner et al. (2013) nachzulesen.

4.4.4.1. Bediendaten

Für die Bedienzeiten ergibt sich bei der kritischen Aufgabe 2-A1 in beiden Menübedienungsaufgaben ein signifikanter Unterschied zwischen den drei zugeordneten Interaktionsarten. Aufgrund der ermittelten Effektstärke $\eta_p^2 \geq 0,14$ liegt hierbei zudem ein großer Effekt vor, was in Tabelle 4-2 aufgeführt ist.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Bediendauer			
		df	F	p	η_p^2
A1	Aufgabe A1.a	2; 60	14,12	<,001	,32
	Aufgabe A1.b	2; 58	7,04	,002	,20

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten		Bediendauer			
		df	T	p	r
A2	Aufgabe A2.a	30	-1,90	,067	,33
	Aufgabe A2.b	30	-1,60	,120	,28

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Bediendauer			
		df	F	p	η_p^2
A3	Aufgabe A3.a	2; 60	1,06	,354	,03
	Aufgabe A3.b	2; 60	2,26	,113	,07

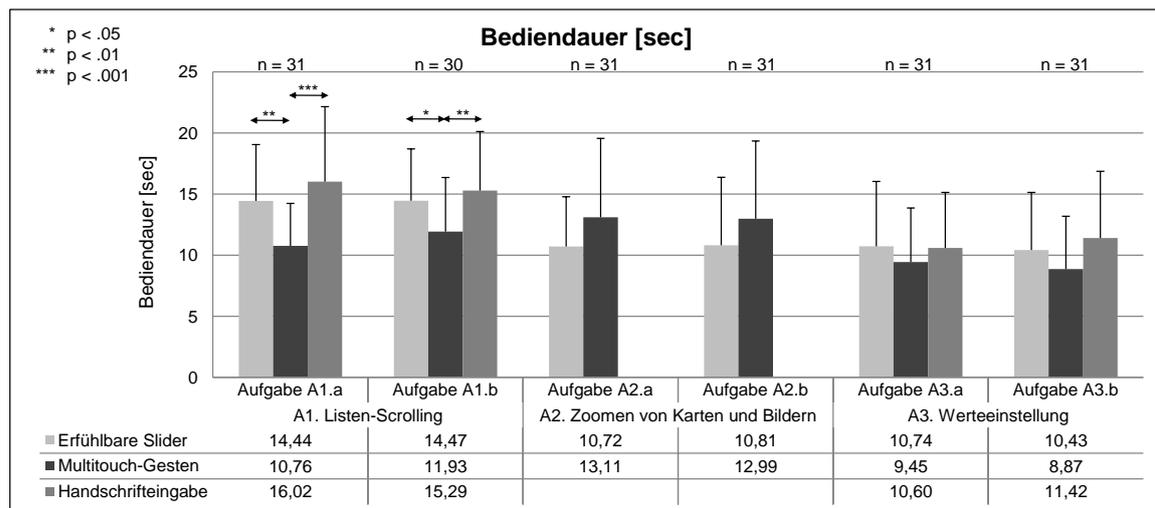


Abbildung 4-3: Bediendauer der Probanden zur Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads

Die paarweisen Vergleiche zeigen für die kritische Aufgabe 2-A1 signifikant kürzere Bediendauern bei der Verwendung der Multitouch-Gesten im Gegensatz zu den erfühlbaren Slidern und der Handschrifteingabe (siehe Abbildung 4-3). Für die beiden anderen kritischen Menüaufgaben 2-A2 und 2-A3 können keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Interaktionsarten festgestellt werden.

Dementsprechend kann die Hypothese 2-H1, dass ein Unterschied im Hinblick auf die Bediendauer bei der Verwendung der verschiedenen Interaktionsarten für die drei kritischen Menüaufgaben besteht, lediglich für das „Listen-Scrolling“ verifiziert werden. Für das „Zoomen von Karten und Bildern“ und die „Werteinstellung“ kann diese Hypothese hingegen nicht bestätigt werden.

4.4.4.2. Blickdaten

Im Hinblick auf die Blickablenkung werden zunächst die aggregierten Blickdaten betrachtet. Die kumulierte Blickdauer auf die AOs zeigt dabei nur bei der ersten Menübedienungsaufgabe 2-A1.a einen signifikanten Unterschied mit einer großen Effektstärke ($\eta_p^2 \geq 0,14$) auf. Für den Kennwert „Anzahl der Blicke auf die AOs“ liegt bei den Menübedienungsaufgaben 2-A1.a (großer Effekt, da $\eta_p^2 \geq$

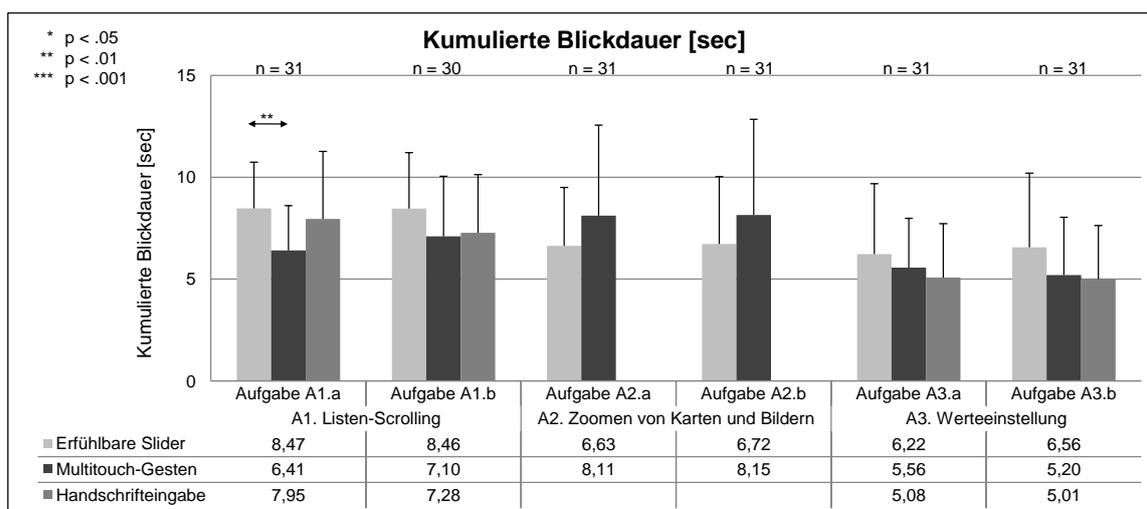
0,14), 2-A1.b (mittlere Effektstärke, da $0,06 \leq \eta_p^2 < 0,14$), 2-A2.a (mittlerer Effekt, da $0,30 \leq r < 0,50$) und 2-A3.b (mittlere Effektstärke, da $0,06 \leq \eta_p^2 < 0,14$) jeweils ein signifikanter Unterschied zwischen den jeweiligen Interaktionsarten vor. Der Verkehrsblindheitsquotient liefert für die kritischen Aufgaben 2-A1 und 2-A3 einen signifikanten Unterschied zwischen den Interaktionsarten, wobei in allen vier Menübedienungsaufgaben ein großer Effekt ($\eta_p^2 \geq 0,14$) vorzufinden ist. Dabei weist die Handschrifteingabe im paarweisen Vergleich zu den erfühlbaren Slidern und den Multitouch-Gesten signifikant bessere Werte auf. Bei allen übrigen Menüaufgaben ergeben sich für die aggregierten Blickdaten keine statistisch signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 4-3 und Abbildung 4-4)

Tabelle 4-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Kum. Blickdauer				Anzahl Blicke				Verkehrsblindheitsquotient			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A1	Aufgabe A1.a	2; 60	5,56	,006	,16	1,57; 47,06	14,51	<,001	,33	1,62; 48,70	12,34	<,001	,29
	Aufgabe A1.b	2; 58	2,72	,075	,09	2; 58	3,43	,039	,11	2; 58	15,75	<,001	,35

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten		Kum. Blickdauer				Anzahl Blicke				Verkehrsblindheitsquotient			
		df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
A2	Aufgabe A2.a	30	-1,73	,093	,30	30	-2,29	,029	,39	30	-0,13	,894	,02
	Aufgabe A2.b	30	-1,51	,142	,27	30	-1,42	,167	,25	30	0,93	,362	,17

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Kum. Blickdauer				Anzahl Blicke				Verkehrsblindheitsquotient			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A3	Aufgabe A3.a	2; 60	1,52	,226	,05	1,57; 47,20	3,03	,069	,09	2; 60	17,81	<,001	,37
	Aufgabe A3.b	2; 60	2,32	,107	,07	2; 60	3,32	,043	,10	2; 60	30,57	<,001	,50



KOMBINATION DER INTERAKTIONSARTEN MIT DEN AUFGABENTYPEN

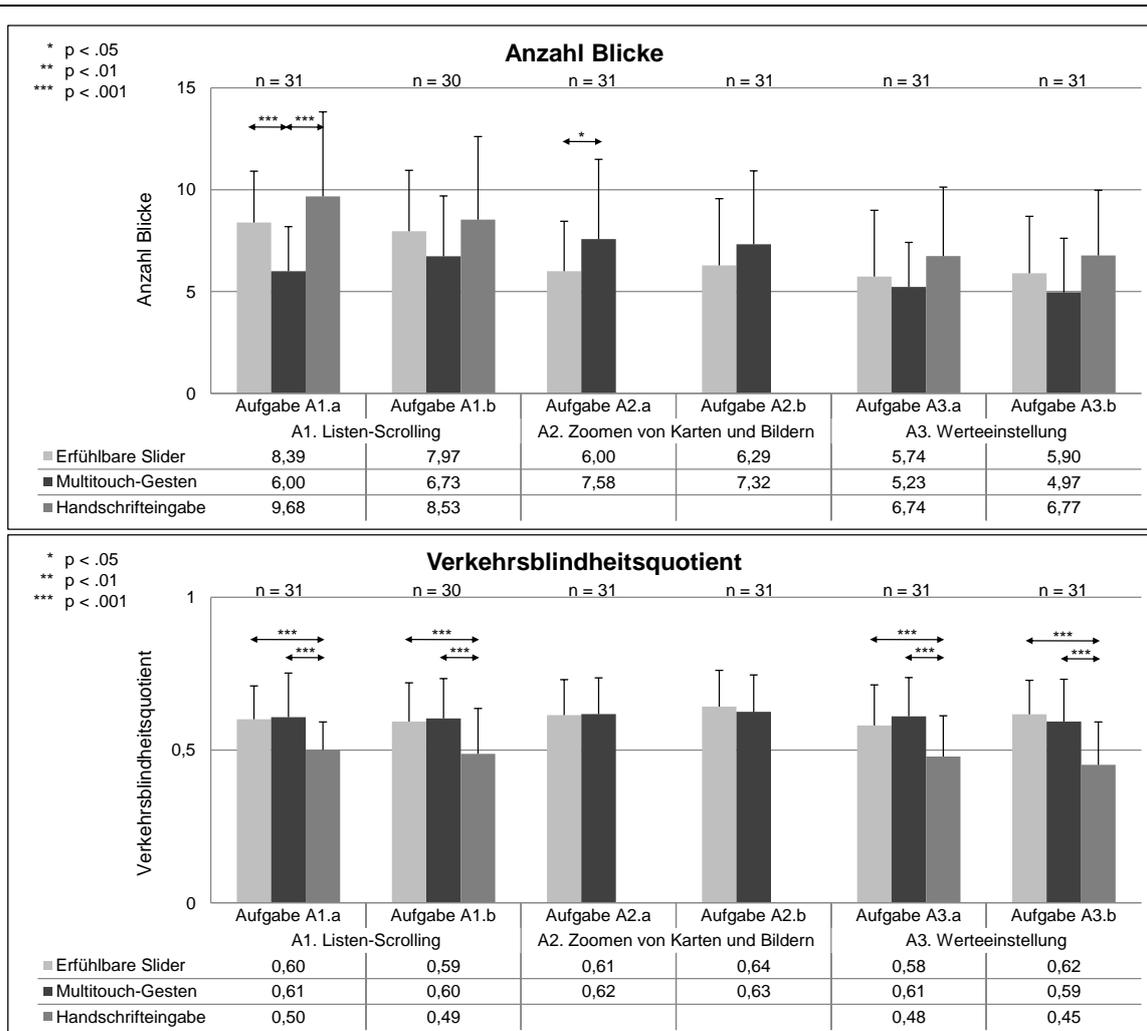


Abbildung 4-4: Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten

Bei der Betrachtung der Einzelblickdaten zeigt die maximale Blickdauer auf die AOs für die kritische Aufgabe 2-A3 einen signifikanten Unterschied zwischen den Interaktionsarten mit einer jeweils großen Effektstärke ($\eta_p^2 \geq 0,14$) auf. Im Hinblick auf den Kennwert „Mittlere Blickdauer auf die AOs“ ergibt sich dieses Resultat für die beiden kritischen Menüaufgaben 2-A1 und 2-A3. Dabei zeichnet sich stets die Handschrifteingabe durch die signifikant besseren Werte im Vergleich zu den anderen beiden Interaktionsarten aus. Für alle anderen Aufgaben sind bei den Einzelblickdaten keine statistisch signifikanten Unterschiede feststellbar (siehe Tabelle 4-4 und Abbildung 4-5).

Tabelle 4-4: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Max. Blickdauer				Mittlere Blickdauer			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A1	Aufgabe A1.a	2; 60	2,04	,139	,06	1,60; 47,88	12,23	<,001	,29
	Aufgabe A1.b	2; 58	2,52	,090	,08	2; 58	9,87	<,001	,25

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten		Max. Blickdauer				Mittlere Blickdauer			
		df	T	p	r	df	T	p	r
A2	Aufgabe A2.a	30	1,42	,165	1,00	30	0,10	,919	1,00
	Aufgabe A2.b	30	0,89	,379	1,00	30	-0,02	,988	1,00

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Max. Blickdauer				Mittlere Blickdauer			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A3	Aufgabe A3.a	1,33; 39,77	8,22	,003	,22	1,37; 41,20	7,96	,004	,21
	Aufgabe A3.b	2; 60	13,70	<,001	,31	2; 60	15,53	<,001	,34

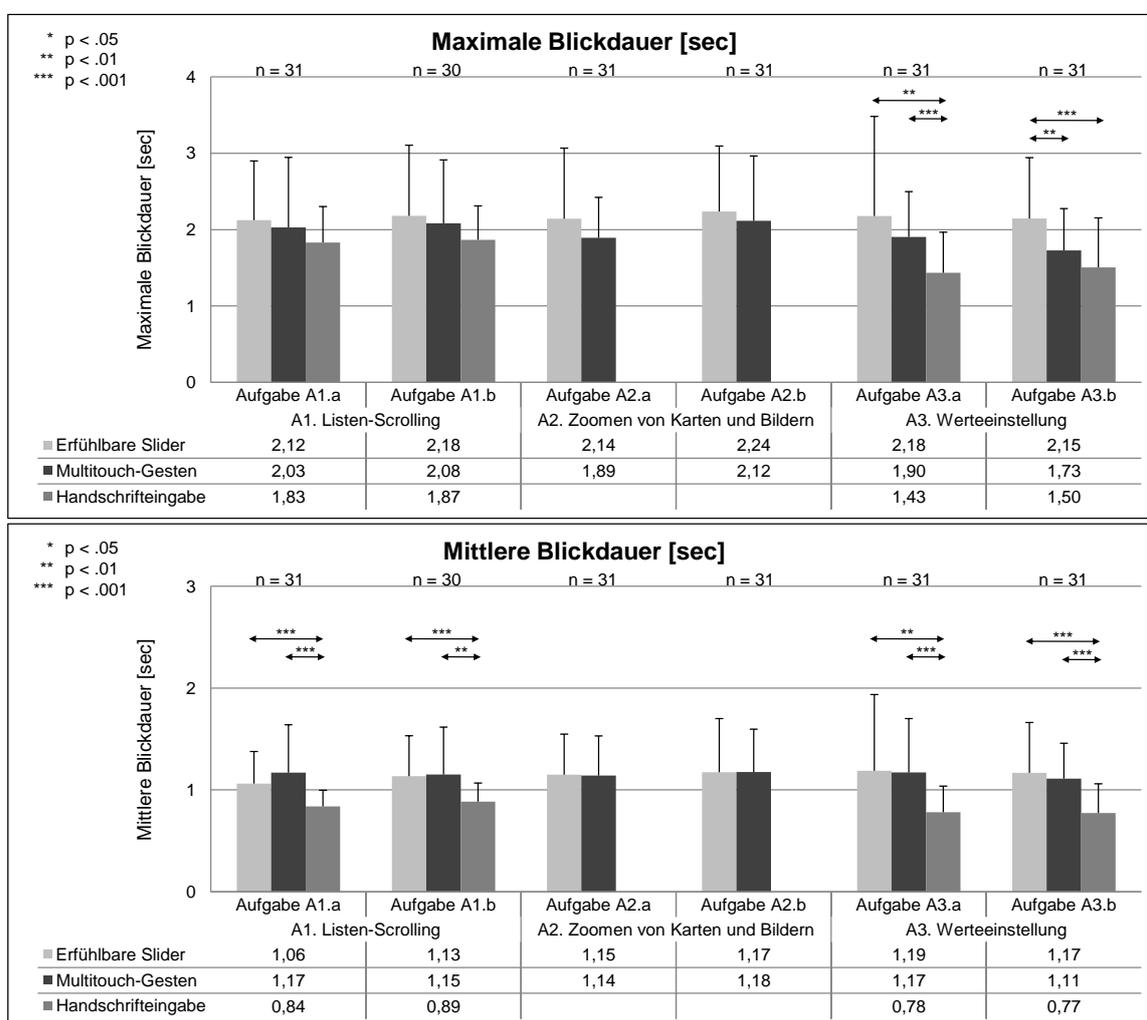


Abbildung 4-5: Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOs während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads

Für die kritische Aufgabe 2-A1 ergibt sich über alle Blickkennwerte hinweg betrachtet in den meisten Fällen ein signifikanter Unterschied zwischen den Interaktionsarten. Aus diesem Grund wird die Hypothese 2-H2 für das „Listenscrolling“ bestätigt. Allerdings liefern hier abwechselnd die Multitouch-Gesten und die Handschrifteingabe die signifikant besseren Resultate.

Bei der Erledigung der kritischen Menüaufgabe 2-A2 zeigt sich bis auf einen einzigen Fall kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den erfühlbaren Slidern und den Multitouch-Gesten. Daher kann die Hypothese 2-H2 für „Zoomen von Karten und Bildern“ nicht verifiziert werden.

Die Analyse der Blickkennwerte für die kritische Aufgabe 2-A3 liefert für die überwiegende Zahl der Fälle einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Interaktionsarten. Deshalb wird die Hypothese 2-H2 für die „Werteeinstellung“ als nachgewiesen betrachtet. Dabei liegt in den paarweisen Vergleichen meist die Handschrifteingabe signifikant vorne.

4.4.4.3. Fahrdaten

Die Betrachtung der Fahrdaten zeigt die nachfolgenden Resultate.

Tabelle 4-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen Fahrdaten

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		StAbw Geschwindigkeit				StAbw Gaspedalstellung				StAbw Abstand zum Vordermann			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A1	Aufgabe A1.a	2; 60	0,02	,978	,00	2; 60	3,02	,057	,09	2; 60	2,43	,096	,08
	Aufgabe A1.b	2; 58	0,20	,820	,01	2; 58	1,82	,172	,06	2; 58	1,35	,267	,04

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten		StAbw Geschwindigkeit				StAbw Gaspedalstellung				StAbw Abstand zum Vordermann			
		df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
A2	Aufgabe A2.a	30	-1,28	,212	,23	30	-0,94	,357	,17	30	-0,69	,496	,12
	Aufgabe A2.b	30	-1,93	,063	,33	30	-2,01	,053	,35	30	-1,65	,109	,29

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		StAbw Geschwindigkeit				StAbw Gaspedalstellung				StAbw Abstand zum Vordermann			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A3	Aufgabe A3.a	2; 58	0,53	,590	,02	2; 58	0,01	,988	,00	2; 58	0,32	,730	,01
	Aufgabe A3.b	2; 60	1,65	,200	,05	1,59; 47,80	1,29	,280	,04	2; 60	0,78	,464	,03

KOMBINATION DER INTERAKTIONSARTEN MIT DEN AUFGABENTYPEN

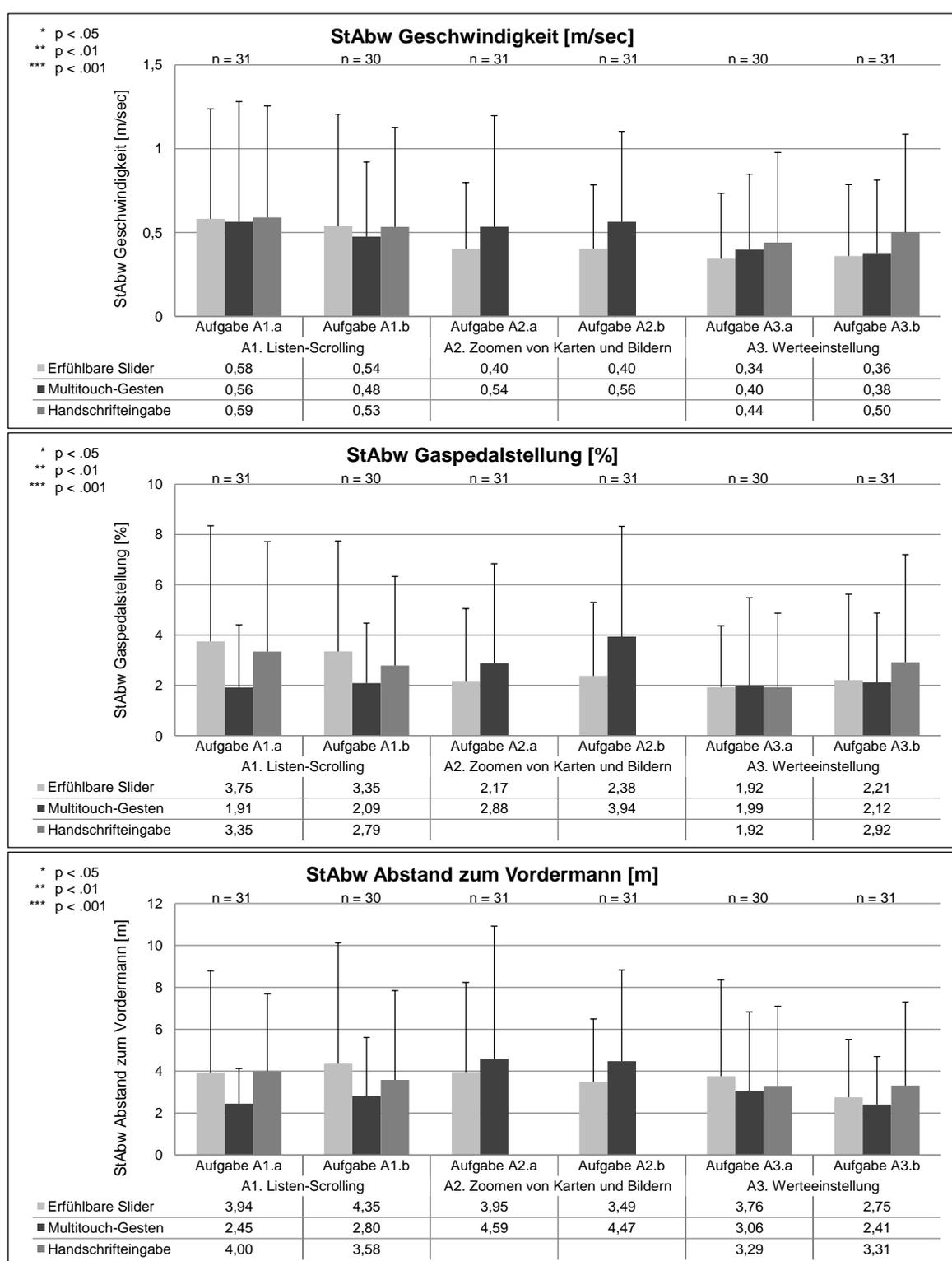


Abbildung 4-6: StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Abstand zum Vordermann während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten

Für keine der kritischen Menüaufgaben ergibt sich aus den longitudinalen Fahrkennwerten ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den jeweils zugeordneten Interaktionsarten des haptischen Touchpads (siehe Tabelle 4-5 und Abbildung 4-6).

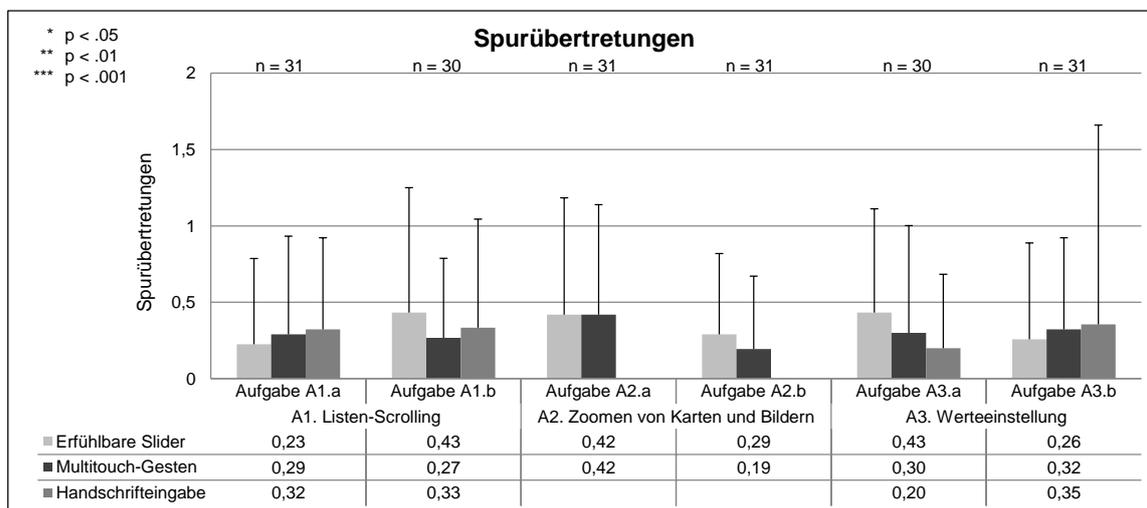
Die lateralen Fahrdaten liefern das identische Ergebnis, das in Tabelle 4-6 und Abbildung 4-7 dargelegt ist. Auch hier besteht in allen Fällen kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Interaktionsarten.

Tabelle 4-6: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der lateralen Fahrdaten

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Spurübertretungen				StAbw Lenkwinkel				StAbw Distance-To-Line			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A1	Aufgabe A1.a	2; 60	0,21	,814	,01	1,49; 44,59	3,21	,063	,10	2; 60	0,42	,657	,01
	Aufgabe A1.b	2; 58	0,63	,539	,02	2; 58	0,19	,826	,01	2; 58	1,10	,339	,04

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten		Spurübertretungen				StAbw Lenkwinkel				StAbw Distance-To-Line			
		df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
A2	Aufgabe A2.a	30	0,00	1,000	,00	30	-1,09	,283	,20	30	-0,10	,920	,02
	Aufgabe A2.b	30	0,72	,476	,13	30	0,34	,735	,06	30	0,18	,860	,03

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe		Spurübertretungen				StAbw Lenkwinkel				StAbw Distance-To-Line			
		df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
A3	Aufgabe A3.a	2; 58	1,57	,217	,05	2; 58	0,26	,771	,01	1,51; 43,81	1,31	,273	,04
	Aufgabe A3.b	1,38; 41,47	0,11	,819	,00	2; 60	0,57	,566	,02	2; 60	1,82	,170	,06



KOMBINATION DER INTERAKTIONSARTEN MIT DEN AUFGABENTYPEN

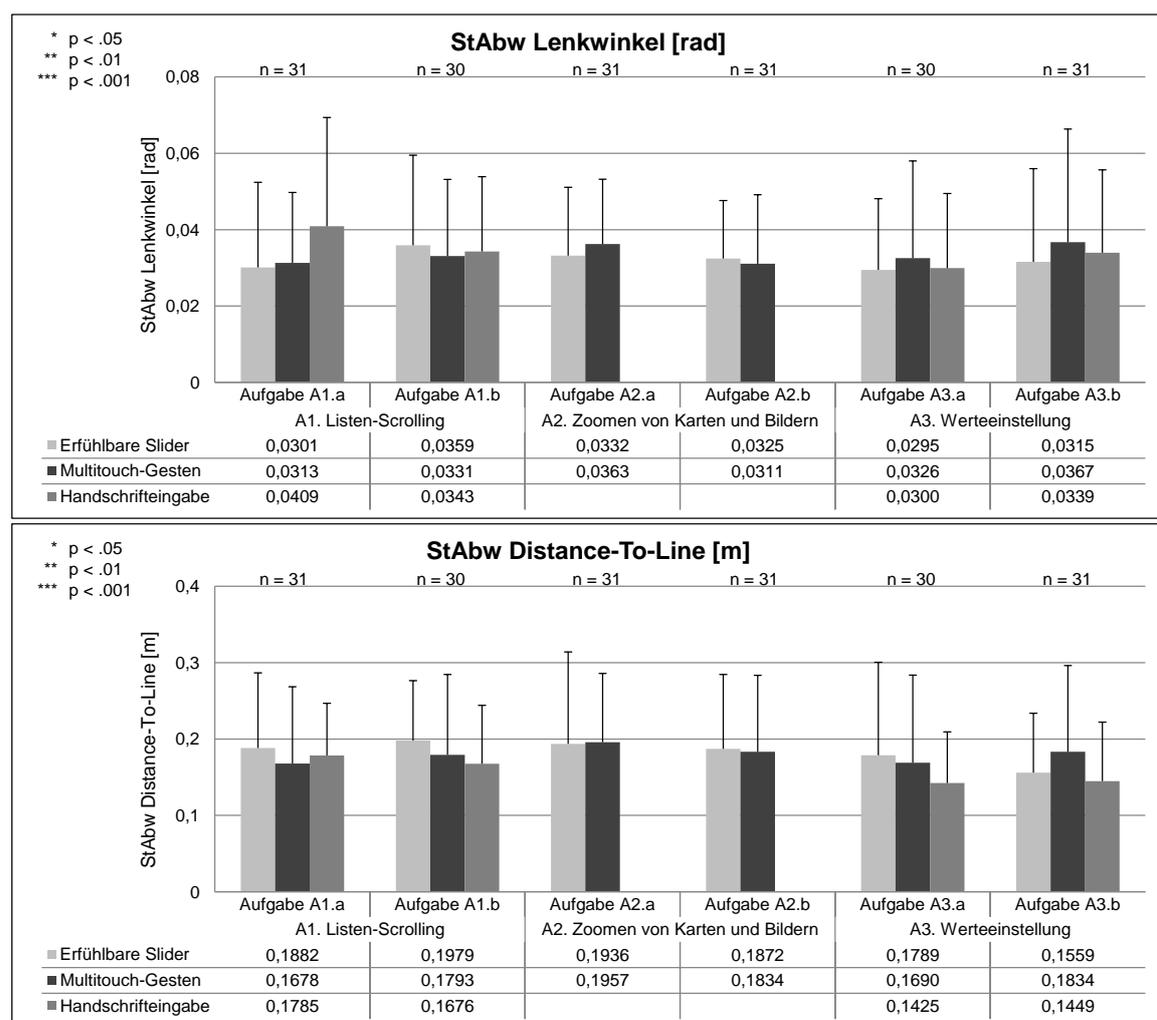


Abbildung 4-7: Spurübertretungen sowie StAbw des Lenkwinkels und der Distance-To-Line während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads

Daher kann die Hypothese 2-H3, dass die Verwendung der verschiedenen Interaktionsarten unterschiedliche Fahrleistungen verursacht, für keine der kritischen Menüaufgaben bestätigt werden.

4.4.4.4. Subjektive Daten

Anschließend an die objektiven Daten werden die Ergebnisse aus der subjektiven Beurteilung durch die Versuchspersonen vorgestellt. Die Bewertung der beiden Fragen weist für die kritische Aufgabe 2-A1 auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Interaktionsarten bezüglich der Einfachheit der Bedienung (großer

Effekt, da $\eta_p^2 \geq 0,14$) und der Ablenkungswirkung (mittlere Effektstärke, da $0,06 \leq \eta_p^2 < 0,14$) hin. Die paarweisen Vergleiche legen dabei für die Multitouch-Gesten die signifikant besseren Resultate dar. Im Gegensatz dazu ist für die beiden anderen kritischen Aufgaben 2-A2 und 2-A3 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Interaktionsarten feststellbar (siehe Tabelle 4-7 und Abbildung 4-8).

Tabelle 4-7: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der gestellten Fragen

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe	Bedienung				Ablenkung			
	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
Aufgabentyp A1	1,66; 49,83	6,21	,006	,17	2; 60	4,09	,022	,12

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten	Bedienung				Ablenkung			
	df	T	p	r	df	T	p	r
Aufgabentyp A2	30	1,00	,325	,18	30	1,31	,202	,23

Erfühlbare Slider - Multitouch-Gesten - Handschrifteingabe	Bedienung				Ablenkung			
	df	F	p	η_p^2	df	F	p	η_p^2
Aufgabentyp A3	1,55; 46,49	2,14	,139	,07	1,45; 43,42	1,21	,296	,04

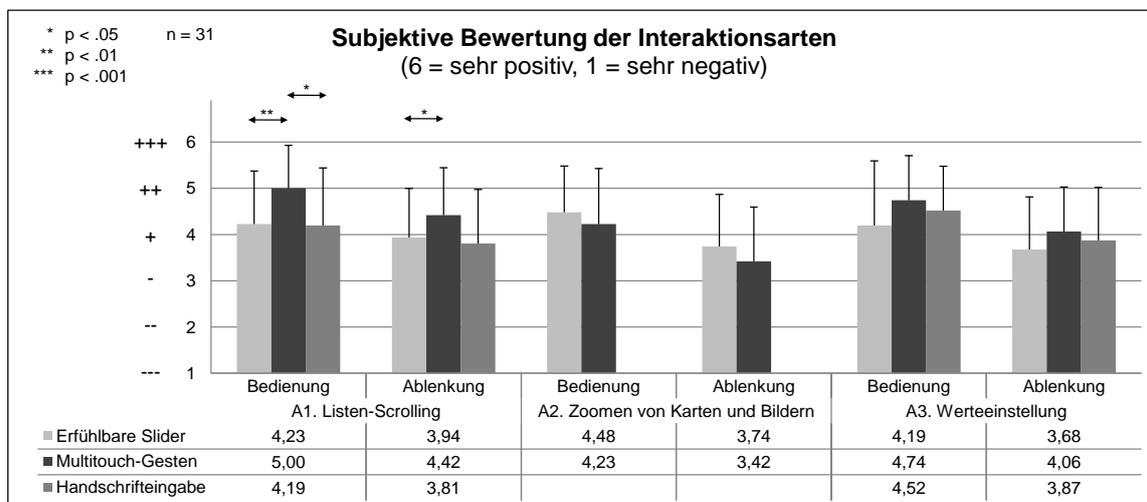


Abbildung 4-8: Subjektive Bewertung von Bedienung und Ablenkung bei der Verwendung der Interaktionsarten des haptischen Touchpads für die verschiedenen Menüaufgaben

Die Angabe der jeweiligen Platzierung der verschiedenen Interaktionsarten für die drei kritischen Aufgaben durch die Probanden ist in Abbildung 4-9 dargestellt.

Hierbei ist es auch möglich, zwei oder alle Interaktionsarten auf den gleichen Platz zu setzen. Daraus wird ersichtlich, dass es für die kritischen Aufgaben jeweils keinen eindeutigen Favoriten gibt. Zwar zeigen sich kleine Unterschiede, aber der Platz 1 wird von den Versuchspersonen für alle kritischen Aufgaben in etwa vergleichbar oft an die zugeordneten Interaktionsarten vergeben.

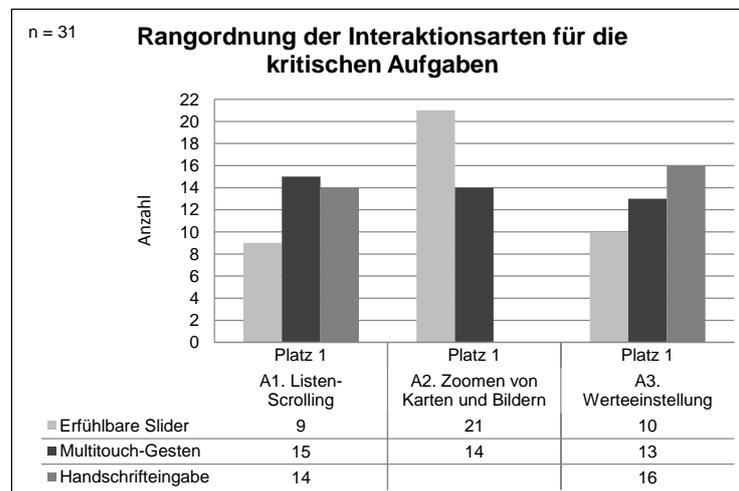


Abbildung 4-9: Angabe der Rangordnung (Platz 1) der Interaktionsarten für die kritischen Menüaufgaben

Insgesamt betrachtet wird die Hypothese 2-H4 dennoch für das „Listen-Scrolling“ bestätigt. Für die beiden anderen kritischen Aufgaben kann diese Hypothese durch die Ergebnisse der subjektiven Daten allerdings nicht verifiziert werden.

4.5. Erkenntnisse für die Gestaltung des Menü-Konzepts

Zusammenfassend zeigen die dargelegten Resultate der durchgeführten Fahr-simulatorstudie, dass es nicht die eine optimale Interaktionsart des haptischen Touchpads zur Ausführung der drei als kritisch identifizierten Menüaufgaben gibt. Auch innerhalb der kritischen Aufgaben ergeben sich zwar teilweise signifikante Unterschiede, die aber immer wieder zugunsten verschiedener Interaktionsarten ausfallen. Für die kritischen Aufgaben „Listen-Scrolling“ und „Werteeinstellung“ weisen die Multitouch-Gesten und die Handschrifteingabe abwechselnd die signifikant besseren Werte auf. Beim „Zoomen von Karten und Bildern“ liegt nur ein-

mal ein signifikanter Vorteil zugunsten der erfühlbaren Slider vor, während sich in den übrigen Fällen kein statistisch signifikanter Unterschied feststellen lässt. Daher kann auch für die einzelnen kritischen Menüaufgaben kein klarer Favorit identifiziert werden. Diese Tatsache wird auch durch die subjektive Einschätzung der Versuchspersonen, vor allem bei der Angabe der Rangordnung, bestätigt. Hier bestehen wohl interindividuell stark unterschiedliche Vorlieben bei der Bedienung mittels der Interaktionsarten des haptischen Touchpads.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der durchgeführten Studie ist es sinnvoll, dem Nutzer für die verschiedenen kritischen Aufgaben eine redundante Bedienung mittels mehrerer Interaktionsarten zur Verfügung zu stellen. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die subjektiv als am besten empfundene Interaktionsart des haptischen Touchpads zur Erledigung der kritischen Menüaufgaben zu verwenden. Dabei ist zu beachten, dass die gleichzeitige Verfügbarkeit von mehreren Interaktionsarten für einen Aufgabentypen aber auch zu einer Verwirrung der Nutzer und damit zu einer Verschlechterung der Interaktion führen kann. Zudem ist es möglich, dass der Benutzer nicht realisiert, dass die für ihn subjektiv beste Interaktionsart verfügbar ist, weil dies zum einen nicht erkannt oder eine andere Interaktionsart dominanter dargeboten wird. Diese Probleme des redundanten Angebots der Interaktionsarten sind bei der weiteren Entwicklung des Gesamtbedienkonzeptes zu berücksichtigen.

Durch die Durchführung der Fahrsimulatorstudie und der Usability-Befragung ist geklärt, auf welche Weise die Interaktionsarten des haptischen Touchpads mit den kritischen Aufgaben zu kombinieren sowie auf dem Display durch Nutzerhinweise anzuzeigen sind. Somit können mit dem haptischen Touchpad alle auftretenden Menüaufgaben eines modernen Fahrerinformationssystems (siehe Abschnitt 2.4.2) bedient und ausgeführt werden. Damit dabei eine möglichst einfache Bedienung und eine Reduzierung der Ablenkung von der primären Fahraufgabe garantiert sind, erfolgt im nächsten Kapitel die Vorstellung des zu entwickelnden zugehörigen Menüsystems.

5. Das Menü-Konzept zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems (FIS) mithilfe des haptischen Touchpads (HTP)

Das Menü-Konzept wird mit dem Ziel einer optimierten und ablenkungsreduzierten Bedienung des Fahrerinformationssystems basierend auf den theoretischen Erkenntnissen (siehe Abschnitt 2.4) und nach ergonomischen Grundregeln speziell für die Bedienung mit dem haptischen Touchpad entwickelt. Der in diesem Kapitel erläuterte Entwicklungsprozess ist auch bei Mischler (2012) und Mischler (2013) beschrieben.

5.1. Stand der Technik / Benchmarking

Als Startpunkt für die Entwicklung des Menü-Konzepts erfolgt zunächst eine umfassende Technologierecherche zu derzeit auf dem Markt angebotenen Produkten, die ein Menüsystem aufweisen. Daraus ergibt sich ein Überblick über die unterschiedlichen Ansätze und Umsetzungsmöglichkeiten für Menüsysteme (siehe Abschnitt 2.4.1), die von einer enorm großen Zahl an Menschen täglich benutzt werden und daher bestens bekannt sind. Für deren Bedienung existieren somit auch bereits mentale Modelle (siehe Abschnitt 2.3.2.1), die bei der Entwicklung des Menü-Konzepts für das haptische Touchpad genutzt werden können, um die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem möglichst effizient und intuitiv zu gestalten (siehe Kapitel 1).

Dabei stehen zum einen die Menüsysteme von Fahrerinformationssystemen im Fokus der Betrachtungen, da sie für die gleiche Bediensituation konzipiert sind. Diese sind überwiegend aus hierarchischen Menüstrukturen mit sehr wenigen Vernetzungen aufgebaut. Sie werden aktuell über Dreh-Drück-Steller (DDS: z.B. Mercedes und Audi), Dreh-Drück-Schiebe-Steller (DDSS: z.B. BMW) oder Touchscreen (z.B. VW, Toyota, Porsche, Ford und Saab) in Kombination mit verschiedenen statisch belegten Tasten bedient. Bei Audi ist zusätzlich zum DDS auch noch ein Touchpad integriert, das einen begrenzten Funktionsumfang (z.B.

Handschrifteingabe) aufweist. Allerdings ist mit diesem Touchpad eine Bedienung des kompletten Menüsystems nicht möglich. Aufgrund der steigenden Komplexität der Fahrerinformationssysteme lässt sich aber feststellen, dass in diesem Bereich momentan eine Orientierung hin zu aufgabenorientierten und direkt manipulierbaren Menüsystemen stattfindet.

Zum anderen werden derzeit verfügbare Smartphones, Handys, Tablet-PCs, andere Mobile-Devices sowie PC-Betriebssysteme genauer betrachtet, weil deren Menüsysteme am weitesten verbreitet sind. Vor allem die mobilen Geräte weisen aufgrund ihrer Bedienung über multitouch-fähige Touchscreens oder Touchpads viele Ähnlichkeiten zur Interaktion mit dem haptischen Touchpad auf. Des Weiteren sind aufgabenorientierte Menüsysteme in diesem Sektor bereits stark verbreitet. Auch der Einsatz von Multitouch-Gesten und Handschrifteingabe zur Bedienung des Menüsystems findet dabei sehr häufig Verwendung.

Die durch das Benchmarking gewonnene Kenntnis über die Eigenschaften und die Umsetzung von aktuell vorkommenden Menüsystemen – und damit auch über die existierenden mentalen Modelle bei den Benutzern – dient als Grundlage für Konzeptideen und die Entwicklung des Menü-Konzepts für das haptische Touchpad. Zusätzlich dazu sind dafür bestimmte Rahmenbedingungen festgelegt.

5.2. Ausgangslage für das Menü-Konzept des haptischen Touchpads

Für den durchzuführenden Entwicklungsprozess bestehen die folgenden prinzipiellen Rahmenbedingungen, welche die Ausgangslage für das Menü-Konzept des haptischen Touchpads darstellen:

- **Erhalt des Funktionsumfangs eines Fahrerinformationssystems**

Damit ein konkurrenzfähiges Menüsystem entstehen kann, soll es gemäß den Anforderungen der AUDI AG mindestens die Funktionen eines modernen Fahrerinformationssystems aufweisen. Zudem soll die Integrationsfähigkeit neuer potentieller Tertiärfunktionen im Fahrzeug, wie z.B. Apps oder Connect-Funktionen, durch das Menü-Konzept gewährleistet

sein. Auf Dauer ist der Sinn dieser Forderungen jedoch zu hinterfragen, da viele Fahrerinformationssysteme aufgrund ihrer enormen Funktionsvielfalt für eine Bedienung in einer Dual-Task Situation bereits heute sehr komplex gestaltet sind (Meroth & Tolg, 2008; Heilemann & Palm, 2011). Aus diesem Grund sollte in Zukunft in Betracht gezogen werden, eine Komplexitätsreduktion der Systeme durch eine Verminderung der Funktionsanzahl zu erzielen.

- **Entstehung eines heterarchisch geordneten, aufgabenorientierten und konsistenten Menüs**

Gemäß den theoretischen Betrachtungen sollen die verschiedenen Eigenschaften von Menüsystemen (siehe Abschnitt 2.4.1) berücksichtigt und deren Vorteile genutzt werden. Aus diesem Grund wird eine heterarchische Menüstruktur mit begrenzt vorhandenen und sinnvoll eingesetzten Vernetzungen für das Menü-Konzept des haptischen Touchpads gewählt. Dieses wird in Anlehnung an Spies et al. (2009a) zudem als aufgabenorientiertes Menü gestaltet. Des Weiteren wird ein Hauptaugenmerk auf die sprachliche, strukturelle und grafische Konsistenz sowie die Interaktionskonsistenz des Menü-Konzepts gelegt. Auch die weiteren Eigenschaften von Menüsystemen finden dabei Beachtung und Verwendung.

- **Einhaltung ergonomischer Grundregeln, Normen und Guidelines**

Für die Entwicklung eines Menüsystems, das eine möglichst einfache und ablenkungsarme Bedienung während der Fahrt ermöglicht, ist es erforderlich, die bereits existierenden ergonomischen Grundregeln, Normen und Guidelines für diesen Anwendungsbereich (siehe Abschnitt 2.4) zu beachten.

- **Beachtung vorhandener technischer Möglichkeiten und Grenzen des haptischen Touchpads**

Aufgrund der in Abschnitt 3.4 vorgestellten Eigenschaften des haptischen Touchpads ergeben sich neben den neuen Möglichkeiten (z.B. durch die

integrierten Interaktionsarten) auch einige Restriktionen. So können wegen der Anzahl, der Größe und der Anordnung (14 x 9 Matrix) der einzelnen Haptik-Elemente sowie wegen den geforderten minimalen Kantenlängen, basierend auf den ergonomischen Betrachtungen (siehe Kapitel 2 und Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug), gleichzeitig maximal 12 Tasten bzw. 5 Listenelemente auf dem haptischen Touchpad abgebildet werden. Zudem erfordert jede Veränderung der auf dem haptischen Touchpad dargestellten Konfiguration eine Neukalibrierung des Touchpads. Dies kann zu Beeinträchtigungen der Erkennung und Verzögerungen führen. Daher sollte die Anzahl unterschiedlicher Konfigurationen minimiert und häufige Wechsel vermieden werden. Des Weiteren ist die Multitouch-Fähigkeit des haptischen Touchpads auf maximal 3 Finger begrenzt.

Diese aufgeführten Vorgaben gilt es bei der im nächsten Abschnitt beschriebenen Entwicklung des Menü-Konzepts für das haptische Touchpad zu berücksichtigen.

5.3. Die Entwicklung des Menü-Konzepts für das haptische Touchpad

Basierend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen und unter Beachtung der vorherrschenden Rahmenbedingungen erfolgt in diesem Abschnitt die Entwicklung des Menükonzepts zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems mithilfe des haptischen Touchpads. Hierfür werden außerdem vier verschiedene Checklisten verwendet, die von Mischler (2013) anhand theoretischer Betrachtungen für diesen speziellen Entwicklungsvorgang zusammengestellt wurden (siehe Anhang D: Checklisten zur Entwicklung des Menü-Konzepts).

Nachfolgend wird auf die gewählte Vorgehensweise zur Entwicklung des Menü-Konzepts näher eingegangen, die sich an der VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, 1993) orientiert.

5.3.1. Vorgehensweise

Zur Aufrechterhaltung des Funktionsumfangs eines derzeit verfügbaren Fahrerinformationssystems wird das aktuelle Audi MMI (Multimedia Interface) als Vergleichssystem verwendet. Daraus werden in einem ersten Schritt die einzelnen Funktionen und deren hierarchische Ordnung entnommen und in einer Funktionsstrukturtafel zusammengefasst.

Darauf aufbauend erfolgt eine Neuordnung der Gesamtheit der Funktionen in einer heterarchischen Menüstruktur. Hierfür werden basierend auf dem Audi MMI und unter Berücksichtigung neuartiger Entwicklungen zunächst die Hauptgruppen für die erste Ebene (Hauptmenü) der hierarchischen Grundstruktur definiert, die insgesamt eine maximale Menütiefe von 3 Menüebenen aufweisen soll. Dabei gehen die Funktionsbereiche Radio, Media, Map, Navigation, Car, Telefon, Connect und Apps als die 8 Hauptgruppen des zu entwickelnden Menü-Konzepts hervor. Das Tone-Menü, das beim Audi MMI als eine weitere Hauptgruppe umgesetzt ist, wird hierbei als universelle Funktionsgruppe festgelegt, die von jeder Menüposition aus erreichbar ist.

Im nächsten Schritt erfolgt in Anlehnung an das Audi MMI die Zuordnung aller Einzelfunktionen zu den 8 Hauptgruppen. Innerhalb dieser Hauptgruppen werden die einzelnen Funktionen aber komplett neu geordnet. Hierfür werden die Funktionen der Hauptgruppen zunächst jeweils in primäre, sekundäre und tertiäre Menüfunktionen eingeteilt, die nach Stapelkamp (2007) wie folgt bestimmt sind.

- Primäre Menüfunktionen:
Machen den Sinn des Produktes aus und sollten methodisch und möglichst geführt zugänglich sein (z.B. die Funktion „Anrufen“ bei der Auswahl eines Kontaktes)
- Sekundäre Menüfunktionen:
Erweitern den Sinn des Produktes und sollten durch Schnellzugriffe abrufbar sein (z.B. die Option „Gewählte Nummern“ zur Filterung der Telefonliste)

- Tertiäre Menüfunktionen:

Erweitern das Angebot des Produktes ohne zwingend notwendig zu sein (z.B. Einstellungsfunktionen wie der „Klingelton“ des Telefons)

Um die immer noch relativ große Vielzahl an Funktionen innerhalb dieser Einteilungsgruppen weiter untergliedern zu können, werden die Funktionen den folgenden vier Kategorien zugeordnet, die laut Cooper, Reimann & Cronin (2007) bei den meisten existierenden Menüsystemen Verwendung finden und den Nutzern daher bestens bekannt sind.

- File-Menü:

Beinhaltet dokumentenbezogene Funktionen (z.B. „Letzte Ziele“ oder „Favoriten“ zur Zieleingabe in der Hauptgruppe Navigation)

- Edit-Menü:

Beinhaltet Funktionen zum Bearbeiten von Inhalten (z.B. die Funktionen „Speichern“ oder „Löschen“)

- Setting-Menü:

Beinhaltet Funktionen zur Änderung von Einstellungen einer Anwendung (z.B. „Karteneinstellungen“ in der Hauptgruppe Map)

- Help-Menü:

Beinhaltet Bedienhilfen (z.B. eine globale Suchfunktion oder eine Betriebsanleitung für das Fahrerinformationssystem)

Zusätzlich zu diesen vier genannten gibt es nach Cooper et al. (2007) noch die Kategorien View-Menü, Format-Menü und Input-Menü, die für diese Arbeit aber nicht herangezogen werden.

Aufgrund der vorgenommenen Klassifizierungen der Einzelfunktionen entstehen innerhalb der Hauptgruppen handhabbare und sinnvoll strukturierte Gruppierungen von Funktionen. In diese so entstandene hierarchische Grundstruktur des Menüsystems werden daraufhin sinnvolle und in begrenzter Anzahl eingesetzte Vernetzungen integriert. Daraus ergibt sich letztlich die gewünschte heterarchische Menüstruktur. Für eine detaillierte Darstellung der entwickelten Gesamtstruktur des Menü-Konzepts wird auf Mischler (2012) verwiesen.

Nach der Entwicklung der Menüstruktur wird in einem nächsten Schritt die genaue Umsetzung und Realisierung der in dieser heterarchischen Struktur enthaltenen Funktionen angegangen und bestimmt. Dafür stehen nach Rudlof (2006) sogenannte Basis- bzw. Steuerelemente zur Verfügung, die mit ihren jeweiligen Ausführungen in Tabelle 5-1 aufgelistet sind. Diesen Basiselementen werden die Einzelfunktionen zugeordnet und dementsprechend im Menü-Konzept umgesetzt.

Tabelle 5-1: Basis- bzw. Steuerelemente und deren Ausführungen zur Realisierung der Einzelfunktionen (Rudlof, 2006)

<i>Basiselement</i>	<i>Ausführungen</i>
Eingabefeld	Dateneingabe
	Texteingabe
Knopf	Druckknopf (Push-Button)
	Einfachauswahlknopf (Radio-Button)
	Mehrfachauswahlknopf (Check-Box)
Liste	Auswahlliste (List-Box)
	Erweiterbare Auswahlliste (Drop-Down)
	Klappbare bzw. verborgene Liste (Drop-Down, List-Box)
Grafik	Piktogramm (Icon)
	Skala (Scale, Slider)

Daraufhin erfolgt die Festlegung der Bedien- und Interaktionslogik, also wie die einzelnen Funktionen des Menüsystems mit dem haptischen Touchpad bedient werden können. Dafür werden die unterschiedlichen Interaktionsarten des haptischen Touchpads den Funktionen bzw. den Basiselementen zugeordnet.

In einem weiteren Schritt wird unter Beachtung software-ergonomischer Grundregeln definiert, wie die Abbildung der entwickelten Menüstruktur, die Anordnung der einzelnen Funktionsgruppen und Einzelfunktionen sowie die Darstellung der Nutzerhinweise auf dem Display des Fahrerinformationssystems erfolgen. Dabei werden sowohl die Eigenschaften des Displays als auch die Möglichkeiten und Einschränkungen des haptischen Touchpads berücksichtigt.

Zur ersten Überprüfung des Gesamtkonzepts werden sogenannte Wireframes erstellt, die in einfacher Form die jeweiligen Bildschirminhalte des Menü-Konzepts darstellen. Damit werden in einem iterativen Prozess mehrere Tests durchgeführt und daraus resultierende Anpassungen bzw. Verbesserungen am Menü-Konzept vorgenommen.

Im Anschluss daran werden in Zusammenarbeit mit einem Industriedesigner das grafische Design des Menüsystems entwickelt und die einzelnen Grafik-Elemente erstellt. Parallel dazu erfolgt durch einen Programmierer die Umsetzung des entwickelten Menü-Konzepts in einer Menü-Simulation, die über das haptische Touchpad bedient werden kann. Damit werden iterativ mehrere Tests durchgeführt und Verbesserungen vorgenommen, bis das Menü-Konzept in gewünschter und fehlerfreier Form vorliegt. Mithilfe dieser Menü-Simulation erfolgt abschließend die Evaluation des Gesamtbedienkonzepts in einer Fahrsimulatorstudie (siehe Kapitel 6).

5.3.2. Das Menü-Konzept für das haptische Touchpad (HTP)

Aus dem soeben erläuterten Entwicklungsvorgang ergibt sich das Menü-Konzept speziell zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems mittels des haptischen Touchpads, das nachfolgend im Sinne einer Spezifikation genauer vorgestellt wird. Hierfür wird zunächst näher auf den Aufbau und die Funktionsweise des Menüs eingegangen sowie parallel dazu das Darstellungsprinzip auf dem Display anhand von Wireframes aufgezeigt.

5.3.2.1. Aufbau und Funktionsweise

Die oberste Ebene und somit den Ausgangs- bzw. Startpunkt des Menü-Konzepts bildet das Hauptmenü. Dieses beinhaltet, wie in Abbildung 5-1 zu sehen ist, grundlegend die acht festgelegten Hauptgruppen und stellt diese auf dem haptischen Touchpad in Form von Buttons zur Verfügung. Dabei sind diese Tasten auf dem Display jeweils sowohl textuell als auch durch ein passendes Icon beschrieben. In der Statusleiste können beispielsweise Information wie die Uhrzeit, das Datum oder der Eingang einer Mail visuell dargestellt werden.

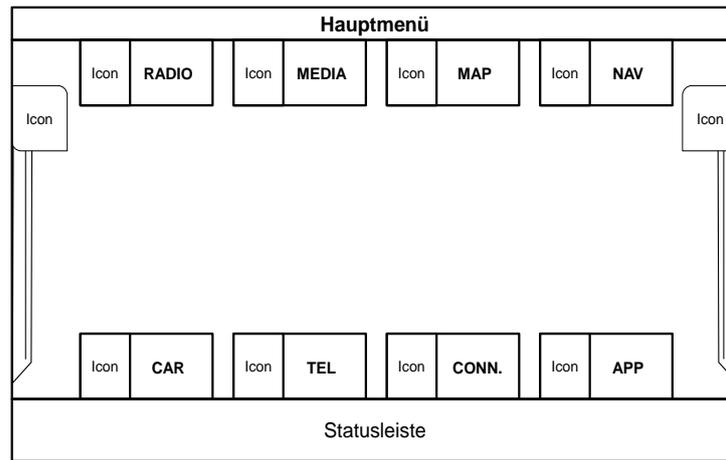


Abbildung 5-1: Der Hauptmenü-Screen

Berührt der Nutzer einen der Hauptgruppen-Buttons, wird ihm dies zusätzlich zum haptischen Touchpad durch ein visuelles Highlight auf dem Display verdeutlicht. Dieses Prinzip wird für alle bedienbaren Elemente des Menü-Konzepts angewendet.

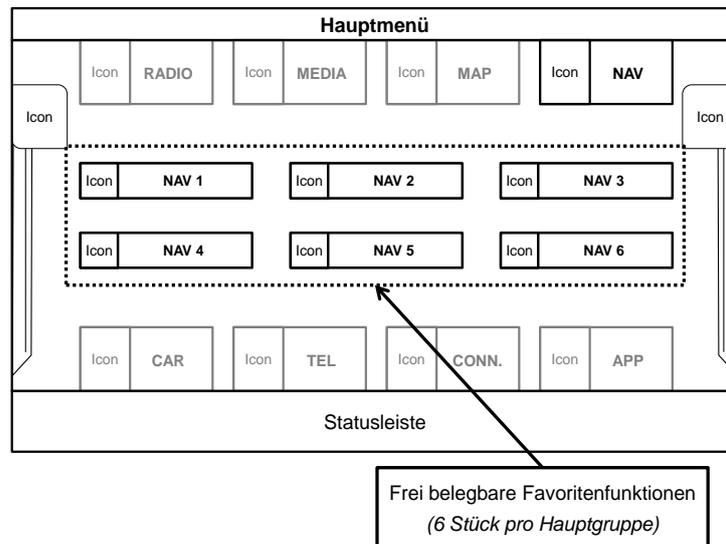


Abbildung 5-2: Das Hauptmenü mit den sechs frei belegbaren Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Navigation (NAV)

Im Falle der Hauptgruppen aktiviert der Benutzer durch seine Berührung zudem die frei belegbaren Favoritenfunktionen der jeweiligen Hauptgruppe. Diese wer-

den daraufhin sowohl auf dem haptischen Touchpad als auch auf dem Display abgebildet (siehe Abbildung 5-2).

Berührt der Nutzer die nächste Hauptgruppe, passt sich die Anzeige der Favoritenfunktionen auf dem Display daran an. Pro Hauptgruppe stehen dabei jeweils sechs Tasten zur Verfügung, die der Benutzer mit sechs beliebigen Funktionen aus dieser Hauptgruppe belegen kann. Als Beispiel dient das Ablegen einer wichtigen und häufig benötigten Telefonnummer unter den Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Telefon (TEL). Dadurch können auf oberster Menüebene bereits bis zu 48 Einzelfunktionen abgebildet und damit ein Großteil der Bedienvorgänge auf einfache Weise und schnell ausgeführt werden. Somit entsteht eine gewisse Adaptierbarkeit bzw. Individualisierbarkeit des Hauptmenüs bzw. des Startscreens durch den Nutzer.

Neben den acht Hauptgruppen und den Favoritenfunktionen weist das Hauptmenü zwei zusätzliche, seitlich angeordnete Seitenmenüs auf (siehe Abbildung 5-3), die auf dem Display jeweils mit einem charakteristischen Icon beschriftet sind.

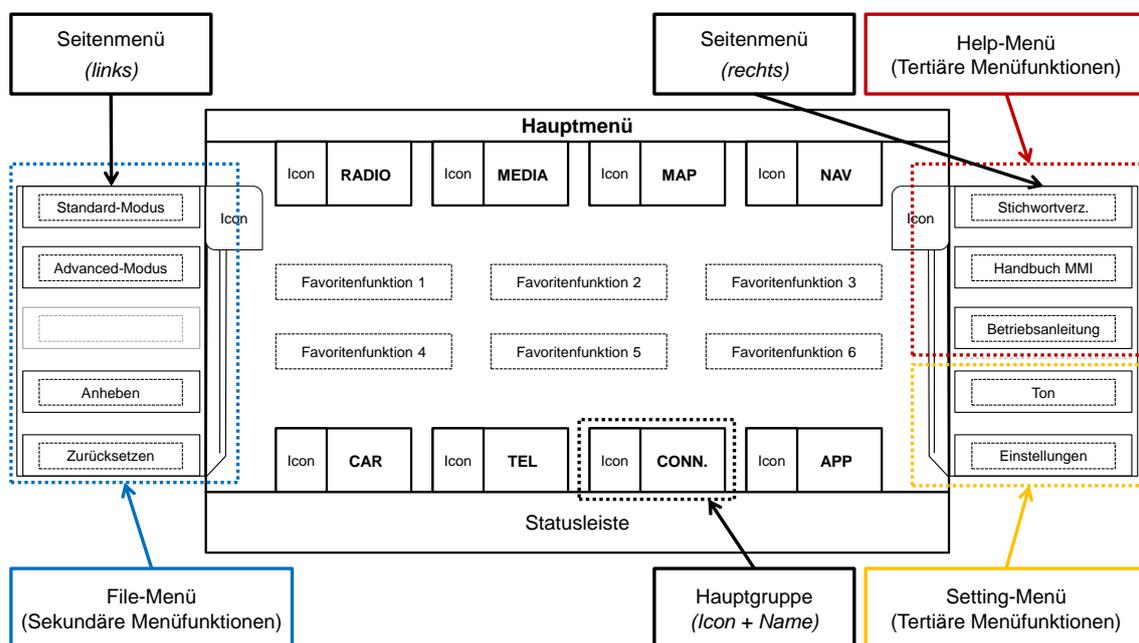


Abbildung 5-3: Das Hauptmenü mit den beiden zugehörigen Seitenmenüs

Diese können mithilfe des haptischen Touchpads zum einen durch die Tastenfunktion der seitlichen Slidertasten oder zum anderen durch horizontale Zwei-Finger-Gesten geöffnet (animiertes Einfahren in den Bildschirm) und geschlossen (animiertes Ausfahren aus dem Display) werden. Dies wird auf dem Bildschirm durch jeweilige Nutzerhinweise (Icons) indiziert, die an den Rändern der beiden Seitenmenüs platziert sind. In das linke Seitenmenü sind dabei sekundäre Menüfunktionen des Hauptmenüs integriert. Das rechte Seitenmenü hingegen stellt ausschließlich tertiäre Menüfunktionen zur Verfügung, die außerdem den Kategorien Help-Menü und Setting-Menü zugeordnet sind. Eine Suchfunktion ist dabei nicht im Help-Menü zu finden, da diese immer direkt über die „SEARCH“-Taste des haptischen Touchpads gestartet werden kann.

Wählt der Benutzer eine der acht Hauptgruppen durch Drücken der jeweiligen Taste auf dem haptischen Touchpads aus, gelangt er in die nächste – die zweite – Menüebene. Dieser Auswahlvorgang wird zusätzlich zum haptischen Feedback ebenfalls immer durch ein anderes visuelles Highlight auf dem Display und einen akustischen Tastenklick des haptischen Touchpads rückgemeldet. Der Aufbau und die Funktionsweise der zweiten Menüebene sind für alle Hauptgruppen konsistent und einheitlich gestaltet. Lediglich die Hauptgruppe Map (MAP) unterscheidet sich durch die Anzeige der Karte im Zentralbereich etwas von den übrigen Hauptgruppen. In dieser Karte kann der Nutzer durch die Bewegung eines Fingers auf dem haptischen Touchpad das Fadenkreuz verschieben und durch Drücken das anvisierte Ziel auswählen. Werden hingegen zwei Finger gleichzeitig auf dem haptischen Touchpad aufgesetzt und bewegt, so wird die Karte verschoben. Als weitere Bedienmöglichkeiten erfolgt das Hineinzoomen in die Karte durch eine Zoom-In-Geste (spreizende Bewegung zweier Finger) und das Herauszoomen über eine Zoom-Out-Geste (zusammenführende Bewegung zweier Finger). Dieser Zoomvorgang ist redundant auch über die erfühlbaren Slider an den seitlichen Rändern des haptischen Touchpads möglich.

Die zweite Menüebene (auch als Standardmenü bezeichnet) der anderen sieben Hauptgruppen ist dabei generell im Zentralbereich (auch Operationsebene genannt) aus einer Liste aufgebaut, die sich initial im Handschrifteingabemodus be-

findet (siehe Abbildung 5-4). Dies bedeutet, dass die Listeneinträge zwar angezeigt, aber deaktiviert (auf dem Display ausgegraut dargestellt und auf dem haptischen Touchpad nicht abgebildet) sind und der Nutzer durch die Eingabe von Buchstaben oder Ziffern auf dem haptischen Touchpad die Möglichkeit hat, zum gewünschten Eintrag in der Liste zu springen. Hierbei wird die Handschriftspur des Benutzers in einem dafür vorgesehenen Bereich angezeigt. Bei Erkennung eines Buchstabens oder einer Ziffer erfolgt eine Übernahme in das Eingabefeld an der Stelle, an der sich der Cursor des Eingabefeldes befindet. Fehleingaben können dabei durch das Schreiben eines horizontalen Strichs von rechts nach links gelöscht werden. Entsprechend der Anzeige im Eingabefeld wird die Liste nach passenden Einträgen gefiltert, was bei sehr langen Listen, wie etwa einem Telefonbuch, von Vorteil ist. Denn dadurch kann das Scrollen reduziert und das Suchen eines Eintrags in der Liste vereinfacht werden.

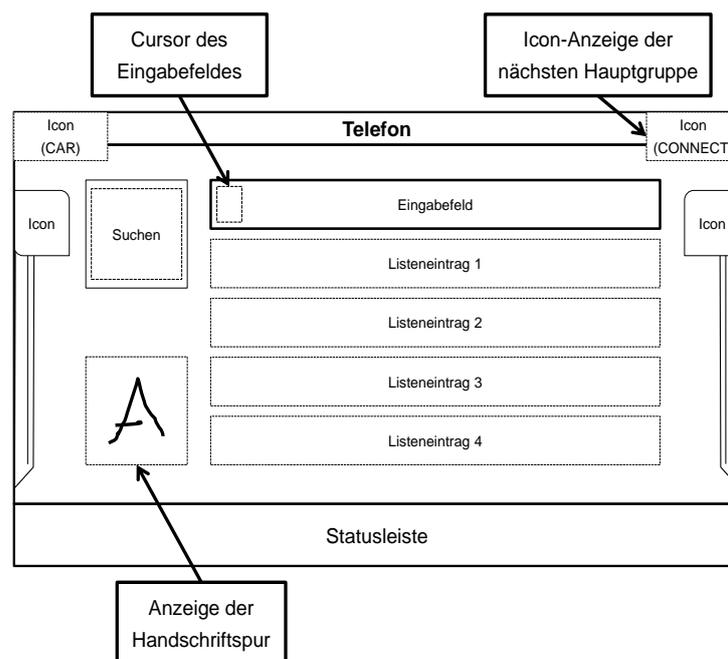


Abbildung 5-4: Das Standardmenü (zweite Menüebene) im Handschrifteingabemodus

Zur Aktivierung der Liste für die Auswahl des gewünschten Listenelements muss der Benutzer vom Handschrifteingabemodus in den Listenmodus wechseln. Hierzu ist ein einfaches Drücken des haptischen Touchpads an beliebiger Stelle

erforderlich. Dadurch verschwindet das Eingabefeld und die Listenelemente werden aktiviert. Daraufhin sind sie auf dem Display normal dargestellt und auf dem haptischen Touchpad erföhlbar abgebildet und können durch Drücken ausgewählt werden (siehe Abbildung 5-5).

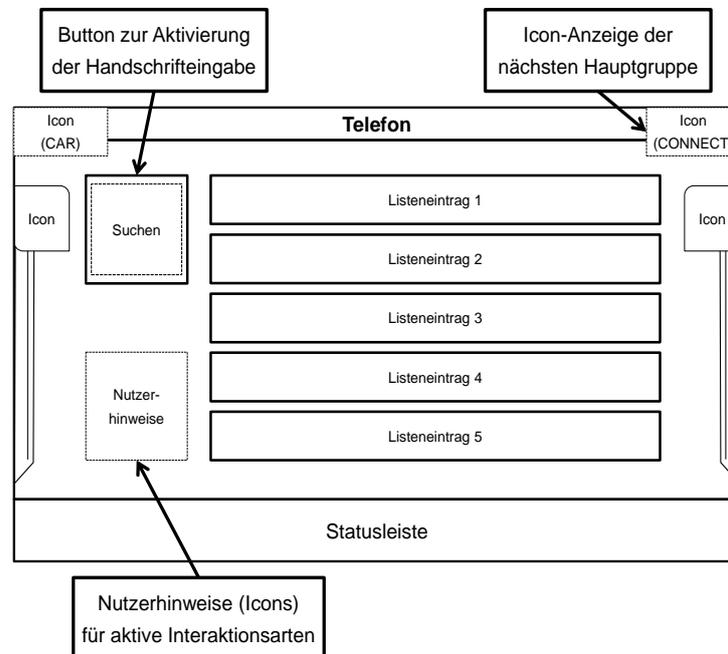


Abbildung 5-5: Das Standardmenü (zweite Menüebene) im Listenmodus

Dabei ist die Anzahl der simultan dargestellten Listenelemente gemäß den Eigenschaften des haptischen Touchpad auf fünf Stück begrenzt. Das Scrollen der Liste kann redundant mithilfe einer vertikalen Zwei-Finger-Geste und der erföhlbaren Slider des haptischen Touchpads bewerkstelligt werden. Diese in diesem Zustand verfügbaren Interaktionsarten werden durch Nutzerhinweise (Icons) auf dem Display angezeigt. Möchte der Nutzer in den Handschrifteingabemodus zurückkehren, erfolgt dies durch Drücken der „Suchen“-Taste. Als zusätzliches Feature des Standardmenüs sind in der linken bzw. rechten oberen Ecke des Bildschirms Icon-Anzeigen angebracht, die auf die danebenliegenden Hauptgruppen hinweisen. Nach dem „Prinzip der virtuellen Desktops“ (siehe Abschnitt 2.4.1.6) kann von der momentanen Hauptgruppe (z.B. Telefon) zum einen über horizontale Drei-Finger-Gesten und zum anderen über einen Langdruck

(=Longpush) der seitlichen Slidertasten des haptischen Touchpads direkt zur nächstgelegenen Hauptgruppe gewechselt (animiertes zur Seite schieben der aktuellen Hauptgruppe aus dem Display) werden. Dabei entspricht die Reihenfolge der Hauptgruppen der Anordnung im Hauptmenü. Dadurch ist ein direkter Sprung zu den danebenliegenden Hauptgruppen ohne den Umweg über das Hauptmenü möglich.

In Analogie zum Hauptmenü weist die zweite Menüebene (Standardmenü) ebenfalls die beiden vorherigen Seitenmenüs auf der linken und rechten Seite auf. Allerdings sind diese um ein drittes am unteren Rand des Bildschirms platziertes Seitenmenü ergänzt, das im weiteren Verlauf als Aktionsmenü bezeichnet wird. Die drei genannten Seitenmenüs und deren Inhalte sind am Beispiel der Hauptgruppe Telefon (TEL) in Abbildung 5-6 veranschaulicht.

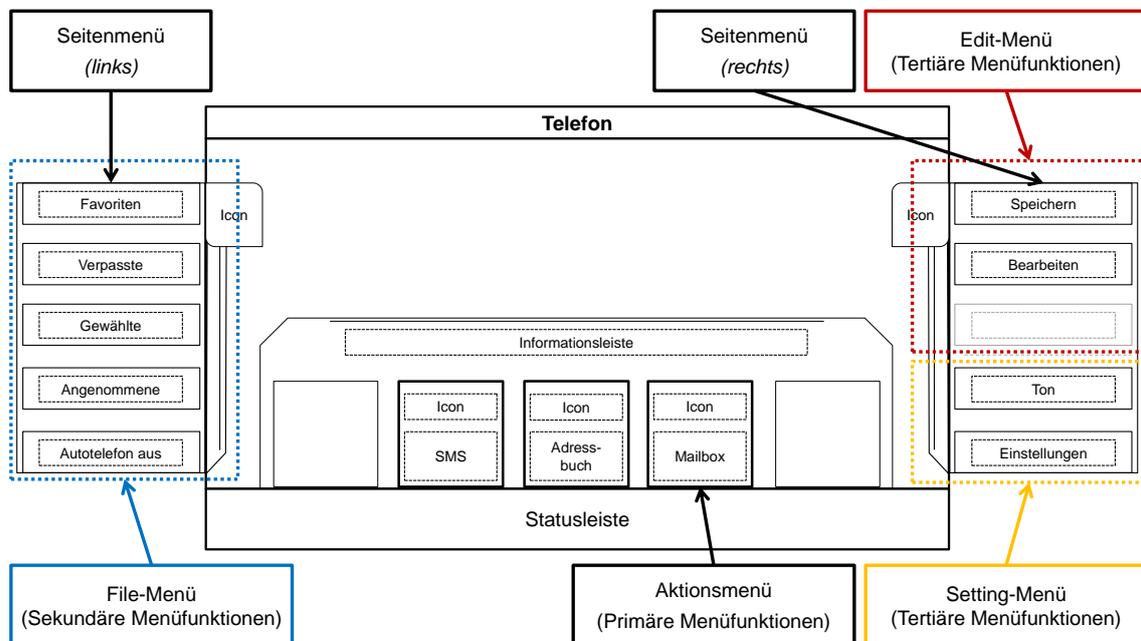


Abbildung 5-6: Das Standardmenü mit den drei zugehörigen Seitenmenüs

Innerhalb der Seitenmenüs ist die Anzahl der simultan dargebotenen Funktionen ebenfalls auf die durch das haptische Touchpad zeitgleich darstellbaren Elemente beschränkt. Die Funktionsweise der beiden Seitenmenüs (links und rechts) ist analog zum Hauptmenü. Das linke Seitenmenü (File-Menü) beinhaltet

sekundäre Menüfunktionen der aktuellen Hauptgruppe. Für die Hauptgruppe Telefon (TEL) sind hier beispielsweise die Funktionen „Verpasste Anrufe“ und „Gewählte Nummern“ zu nennen. Dadurch kann die unter Umständen sehr lange Telefonliste gefiltert werden. Hingegen ist das rechte Seitenmenü wieder aus tertiären Menüfunktionen aufgebaut. Diese sind den Kategorien Edit-Menü und Setting-Menü zugeordnet. Darüber können in diesem Beispiel Listeneinträge bearbeitet, eingegebene Telefonnummern gespeichert oder Einstellungen der Hauptgruppe Telefon (TEL) geändert werden. Des Weiteren ist im rechten Seitenmenü über die Funktion „Ton“ von jeder Menüposition aus das Tone-Menü erreichbar.

Während die beiden Seitenmenüs über das gesamte Menü statisch aufgebaut sind und sich nicht verändern, ist das Aktionsmenü aufgabenorientiert ausgelegt. Dieses lässt sich sowohl über eine relativ schnell ausgeführte vertikale Zwei-Finger-Geste als auch über die nach unten drückbare Taste, die am unteren Rand des haptischen Touchpads zentral angebracht ist, öffnen (animiertes Einfahren in den Bildschirm) und schließen (animiertes Ausfahren aus dem Display). Dort sind primäre Menüfunktionen integriert, die in Abhängigkeit des aktuellen Systemzustands kontextsensitiv angeboten werden. Ist zum Beispiel in der Hauptgruppe Media (MEDIA) ein Song markiert, kann dieser über die Funktion „Play“ im Aktionsmenü abgespielt werden. Ist der Song aber bereits zu hören, wird an die Stelle von „Play“ die Funktion „Pause“ gesetzt. Ein weiteres Beispiel für die aufgabenorientiertheit wird anhand der Hauptgruppe Telefon (TEL) gegeben. Beim dargestellten Zustand in Abbildung 5-6 ist kein Element der Telefonliste gewählt, weswegen im Aktionsmenü die primären Menüfunktionen „SMS“, „Telefonbuch“ und „Mailbox“ allgemein zur Verfügung stehen.

In Abbildung 5-7 wird in der Operationsebene zunächst ein Eintrag der Telefonliste ausgewählt. Daraufhin passt sich das Aktionsmenü an den neuen Zustand an und es werden aufgabenorientiert die dargestellten Funktionen angeboten. Hier tritt anhand der Funktion „Navigieren zu“ auch ein Beispiel für die Vernetzungen der heterarchischen Menüstruktur auf, weil dadurch ein Link zur Hauptgruppe Navigation (NAV) besteht und der Nutzer vom Telefonmenü aus direkt die Zielführung starten kann.

DAS MENÜ-KONZEPT

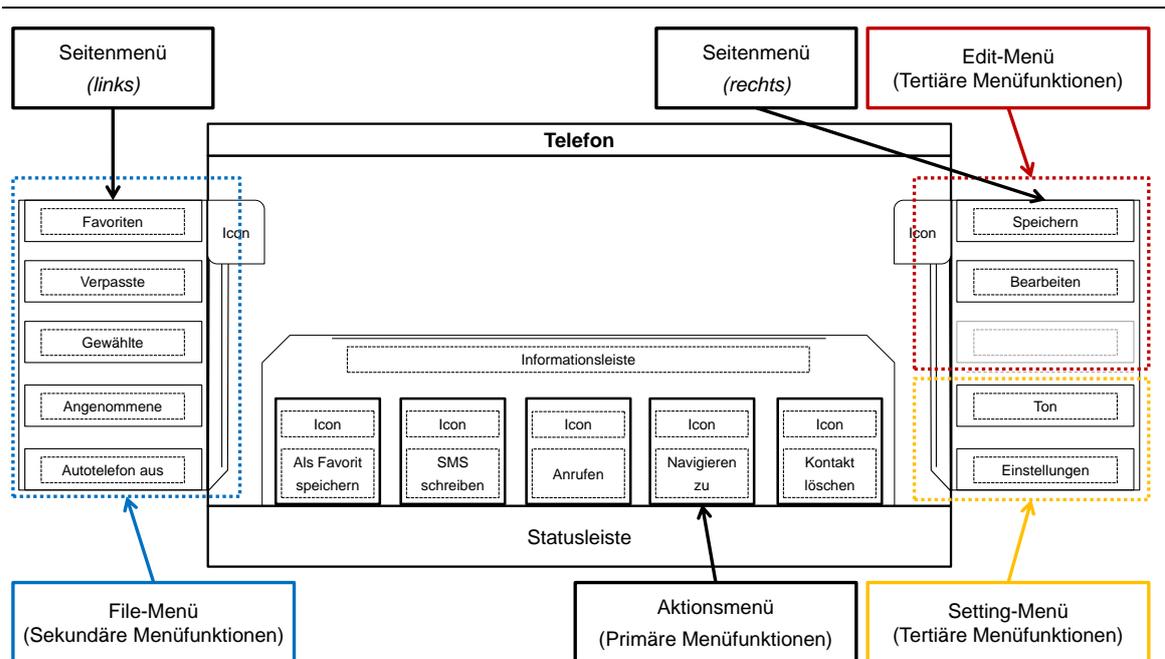


Abbildung 5-7: Das aufgabenorientierte Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) für den Zustand eines ausgewählten Listenelements

Drückt der Nutzer in diesem Aktionsmenü die Funktion „Anrufen“, wird er mit dem gewählten und in der Informationsleiste angezeigten Listeneintrag telefonisch verbunden. Somit wird das Aktionsmenü an die neue Situation adaptiert und enthält nur noch die Funktion „Anrufen beenden“ zur Beendigung des Telefonats (siehe Abbildung 5-8). Mithilfe der Beispiele wird deutlich, dass durch die Aufgabenorientiertheit des Menü-Konzepts dem Benutzer nur diejenigen primären Menüfunktionen angeboten werden, die er für den jeweiligen Zustand benötigt. Dadurch kann die Komplexität reduziert und die Bedienung des Menüsystems erleichtert werden.

Mit den bisher beschriebenen zwei Ebenen des Menü-Konzepts kann die große Vielzahl der Funktionen eines Fahrerinformationssystems noch nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund sind die in den beiden Seitenmenüs (links und rechts) enthaltenen Funktionen teilweise erweiterbar ausgeführt und lassen sich weiter untergliedern.

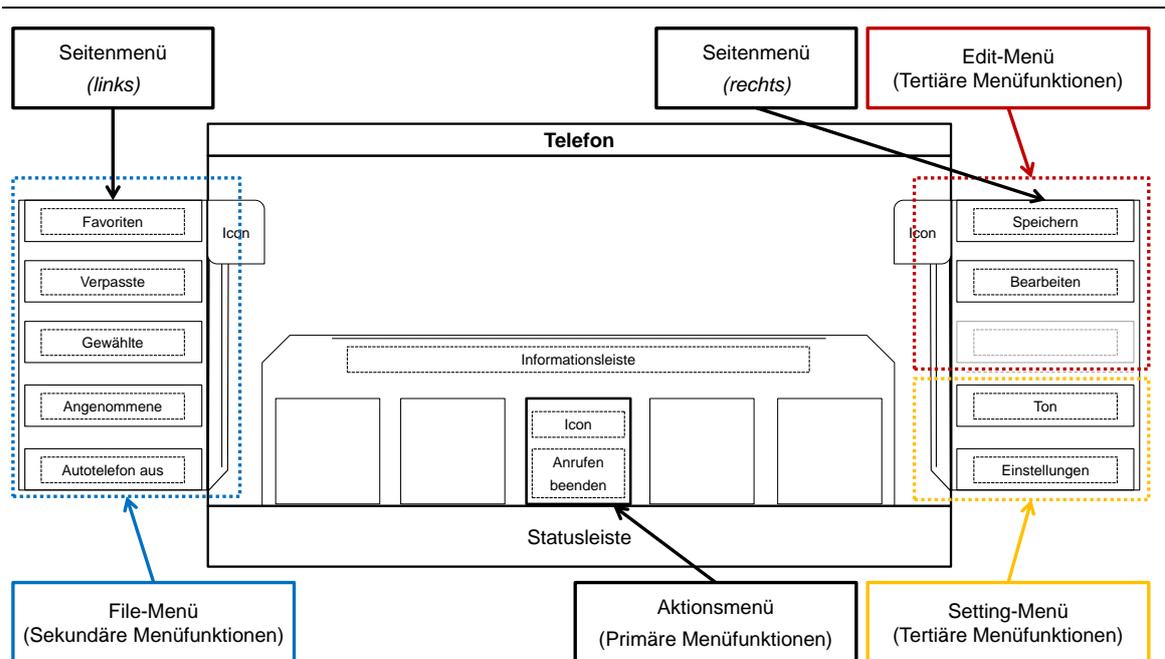


Abbildung 5-8: Das aufgabenorientierte Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) für den Zustand eines aktiven Anrufs

Enthält eine Funktion dabei maximal drei untergeordnete Auswahloptionen, wird diese als Radio-Button in Form eines Flip-Flop Schalters umgesetzt. Dies bedeutet, dass von den Auswahloptionen immer nur eine aktiv sein und der Benutzer diese durch Drücken weiterschalten kann. Da dieser Flip-Flop Schalter mit den auswählbaren Optionen direkt neben der übergeordneten Funktion angezeigt wird, entsteht dadurch keine weitere Menütiefe (siehe Abbildung 5-15).

Weist eine Funktion hingegen mehr als drei untergliederte Optionen auf, erfolgt die Umsetzung mithilfe eines Drop-Downs, das dem Nutzer durch einen nach unten weisenden Pfeils visuell angedeutet wird (siehe Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14). Dabei wird, nach dem Drücken der Funktion, diese animiert an die oberste Position im Seitenmenü verschoben und „aufgefächert“. Die untergeordneten Auswahloptionen werden dann in Form einer eingerückten Liste dargestellt, wodurch zusätzliche Menütiefe entsteht (siehe Abbildung 5-15). Als Beispiel ist hier die Funktion „Einstellungen“ im rechten Seitenmenü zu nennen, die als Drop-Down ausgeführt ist. Wählt der Nutzer diese Funktion aus, öffnet sich

diese animiert und bietet die untergeordneten weiteren Optionen (z.B. „Klingelton“ in der Hauptgruppe Telefon) in Form einer Liste an.

Enthalten die untergeordneten Optionen weitere Auswahlmöglichkeiten (wie in dem Beispiel die verschiedenen Klingeltöne), wiederholt sich deren Umsetzung als Flip-Flop Schalter oder Drop-Down nach dem vorgestellten Prinzip. Durch diese beiden Darstellungsformen wird versucht, die Menütiefe insgesamt auf maximal 3 Ebenen zu begrenzen, was bis auf wenige Ausnahmen gelingt.

Der beschriebene Aufbau und die Funktionsweise sind für das gesamte Menü-Konzept konsistent umgesetzt. Dadurch soll dem Nutzer im Zusammenspiel mit dem haptischen Touchpad die Erlernbarkeit und Bedienung des Menüsystems erleichtert werden. Damit dieses Menü-Konzept getestet und evaluiert werden kann, erfolgt im nächsten Abschnitt die kombinierte Vorstellung des entwickelten Display-Designs und der Umsetzung in einer Menü-Simulation.

5.3.2.2. Display-Design und Umsetzung in einer Menü-Simulation

Nach der Festlegung des endgültigen Menü-Konzepts wird in Zusammenarbeit mit einem Industriedesigner unter Beachtung software-ergonomischer Grundregeln die grafische Darstellung der verschiedenen Menüscreens auf dem Display entwickelt, designt und die einzelnen Grafik-Elemente erstellt. Mit deren Hilfe wird das entwickelte Menü-Konzept durch einen Programmierer in eine mit dem haptischen Touchpad bedienbare Menü-Simulation umgesetzt. Da eine Vorstellung der gesamten Menü-Simulation im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, wird in den nachfolgenden Abbildungen ein Teil davon beispielhaft veranschaulicht, der fast alle möglichen Menüsituationen repräsentiert. Auf die Vorgabe der AUDI AG hin sind dabei die integrierten Nutzerhinweise mit einem schwarzen Feld verdeckt und mit dem Wort „Icon“ beschriftet. Parallel dazu wird die Abbildung der jeweils verfügbaren Menüelemente auf dem haptischen Touchpad aufgezeigt. Hierbei sind die ausgefahrenen Haptik-Elemente schwarz ausgefüllt dargestellt.



Abbildung 5-9: Hauptmenüscreens mit acht Hauptgruppen und die zugehörige Darstellung der bedienbaren Elemente auf dem haptischen Touchpad

In Abbildung 5-9 ist das Hauptmenü mit den acht Hauptgruppen des Menü-Konzepts aufgezeigt, wie es dem Nutzer auf dem Display und auf dem haptischen Touchpad zu Beginn dargeboten wird. Berührt der Benutzer nun beispielsweise die Hauptgruppe Navigation (NAV) auf dem haptischen Touchpad, so verändert sich die Darstellung auf dem Bildschirm und dem Bedienelement aufgrund der Anzeige der sechs Favoritenfunktionen wie in Abbildung 5-10 veranschaulicht.



Abbildung 5-10: Hauptmenüscreens mit drei belegten und drei freien Plätzen für sechs mögliche Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Navigation (NAV)

Hierbei sind im aufgeführten Beispiel drei der sechs verfügbaren Plätze für Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Navigation (NAV) vom Nutzer belegt. Somit

kann beispielsweise die Heimatadresse auf oberster Menüebene mit nur einem Bedienschritt (Drücken der entsprechenden Taste auf dem haptischen Touchpad) als Navigationsziel eingegeben werden. Auf den restlichen drei Plätzen sind noch keine favorisierten Funktionen abgespeichert.

Möchte der Benutzer in die Hauptgruppe Telefon (TEL) wechseln und drückt hierzu die zugehörige Taste auf dem haptischen Touchpad, gelangt er in das Standardmenü (zweite Menüebene) dieser Hauptgruppe, das sich initial im Handschrifteingabemodus befindet (siehe Abbildung 5-11). Dort sind die danebenliegenden Hauptgruppen mit den Icon-Hinweisen in der linken und rechten oberen Ecke des Displays angedeutet. Durch das Schreiben von Buchstaben und Ziffern auf dem haptischen Touchpad, bei dem in diesem Zustand alle Haptik-Elemente eingefahren sind, kann die ausgegraut dargestellte Telefonliste gefiltert und zum gewünschten Eintrag gesprungen werden.

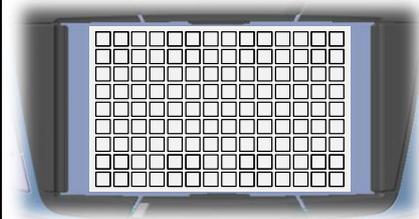


Abbildung 5-11: Standardmenüsreen (zweite Menüebene) der Hauptgruppe Telefon (TEL) im Handschrifteingabemodus

Zur Auswahl des Zieleintrags wird das Standardmenü durch Drücken des haptischen Touchpads an beliebiger Stelle in den in Abbildung 5-12 gezeigten Listenmodus versetzt. Hier kann der Nutzer einen der Listeneinträge, die nun auch auf dem haptischen Touchpad erfühlbar abgebildet sind, durch Drücken auswählen. Zudem ist das Scrollen in der Liste durch eine vertikale Zwei-Finger-Geste oder über die erfühlbaren Slider auf der linken und rechten Seite möglich.

Zur Rückkehr in den Handschrifteingabemodus ist das Drücken der Taste „Suchen“ auf dem haptischen Touchpad erforderlich.

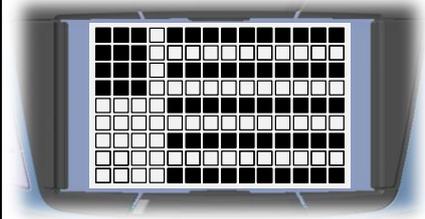


Abbildung 5-12: Standardmenüsreen (zweite Menüebene) der Hauptgruppe Telefon (TEL) im Listenmodus

Des Weiteren sind in diesem Standardmenüsreen auch die beiden Seitenmenüs auf der linken und rechten Seite des Displays und das Aktionsmenü am unteren Rand des Bildschirms grafisch angedeutet. Dort sind jeweils Nutzerhinweise angebracht, die dem Benutzer verdeutlichen, wie diese zu öffnen und bei ausgefahrenem Zustand (siehe Abbildung 5-13) wieder zu schließen sind.

Im linken Seitenmenü, das sowohl über eine horizontale Zwei-Finger-Geste von links nach rechts als auch über die linke Slidertaste ausgefahren werden kann, sind dabei fünf sekundäre Menüfunktionen als File-Menü integriert. Am in Abbildung 5-13 gezeigten Beispiel der Hauptgruppe Navigation (NAV) kann darüber die im Standardmenü zunächst komplette Zieleliste gefiltert, alternative Arten von Zielen gewählt oder eine Tour geplant werden. Dieses Seitenmenü beinhaltet zudem die zwei Drop-Down Funktionen „Sonderziele“ und „Online Ziele“, die durch Drücken des entsprechenden Elements auf dem haptischen Touchpads geöffnet werden können.

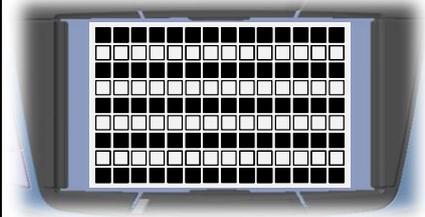


Abbildung 5-13: Linkes Seitenmenü (File-Menü) der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit zwei Drop-Down Funktionen (angedeutet durch den nach unten weisenden Pfeil)

Im Falle des rechten Seitenmenüs sind dem Nutzer fünf tertiäre Menüfunktionen zur Verfügung gestellt. Diese lassen sich in ein Edit-Menü und ein Setting-Menü aufgliedern, die durch eine horizontale Trennlinie voneinander abgehoben werden (siehe Abbildung 5-14). Mit den Funktionen des Edit-Menüs kann der Benutzer im abgebildeten Screen beispielsweise neu eingegebene Ziele abspeichern oder bereits vorhandene Ziele bearbeiten. Dabei weist die Drop-Down-Funktion „Bearbeiten“ weitere untergeordnete Optionen auf, wie zum Beispiel „Kopieren“, „Löschen“ oder „Als Favoritenfunktion speichern“.

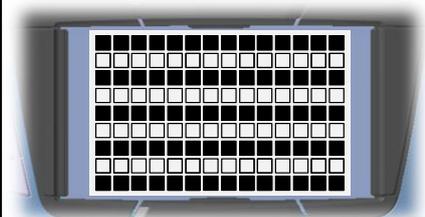


Abbildung 5-14: Rechtes Seitenmenü (Edit-Menü und Setting-Menü) der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit drei Drop-Down Funktionen und der Vernetzung zum Tone-Menü

Das Setting-Menü bietet in jeder der acht Hauptgruppen eine Verknüpfung zum Tone-Menü an, das damit universell von jeder Menüposition aus erreichbar ist. Für die Hauptgruppe Navigation (NAV) sind zudem die in Abbildung 5-14 zu sehenden beiden Drop-Down Funktionen angeboten, die navigationsbezogene Einstellungen ermöglichen.

Durch Drücken des untersten Elements auf dem haptischen Touchpads kann beispielhaft die Drop-Down Funktion „Routen-Einstellungen“ ausgewählt und geöffnet werden (siehe Abbildung 5-15). Dabei wird diese gewählte Funktion auf dem Display durch eine grafische Animation an die oberste Position verschoben und eine Liste mit den untergeordneten zugehörigen Optionen „aufgefächert“. Diese wird, wie in Abbildung 5-15 veranschaulicht, etwas eingerückt dargestellt. Im gezeigten Beispiel sind alle enthaltenen Unterfunktionen als Flip-Flop Schalter umgesetzt. Dabei ist der aktuelle Zustand mit einem Häkchen gekennzeichnet. Durch mehrfaches Drücken des entsprechenden Elements auf dem haptischen Touchpad können die einzelnen Zustände der Optionen der Reihe nach durchgeschaltet und der Gewünschte ausgewählt werden.

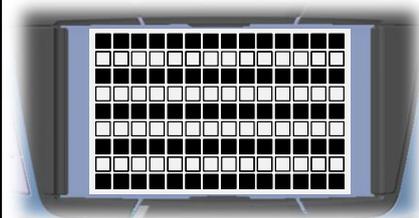


Abbildung 5-15: Rechtes Seitenmenü der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit geöffneter Drop-Down Funktion „Routen-Einstellungen“ und den untergeordneten als Flip-Flop Schalter umgesetzten Optionen

In Abbildung 5-16 ist beispielhaft das Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) für den Zustand eines ausgewählten Eintrages der Telefonliste (z.B. der

Kontakt „Zumba, Carina“) dargestellt. Dabei werden dem Nutzer aufgabenorientiert die fünf gezeigten Funktionen für diesen Eintrag zur Verfügung gestellt.



Abbildung 5-16: Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) mit fünf aufgabenorientiert angebotenen Funktionen bei einem ausgewähltem Listeneintrag (Zumba, Carina)

Wählt der Benutzer nun etwa die Funktion „Anrufen“ durch Drücken des zugehörigen Elements auf dem haptischen Touchpad aus, wird die telefonische Verbindung zu diesem Kontakt hergestellt. Daraufhin passt sich das Aktionsmenü an diesen neuen Systemzustand an und es wird nur noch die eine für diesen Zustand benötigte Funktion „Anrufen beenden“ auf dem Bildschirm und dem haptischen Touchpad angeboten (siehe Abbildung 5-17).



Abbildung 5-17: Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) mit einer aufgabenorientiert angebotenen Funktion bei aktivem Anruf

Zusätzlich zu den bisher beschriebenen und abgebildeten Menüsituationen im Hauptmenü und den Standardmenüs der acht Hauptgruppen finden im Equalizer des Tone-Menüs auch noch Slider Verwendung (siehe Abbildung 5-18).



Abbildung 5-18: Equalizer-Screen der Klangeinstellungen (Tone-Menü) mit als Slider ausgeführten Funktionen

Das Tone-Menü ist dabei von allen Hauptgruppen aus über die Funktion „Tone“ im rechten Seitenmenü erreichbar. Darin kann über das Aktionsmenü der Equalizer ausgewählt werden, dessen Umsetzung in Abbildung 5-18 zu sehen ist. Der Nutzer kann diese als Slider ausgeführten Funktionen über das haptische Touchpad bedienen. Bei der Berührung eines Elements erhält er eine haptische und eine visuelle (durch ein grafisches Highlight des entsprechenden Sliders auf dem Display) Rückmeldung. Durch das Drücken auf dem haptischen Touchpad wird dieser Slider aktiviert und der Regler kann durch Verschieben des Fingers auf der Touchpad-Oberfläche manipuliert werden. Dabei werden die übrigen drei Slider deaktiviert und auf dem Display ausgegraut dargestellt. Zur Bestätigung des eingestellten Wertes ist ein erneutes Drücken des haptischen Touchpads an beliebiger Stelle erforderlich.

Mithilfe des soeben vorgestellten Display-Designs und der erläuterten Umsetzung des entwickelten Menü-Konzepts in einer mit dem haptischen Touchpad bedienbaren Menü-Simulation kann das Gesamtbedienkonzept im Folgenden bewertet und evaluiert werden.

6. Evaluation des Gesamtbedienkonzepts zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems (FIS)

Das in Kapitel 5 entwickelte und beschriebene Menü-Konzept (Menüsystem), das im Display des Fahrzeugs angezeigt wird, bildet in Verbindung mit dem haptischen Touchpad (Bedienelement) das Gesamtbedienkonzept. Dieses wird nachfolgend auch als HTP-Bedienkonzept bezeichnet. Darüber kann der Nutzer das Fahrerinformationssystem und somit die Tertiärfunktionen des Fahrzeugs bedienen. Aufgrund der gewählten Vorgehensweise, der durchgeführten Untersuchungen und der während des kompletten Entwicklungsprozesses berücksichtigten theoretischen Grundregeln und Erkenntnisse sollte ein System hervorgegangen sein, das für den Nutzer auch in einer Dual-Task Situation möglichst einfach und ablenkungsminimiert handzuhaben ist. Zur Evaluation, ob das Gesamtbedienkonzept diese angestrebten Ziele erfüllt, erfolgt ein Vergleich mit einem in der Serie eingesetzten Fahrerinformationssystem in einer Fahrsimulatorstudie.

6.1. Vergleichssystem: Dreh-Drück-Steller (DDS) Serienbedienkonzept aus dem Audi A3

Als Vergleichssystem wird dabei das aktuelle Serienbedienkonzept des Audi A3 verwendet, das ebenfalls auf dem Prinzip der Trennung von Anzeige und Bedienung beruht. Hierbei ist das Bedienelement zum einen aus einem Dreh-Drück-Steller (DDS) aufgebaut, der in vertikaler Richtung drückbar und um die vertikale Achse drehbar ausgeführt ist (siehe Abbildung 6-1). Zudem ist auf dem DDS ein Touchpad integriert, womit der Nutzer einzelne Aufgaben erledigen kann, wie zum Beispiel eine Handschrifteingabe oder das Verschieben des Fadenkreuzes in der Navigationskarte. Dabei ist dieses Touchpad lediglich für eine Ein-Finger-Bedienung geeignet, weshalb damit keine Multitouch-Gesten möglich sind. Zum anderen sind um den Dreh-Drück-Steller herum vier sogenannte Softkeys angeordnet. Deren Belegung mit einer Funktion ändert sich in Abhängigkeit von der

jeweiligen Menüposition und wird dem Benutzer in den vier Ecken des Bildschirms vermittelt. Am in Abbildung 6-1 dargestellten Beispiel der Hauptgruppe Navigation sind die vier Softkeys des Bedienteils mit den Funktionen „Tour“, „Verkehr“, „Zielführung“ und „Einstellungen“ belegt. Des Weiteren weist das Bedienelement mehrere fest belegte Tasten auf. Unterhalb des DDS sind die Tasten „MENU“ und „BACK“ zu finden, über die aus jeder Menüposition zum Hauptmenü zurückgesprungen und einzelne durchgeführte Bedienschritte rückgängig gemacht werden können. Über die beiden Kipptaster in der linken und rechten oberen Ecke des Bedienelements ist zu jedem Zeitpunkt ein direkter Sprung zu den abgebildeten vier der insgesamt sieben Hauptgruppen möglich.



Abbildung 6-1: Menüscreen der Hauptgruppe Navigation (Audi, 2013) und Bedienelement (Auto Zeitung, 2013) des Dreh-Drück-Steller (DDS) Serienbedienkonzepts aus dem aktuellen Audi A3

Das Hauptelement zur Bedienung stellt der Dreh-Drück-Steller dar, über den die An- und Auswahl aller Funktionen erfolgt, die im Zentralbereich des Displays angeboten werden. Diese Funktionen werden in Anpassung an den DDS auf dem Bildschirm oftmals in Form einer Ellipse angeordnet. Als Beispiel dienen das Hauptmenü mit den sieben Hauptgruppen sowie der in Abbildung 6-1 veranschaulichte Menüscreen der Hauptgruppe Navigation für die Funktion „Zielführung“. Zudem begegnen dem Benutzer sehr häufig Listenanordnungen von Funktionen, wie beispielsweise in der „Letzte Ziele“-Liste oder der Radiosenderliste.

Auf eine noch detailliertere Beschreibung dieses Serienbedienkonzepts wird an dieser Stelle verzichtet, weil es im aktuellen Audi A3 genauer inspiziert werden kann und für jedermann verfügbar ist. Da dieses Fahrerinformationssystem im Hinblick auf Bedienqualität und Ablenkungswirkung, zusammen mit den Systemen von BMW und Mercedes, momentan den Benchmark darstellt, wird es zur Evaluation des in dieser Arbeit entwickelten HTP-Bedienkonzeptes als Vergleichssystem herangezogen.

6.2. Fahrsimulatorstudie – Evaluation des Gesamtbedienkonzepts

Hierzu erfolgt in diesem Abschnitt die Durchführung einer Evaluationsstudie im Fahrsimulator, mit der die nachfolgende zentrale Fragestellung geklärt werden soll:

Wie schneidet das HTP-Gesamtbedienkonzept im Vergleich zu einem DDS-Serienbedienkonzept für den Fall einer Dual-Task Situation ab?

Zur Klärung dieser Fragestellung werden die beiden Systeme im Hinblick auf die Bediendauer, die Blickabwendung und die Fahrqualität für eine Bedienung während der Fahrt objektiv miteinander verglichen. Zudem erfolgt eine subjektive Bewertung des HTP-Gesamtbedienkonzepts und des DDS-Serienbedienkonzepts durch die Probanden.

6.2.1. Hypothesen

Aufgrund des deutlich höheren Entwicklungsstandes stellt das DDS-Serienbedienkonzept aus dem Audi A3 eine hohe Messlatte für das prototypische HTP-Gesamtbedienkonzept dar. Da dieses aber die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug zur Bedienung der Tertiärfunktionen verbessern soll, besteht das Ziel dennoch darin, mindestens gleich gute Ergebnisse wie das Vergleichssystem zu erreichen. Daher werden für die Evaluationsstudie im Fahrsimulator die nachfolgenden zu untersuchenden Hypothesen aufgestellt:

3-H1. Das HTP-Gesamtbedienkonzept verursacht identische oder kürzere Menü-Bedienzeiten wie das DDS-Serienbedienkonzept.

- 3-H2.** Die Blickablenkung bei der Verwendung des HTP-Gesamtbedienkonzepts ist genauso gering oder geringer als beim DDS-Serienbedienkonzept.
- 3-H3.** Das HTP-Gesamtbedienkonzept führt zu mindestens gleichwertigen Fahrleistungen wie das DDS-Serienbedienkonzept.
- 3-H4.** Die subjektive Bewertung des HTP-Gesamtbedienkonzepts durch die Versuchspersonen liefert vergleichbare oder bessere Ergebnisse wie für das DDS-Serienbedienkonzept.

6.2.2. Studiendesign

Zur Beurteilung der soeben vorgestellten Hypothesen erfolgt die Durchführung einer Evaluationsstudie im Fahrsimulator, deren Studiendesign im Folgenden detaillierter dargelegt wird.

6.2.2.1. Probandenkollektiv

Für die Fahrsimulatorstudie zur Evaluation des HTP-Gesamtbedienkonzepts wird ein „within-subject“ Design gewählt. Die Gesamtheit der Probanden verwendet, getestet und bewertet also sowohl das prototypische Bedienkonzept als auch das DDS-Serienbedienkonzept (Field, 2013). Hierbei setzt sich die abhängige Stichprobe aus 33 Versuchspersonen (8 Frauen; 25 Männer; Altersdurchschnitt $\bar{\varnothing}_A = 31,0$ Jahre; Standardabweichung $StAbw_A = 6,3$ Jahre) zusammen.

6.2.2.2. Fahraufgabe

Die Erzeugung der Fahraufgabe erfolgt mithilfe des statischen Fahrsimulators der AUDI AG in Ingolstadt, der in Abschnitt 4.4.2.2 bereits genauer beschrieben ist. Darin führen alle Versuchspersonen die Fahraufgabe aus, bei der sie einem auf der rechten Fahrspur einer dreispurigen Autobahn vorausfahrenden Fahrzeug folgen sollen. Dabei weist dieses Fahrzeug, dem in einem Abstand von ca. 60 Metern hinterhergefahren werden soll, eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 90 km/h auf. Der genannte Abstand ist bei zeitgleicher Ausführung der Menübedienungsaufgaben ohne die Verwendung von technischen Hilfsmitteln, wie z.B. Tempomat oder ACC-Funktion, konstant zu halten. Zudem stellt die Beachtung der seitlichen

Spurführung eine weitere wichtige Komponente der Fahraufgabe dar. Um die Fahraufgabe realitätsnah zu gestalten, werden weitere Fahrzeuge in die Simulation integriert, die in zufälligen Zeitabständen Überholvorgänge auf der mittleren oder linken Fahrspur der Autobahn vornehmen.

Zudem werden die Probanden darauf hingewiesen, dass die Fahraufgabe trotz der ungefährlichen Fahrsumulatorumgebung die primäre Hauptaufgabe ist und ein realitätsgetreues Fahrverhalten an den Tag gelegt werden soll.

6.2.2.3. Menübedienungsaufgaben

Parallel zur erläuterten Fahraufgabe müssen die Versuchspersonen die nachfolgend aufgeführten sechs Menübedienungsaufgaben bzw. Usecases mithilfe der beiden Vergleichssysteme bewältigen. Die einzelnen Bedienschritte zur Erfüllung der verschiedenen Usecases sind dabei dem Studienleitfaden (siehe Anhang E:) zu entnehmen. An dieser Stelle ist das jeweilige Szenario der Usecases beschrieben:

3-A1. Usecase 1

„Sie wollen wissen, wo Sie sich gerade mit Ihrem Auto befinden und starten daher die Map-Ansicht. Sie wollen einen Freund besuchen. Spontan suchen Sie den Ort im Adressbuch, um dorthin zu fahren.“

3-A2. Usecase 2

„Sie möchten Platz im Adressbuch schaffen und löschen daher einen Kontakt. Dann fällt Ihnen ein, dass Sie einen Freund anrufen wollten. Spontan suchen Sie ihn im Adressbuch und rufen ihn an.“

3-A3. Usecase 3

„Sie fahren von der Arbeit in Ingolstadt heim und würden gerne etwas zu Essen mitnehmen. Im Umkreis sind einige Restaurants. Daher möchten sie ein nahegelegenes Restaurant aufsuchen.“

3-A4. Usecase 4

„Sie wollen im Radio ein anderes Frequenzband hören sowie den Verkehrsfunk ändern und stellen dies ein. Zudem stört Sie der Klang der Bässe. Daher ändern Sie diese im Anschluss.“

3-A5. Usecase 5

„Sie hören Musik beim Fahren. Der nächste Song ist Ihr Lieblingssong. Also starten Sie ihn. Da ihr Sitz verstellt ist, wechseln Sie in das CAR-Menü. Dort fällt Ihnen jedoch ein, dass Sie noch einen kurz zuvor verpassten Anrufer zurückrufen wollten. Daraufhin rufen Sie ihn spontan zurück.“

3-A6. Usecase 6

„Sie wollen schnell heim fahren und starten die Zielführung nach Hause. Allerdings stören Sie die Farben der NAV-Karte. Daraufhin stellen Sie ihre Kartenfarben neu ein.“

Diese Usecases mit den dafür benötigten Bedienschritten sind dabei so konzipiert, dass zu ihrer erfolgreichen Ausführung sämtliche Bestandteile des entwickelten Menü-Konzepts und alle Interaktionsarten des haptischen Touchpads verwendet werden müssen. Dadurch erfolgt in Summe ein ganzheitlicher Vergleich des HTP-Gesamtbedienkonzepts mit dem DDS-Serienbedienkonzept.

Hierfür werden die zwei Vergleichssysteme parallel im Fahrsimulator integriert. Die beiden Bedienelemente werden jeweils auf der Mittelkonsole angebracht und können einfach ausgetauscht werden. Die Anzeige der Menüsysteme erfolgt auf dem Mitteldisplay. Dazu kann über einen Schalter zwischen den beiden Menüsystemen gewechselt werden.

6.2.2.4. Datenerhebung

Parallel zur simultanen Bewältigung der Usecases und der Fahraufgabe erfolgt die Erhebung von objektiven (Bedien-, Blick- und Fahrdaten) Daten.

Hierbei wird die Bedienqualität über die Zeitdauer, die zur Ausführung der Menübedienungsaufgaben anfällt, objektiv ermittelt. Die Zeitnahme erfolgt durch den Versuchsleiter, der bei dem verbalen Startsignal „JETZT“ für den Probanden die Aufnahme startet und diese bei Erledigung des letzten Bedienschritts wieder stoppt. Das Speichern dieser Bediendauer übernimmt das System „Dikablis“. Die Güte der Bedienung wird also über den folgenden Kennwert erhoben:

- Bediendaten:
 - Bediendauer

Zur Ermittlung der Blickdaten bzw. der Blickablenkung wird das System „Dikablis“ (Lange et al., 2006) verwendet, das in Abschnitt 3.3.2.4 genauer beschrieben ist. Die AOIs sind in dieser Fahrsimulatorstudie auf das Display und das aktuell verwendete Bedienelement in der Mittelkonsole festgelegt. Aus dem aufgezeichneten Blickverhalten leiten sich die folgenden fünf Kennwerte für die Ablenkung von der primären Fahraufgabe ab:

- Aggregierte Blickdaten:
 - Kumulierte Blickdauer auf AOIs
 - Anzahl der Blicke auf AOIs
 - Verkehrsblindheitsquotient
- Einzelblickdaten:
 - Maximale Blickdauer auf AOIs
 - Mittlere Blickdauer auf AOIs

Die Aufzeichnung und Speicherung der verschiedenen Kennwerte für die Fahrdaten erfolgt direkt über die Simulator-Software. Mithilfe dieser nachfolgend aufgelisteten Kennwerte wird die Fahrqualität bei der Verwendung der beiden Vergleichssysteme eines Fahrerinformationssystems bewertet:

- Longitudinale Fahrdaten:
 - Standardabweichung der Geschwindigkeit
 - Standardabweichung der Gaspedalstellung
 - Standardabweichung des Abstands zum Vordermann

- Laterale Fahrdaten:
 - Spurübertretungen
 - Standardabweichung des Lenkwinkels
 - Standardabweichung der Distance-To-Line

Die Aufzeichnung aller aufgeführten objektiven Versuchsdaten wird über das Blickerfassungssystem „Dikablis“ synchronisiert.

Des Weiteren erfolgt eine subjektive Bewertung des HTP-Gesamtbedienkonzepts und des DDS-Serienbedienkonzepts durch die Probanden. Diese Einschätzung wird zum einen jeweils nach der Ausführung eines Usecases mit einem der beiden Vergleichssysteme vorgenommen. Hierfür bewerten die Versuchspersonen zwei Aussagen bezüglich der Einfachheit der Bedienung („Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.“) und der Struktur des Menüsystems („Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.“) mithilfe einer fünf-stufigen Likert-Skala. Zum anderen erfolgt im Anschluss an die Erledigung aller sechs Usecases mit einem System eine Gesamtbewertung des soeben bedienten Fahrerinformationssystems. Dazu werden den Probanden jeweils der ISONORM 10 Fragebogen (DIN EN ISO 9241-110) und der MiniAttrakdiff 2 Fragebogen (Hassenzahl et al., 2003) zum Ausfüllen vorgelegt. Abschließend sollen die Versuchspersonen in einer Rangordnung angeben, ob sie das HTP-Gesamtbedienkonzept oder das DDS-Serienbedienkonzept favorisieren.

6.2.3. Durchführung

An dieser Fahrsimulatorstudie nehmen ausnahmslos Versuchspersonen teil, die bereits Vorerfahrungen mit statischen Fahrsimulatoren aufweisen. Damit soll eine eventuell erhöhte Ausfallquote aufgrund von möglicher „Simulator-Sickness“ vermieden werden. Der genaue Ablauf der durchgeführten Studie ist in Abbildung 6-2 schematisch dargestellt.

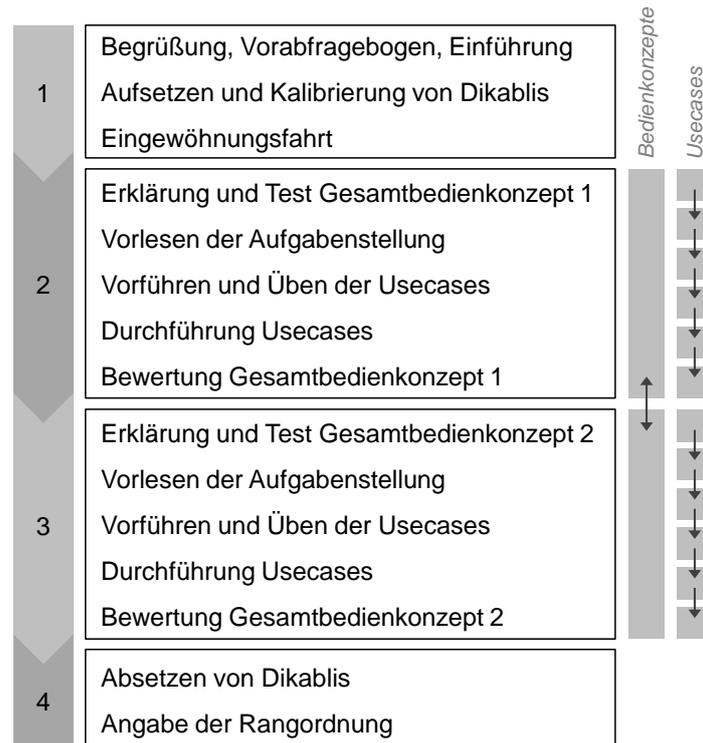


Abbildung 6-2: Versuchsablauf der durchgeführten Fahrsimulatorstudie zur Evaluation des entwickelten Gesamtbienkonzepts

Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter und dem Ausfüllen eines allgemeinen Vorabfragebogens wird der Proband zum Mockup des Fahrsimulators geführt, wo er sich auf den Fahrerplatz setzt. Dort erfolgt zunächst die Einstellung des Sitzes sowie aller Fahrzeug-Spiegel und die Versuchsperson schnallt sich an. In einem nächsten Schritt bekommt der Proband eine kurze Einführung zur Funktionsweise des Fahrsimulators und zur Thematik sowie zum Ablauf und Inhalt der Studie. Daraufhin erfolgt das Aufsetzen und Kalibrieren des Blickerfassungssystems „Dikablis“ sowie das Ausführen einer Eingewöhnungsfahrt, bei der auch die beschriebene Fahraufgabe geübt wird.

Im Anschluss daran wird im eigentlichen Hauptteil der Studie das erste Gesamtbienkonzept vom Versuchsleiter erklärt und vom Probanden zunächst im Stand getestet. Dann fährt die Versuchsperson los und der Versuchsleiter verliest das Szenario und die genaue Aufgabenstellung des ersten Usecases. Nun führt der Versuchsleiter die Abarbeitung der ersten Menübedienungsaufgabe vor. Dann

trainiert der Proband die soeben vorgeführte Abfolge an Bedienschritten in einem Übungsdurchgang. Daraufhin wird der eigentliche Messdurchgang gestartet. Hierfür stellt die Versuchsperson einen Abstand von ca. 60 Metern bei einer Geschwindigkeit von ca. 90 km/h möglichst genau ein, damit der Versuchsleiter die Aufzeichnung der Kenndaten aktivieren kann. Passen diese Größen der Fahraufgabe, gibt der Versuchsleiter mit dem Wort „JETZT“ das Startsignal für den Probanden zur Erledigung des Usecases und startet zugleich die Datenaufzeichnung. Mit Beendigung des letzten Bedienschritts des Usecases wird die Aufzeichnung durch den Versuchsleiter gestoppt und die gemessenen Daten werden automatisch abgespeichert. Im nächsten Schritt bewertet die Versuchsperson die beiden Aussagen zur Einfachheit der Bedienung und der Struktur des Menüsystems für den bewältigten Usecase. Dieses Vorgehen wird für die restlichen fünf Usecases in exakt gleicher Weise wiederholt. Nach der Durchführung aller sechs Usecases erfolgt die subjektive Bewertung des aktuell verwendeten Gesamtbedienkonzepts anhand des ISONORM 10 Fragebogens und des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens.

Dieser beschriebene Ablauf wird für das zweite Gesamtbedienkonzept erneut durchlaufen. Abschließend erfolgen das Absetzen des Blickerfassungssystems „Dikablis“ und die Angabe der Rangordnung für die beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte.

Zwischen den einzelnen Versuchspersonen wird die Reihenfolge der Gesamtbedienkonzepte permutiert, damit Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden können. Die Abfolge der sechs Usecases bleibt jedoch unverändert, da diese ohnehin vor dem Messdurchgang vorgeführt und geübt werden. Das erläuterte Permutationsverfahren ist in Abbildung 6-2 auf der rechten Seite veranschaulicht.

6.2.4. Auswertung und Ergebnisse

Die aus der beschriebenen Evaluationsstudie ermittelten Daten für die beiden Gesamtbedienkonzepte werden mittels t-Tests bei gepaarten Stichproben (Field, 2013) statistisch ausgewertet. Das Signifikanzniveau beträgt dabei 0,05. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Vergleichssystemen besteht für ei-

nen der gemessenen Kennwerte also genau dann, wenn der Signifikanzwert p den Wert 0,05 unterschreitet. Bei Field (2013) ist eine genaue Erläuterung der verwendeten statistischen Methoden und Werte zu finden.

Für die Auswertung der objektiven Kennwerte können aufgrund eines aufgetretenen technischen Defekts bei der Datenaufzeichnung die Daten von einem Probanden nicht herangezogen werden. Aus diesem Grund liegt für die objektiven Daten eine Stichprobengröße $n = 32$ und demzufolge eine Anzahl der Freiheitsgrade $df = 31$ vor.

In den nächsten Abschnitten werden die aus der Evaluationsstudie gewonnenen Ergebnisse für den Vergleich des HTP-Gesamtbedienkonzepts mit dem DDS-Serienbedienkonzept präsentiert.

6.2.4.1. Bediendaten

Für den Kennwert Bediendauer zeigt sich im Falle von Usecase 1 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden verglichenen Systemen (siehe Tabelle 6-1 und Abbildung 6-3). Im Hinblick auf die Usecases 2, 3 und 6 liefert das HTP-Gesamtbedienkonzept signifikant kürzere Bedienzeiten im Vergleich zum DDS-Serienkonzept. Hierbei liegt, gemäß der Einteilung der Effektstärke nach Field (2013), für den Usecase 2 ein mittlerer Effekt ($0,30 \leq r < 0,50$) und für die Usecases 3 und 6 jeweils ein großer Effekt ($r \geq 0,50$) vor. Im Gegensatz dazu weist die Bediendauer im Falle der Usecases 4 und 5 signifikant kürzere Werte für die Verwendung des DDS-Serienbedienkonzepts mit einer jeweils großen Effektstärke ($r \geq 0,50$) auf.

Tabelle 6-1: Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer

HTP - DDS	Bediendauer			
	<i>df</i>	<i>T</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
Usecase 1	31	-0,85	,402	,15
Usecase 2	31	-2,21	,035	,37
Usecase 3	31	-5,07	<,001	,67
Usecase 4	31	7,77	<,001	,81
Usecase 5	31	20,63	<,001	,97
Usecase 6	31	-3,50	,001	,53

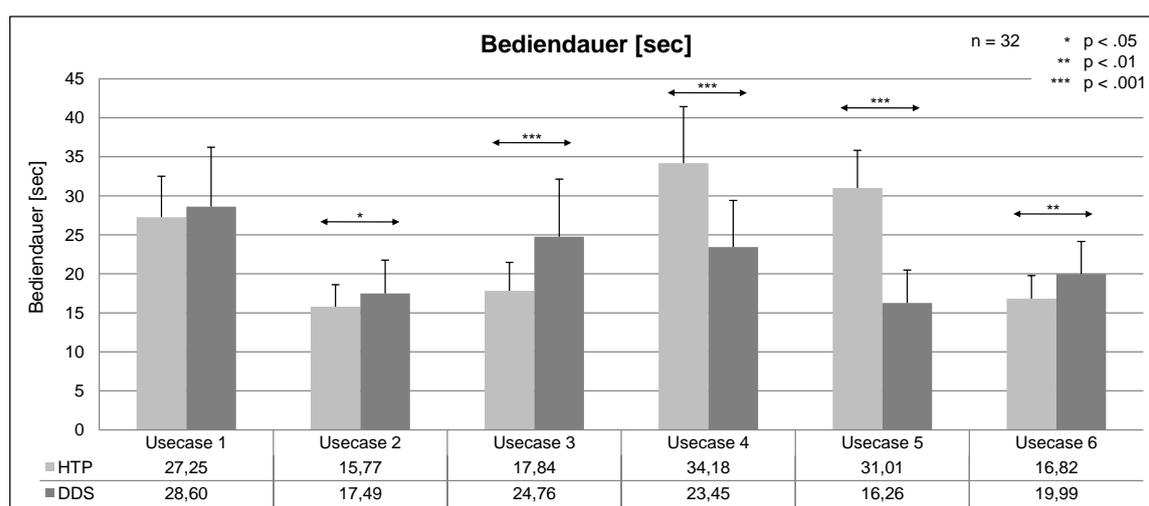


Abbildung 6-3: Bediendauer der Probanden zur Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte

Folglich kann Hypothese 3-H1, dass das HTP-Gesamtbedienkonzept identische oder kürzere Menü-Bedienzeiten wie das DDS-Serienkonzept verursacht, lediglich für die Usecases 1, 2, 3 und 6 bestätigt werden. Ganzheitlich gesehen muss diese Hypothese jedoch aufgrund der Ergebnisse für die Usecases 4 und 5 abgelehnt werden.

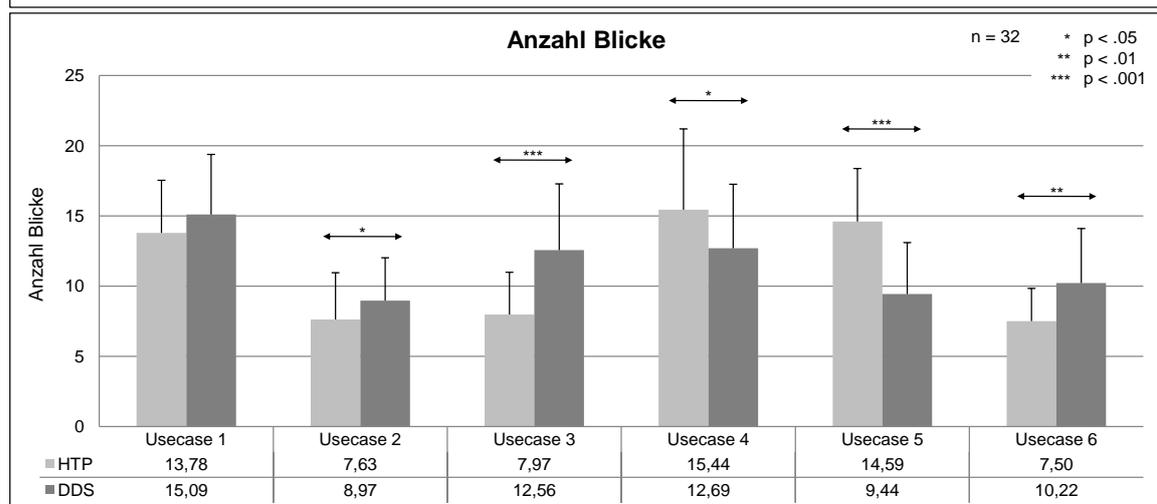
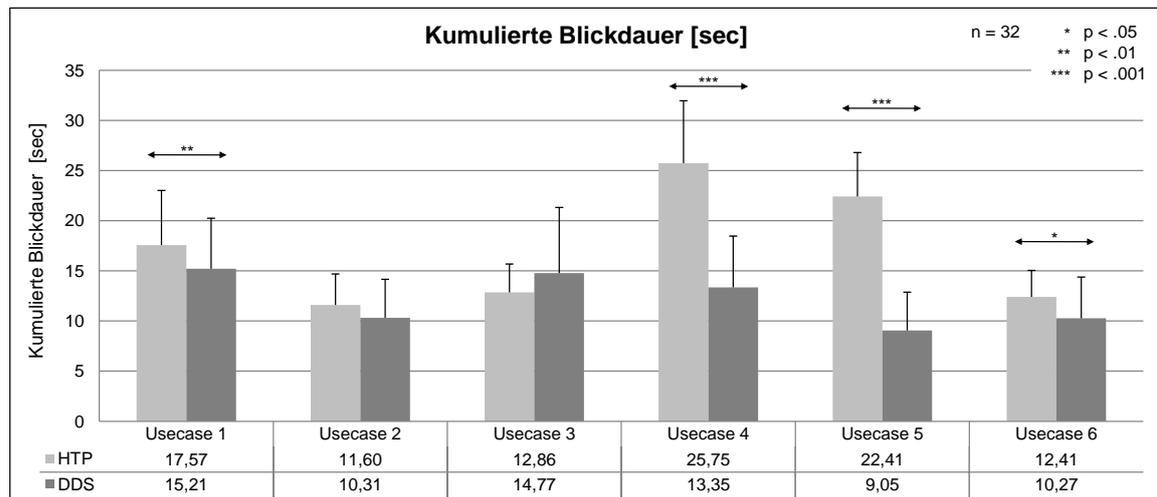
6.2.4.2. Blickdaten

Hinsichtlich der aggregierten Blickdaten zeigen sich für den Kennwert „Kumulierte Blickdauer“ in vier der insgesamt sechs Usecases signifikant schlechtere Ergebnisse für das HTP-Gesamtbedienkonzept. Für die Usecases 1 und 6 liegt dabei ein mittlerer Effekt ($0,30 \leq r < 0,50$) vor, während die Usecases 4 und 5 eine große Effektstärke ($r \geq 0,50$) aufweisen (siehe Tabelle 6-2 und Abbildung 6-4). Bei den Usecases 2 und 3 ist für diesen Kennwert kein statistisch signifikanter Unterschied feststellbar. Für die „Anzahl der Blicke“ ergeben sich folgende Resultate: Im Falle der Usecases 2, 3 und 6 schneidet das HTP-Gesamtbedienkonzept signifikant besser ab, wobei der Usecase 2 einen mittleren Effekt und die Usecases 3 und 6 jeweils einen großen Effekt aufzeigen. Hingegen werden im Falle der Usecases 4 und 5 bei der Verwendung des DDS-Serienkonzepts signifikant weniger Blicke auf die AOs benötigt. Hier liegt eine mittlere und eine große

Effektstärke vor (siehe Tabelle 6-2). Für den Usecase 1 zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Vergleichssystemen. Der Kennwert „Verkehrsblindheitsquotient“ liefert für das HTP-Gesamtbedienkonzept in allen sechs durchgeführten Usecases signifikant schlechtere Resultate, die jeweils einen großen Effekt ($r \geq 0,50$) darlegen.

Tabelle 6-2: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten

HTP - DDS	Kum. Blickdauer				Anzahl Blicke				Verkehrsblindheitsquotient			
	df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
Usecase 1	31	2,81	,009	,45	31	-1,58	,124	,27	31	3,77	<,001	,56
Usecase 2	31	1,88	,069	,32	31	-2,26	,031	,38	31	4,71	<,001	,65
Usecase 3	31	-1,66	,107	,29	31	-6,04	<,001	,74	31	5,46	<,001	,70
Usecase 4	31	11,90	<,001	,91	31	2,35	,025	,39	31	5,64	<,001	,71
Usecase 5	31	21,45	<,001	,97	31	6,03	<,001	,73	31	6,53	<,001	,76
Usecase 6	31	2,72	,011	,44	31	-3,52	,001	,53	31	8,21	<,001	,83



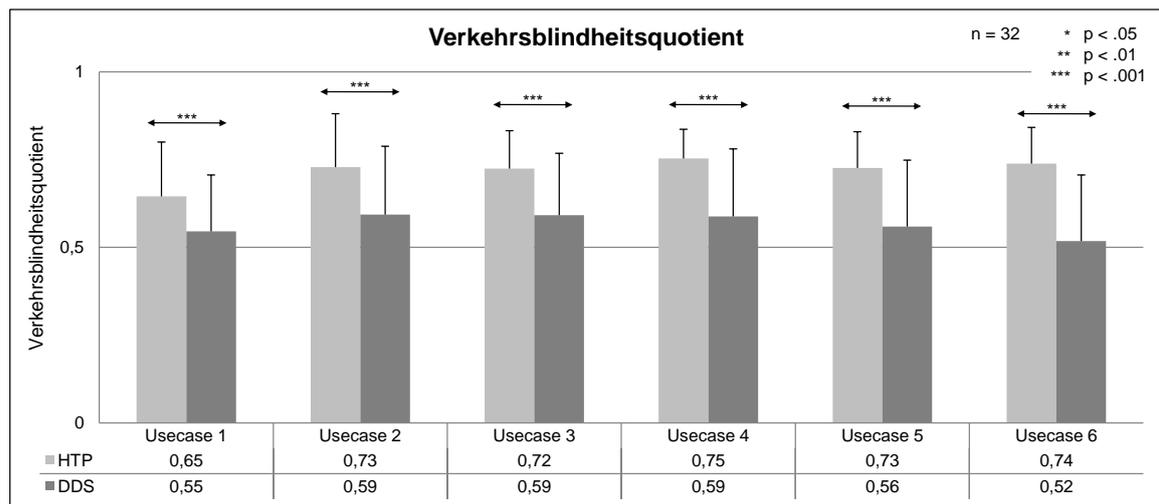


Abbildung 6-4: Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der sechs Usecases

Die Analyse der Einzelblickdaten ergibt für den Kennwert „Maximale Blickdauer“ in fünf der sechs Usecases signifikant kürzere Werte für das DDS-Serienkonzept. Hierbei liegt jeweils eine große Effektstärke vor (siehe Tabelle 6-3 und Abbildung 6-5). Nur bei Usecase 1 ist für diesen Kennwert kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Vergleichssystemen vorhanden. Die „Mittlere Blickdauer“ liefert bei der Verwendung des HTP-Gesamtbedienkonzepts in allen sechs Usecases signifikant längere gemittelte Blickzeiten auf die AOIs. Mit Ausnahme des Usecases 1 (mittlerer Effekt) ist bei allen übrigen Usecases ein großer Effekt festzustellen.

Tabelle 6-3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten

HTP - DDS	Max. Blickdauer				Mittlere Blickdauer			
	df	T	p	r	df	T	p	r
Usecase 1	31	1,77	,087	,30	31	2,69	,011	,44
Usecase 2	31	3,48	,002	,53	31	3,99	<,001	,58
Usecase 3	31	3,68	<,001	,55	31	3,75	<,001	,56
Usecase 4	31	5,81	<,001	,72	31	5,10	<,001	,68
Usecase 5	31	6,52	<,001	,76	31	7,22	<,001	,79
Usecase 6	31	6,29	<,001	,75	31	5,89	<,001	,73

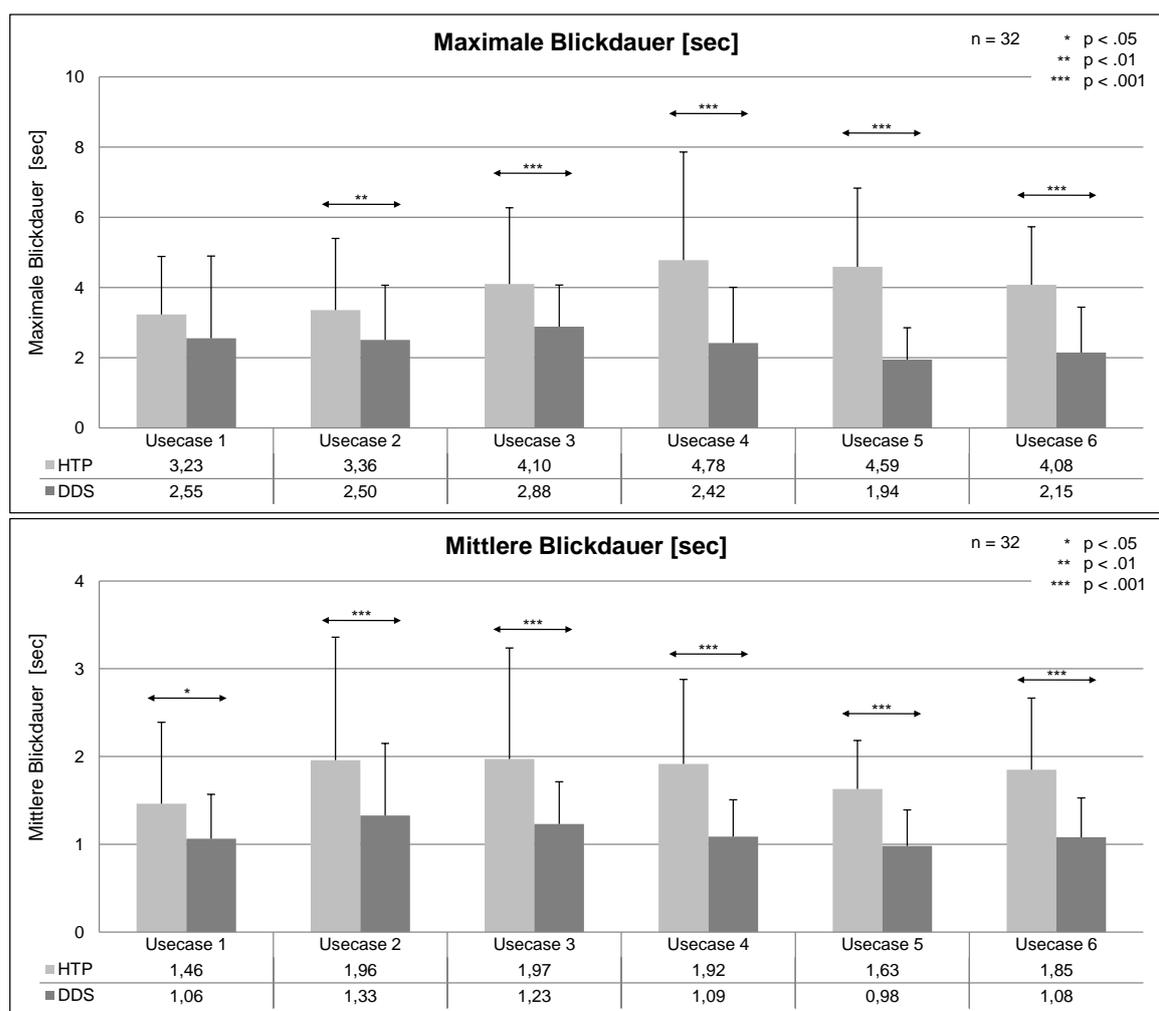


Abbildung 6-5: Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOIs während der Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte

Die Betrachtung der Blickdaten aus der durchgeführten Evaluationsstudie zeigt einen klaren Vorteil für das DDS-Serienbedienkonzept im Vergleich zum HTP-Gesamtbedienkonzept auf. Aufgrund dieses Ergebnisses kann die Hypothese 3-H2 nicht verifiziert werden.

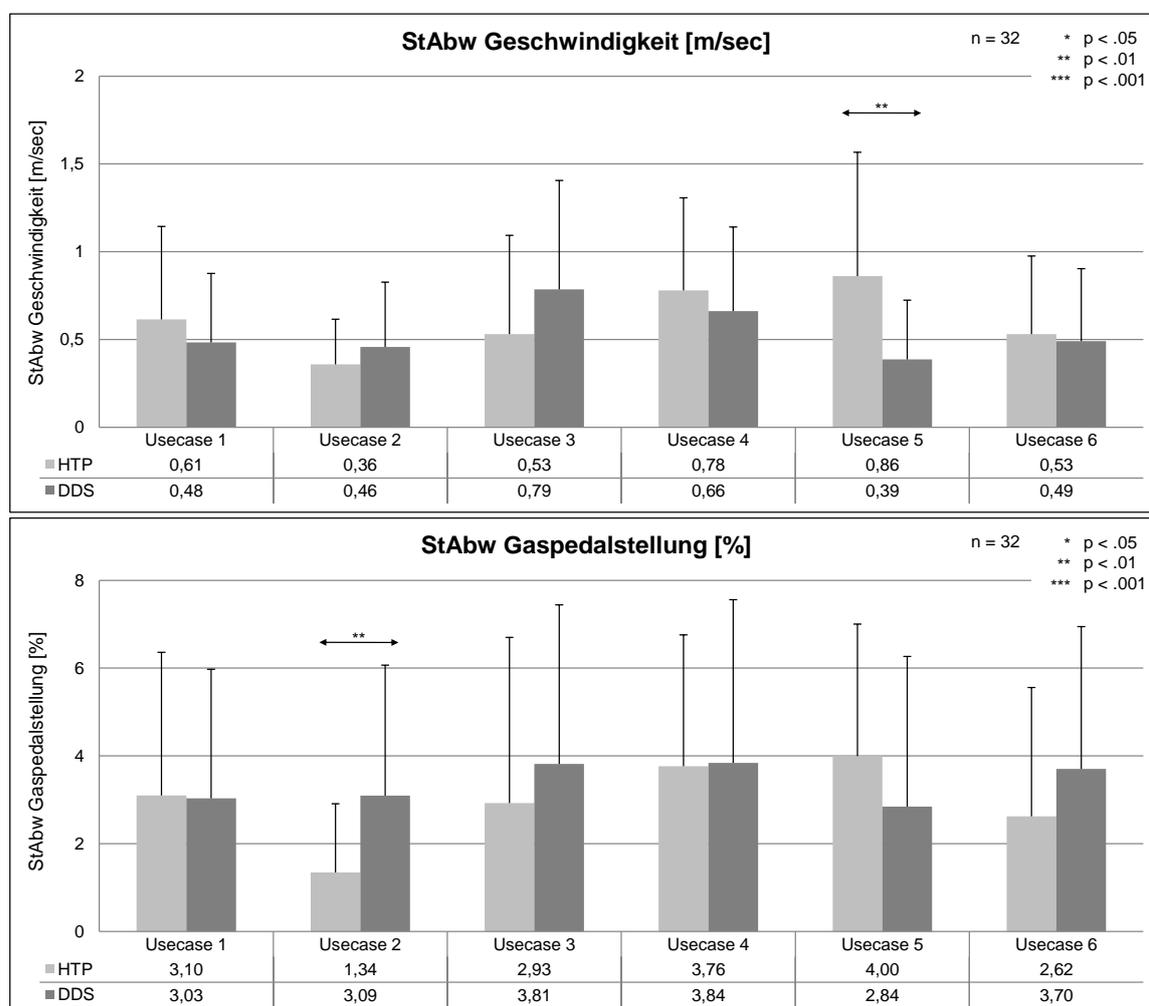
6.2.4.3. Fahrdaten

Im Hinblick auf die longitudinalen Fahrdaten führt der Vergleich der beiden Systeme für die Kennwerte „StAbw Geschwindigkeit“ und „StAbw Abstand zum Vordermann“ in fünf der insgesamt sechs Usecases zu keinen statistisch signifikant-

ten Unterschieden. Lediglich der Usecase 5 fällt für die zwei genannten Kennwerte signifikant zugunsten des DDS-Serienbedienkonzepts aus. Dabei liegt eine große ($r \geq 0,50$) und ein mittlere ($0,30 \leq r < 0,50$) Effektstärke vor (siehe Tabelle 6-4 und Abbildung 6-6).

Tabelle 6-4: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen Fahrdaten

HTP - DDS	StAbw Geschwindigkeit				StAbw Gaspedalstellung				StAbw Abstand zum Vordermann			
	df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
Usecase 1	31	1,15	,260	,20	31	0,10	,921	,02	31	0,55	,585	,10
Usecase 2	31	-1,38	,179	,24	31	-3,13	,004	,49	31	0,83	,413	,15
Usecase 3	31	-1,78	,085	,30	31	-1,13	,269	,20	31	-1,40	,171	,24
Usecase 4	31	1,02	,317	,18	31	-0,11	,916	,02	31	0,78	,443	,14
Usecase 5	31	3,40	,002	,52	31	1,38	,178	,24	31	3,04	,005	,48
Usecase 6	31	0,62	,542	,11	31	-1,63	,112	,28	31	-0,35	,732	,06



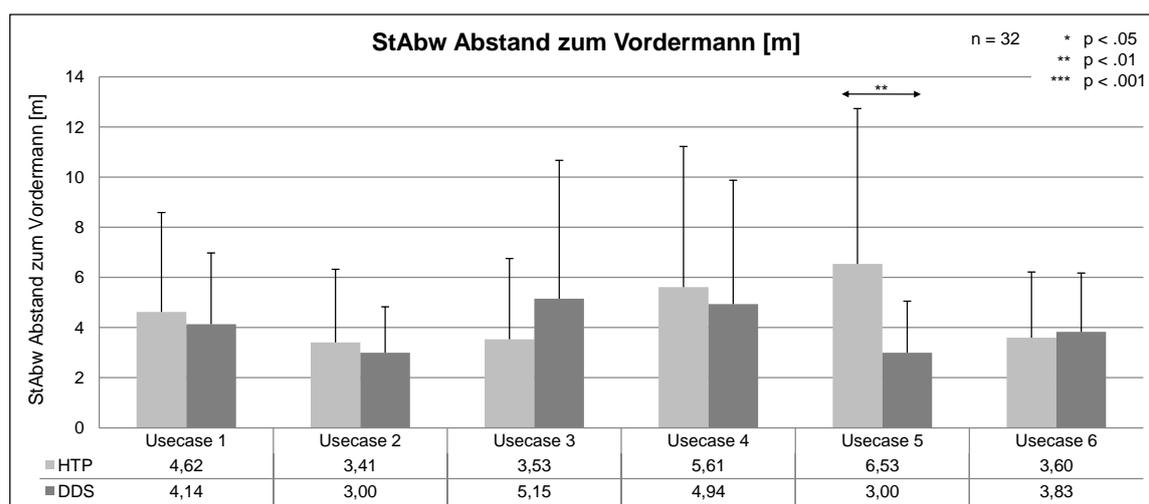


Abbildung 6-6: StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Abstand zum Vordermann während der Erledigung der sechs Usecases

Für den Kennwert „StAbw Gaspedalstellung“ besteht ebenfalls in fünf Usecases kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Vergleichssystemen. Hier liefert im Fall von Usecase 2 das HTP-Gesamtbedienkonzept das signifikant bessere Resultat mit einem mittleren Effekt ab.

Bei den lateralen Fahrdaten zeigen sich folgende Ergebnisse. Für die Anzahl der „Spurübertretungen“ ergeben sich bei den Usecases 4 und 6 signifikant bessere Werte für die Verwendung des DDS-Serienbedienkonzepts. Diese Resultate weisen eine große und eine mittlere Effektstärke auf (siehe Tabelle 6-5 und Abbildung 6-7). Anhand der übrigen vier Usecases lässt sich für diesen Kennwert kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den verglichenen Systemen ermitteln.

Tabelle 6-5: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der lateralen Fahrdaten

HTP - DDS	Spurübertretungen				StAbw Lenkwinkel				StAbw Distance-To-Line			
	df	T	p	r	df	T	p	r	df	T	p	r
Usecase 1	31	0,52	,609	,09	31	0,65	,521	,12	31	0,75	,457	,13
Usecase 2	31	0,90	,374	,16	31	0,14	,888	,03	31	0,48	,635	,09
Usecase 3	31	-0,42	,677	,08	31	-0,07	,947	,01	31	1,08	,287	,19
Usecase 4	31	4,46	<,001	,63	31	1,75	,091	,30	31	6,08	<,001	,74
Usecase 5	31	1,50	,143	,26	31	0,36	,724	,06	31	3,50	,001	,53
Usecase 6	31	2,18	,037	,36	31	0,87	,389	,16	31	3,31	,002	,51

EVALUATION DES GESAMTBEDIENKONZEPTS

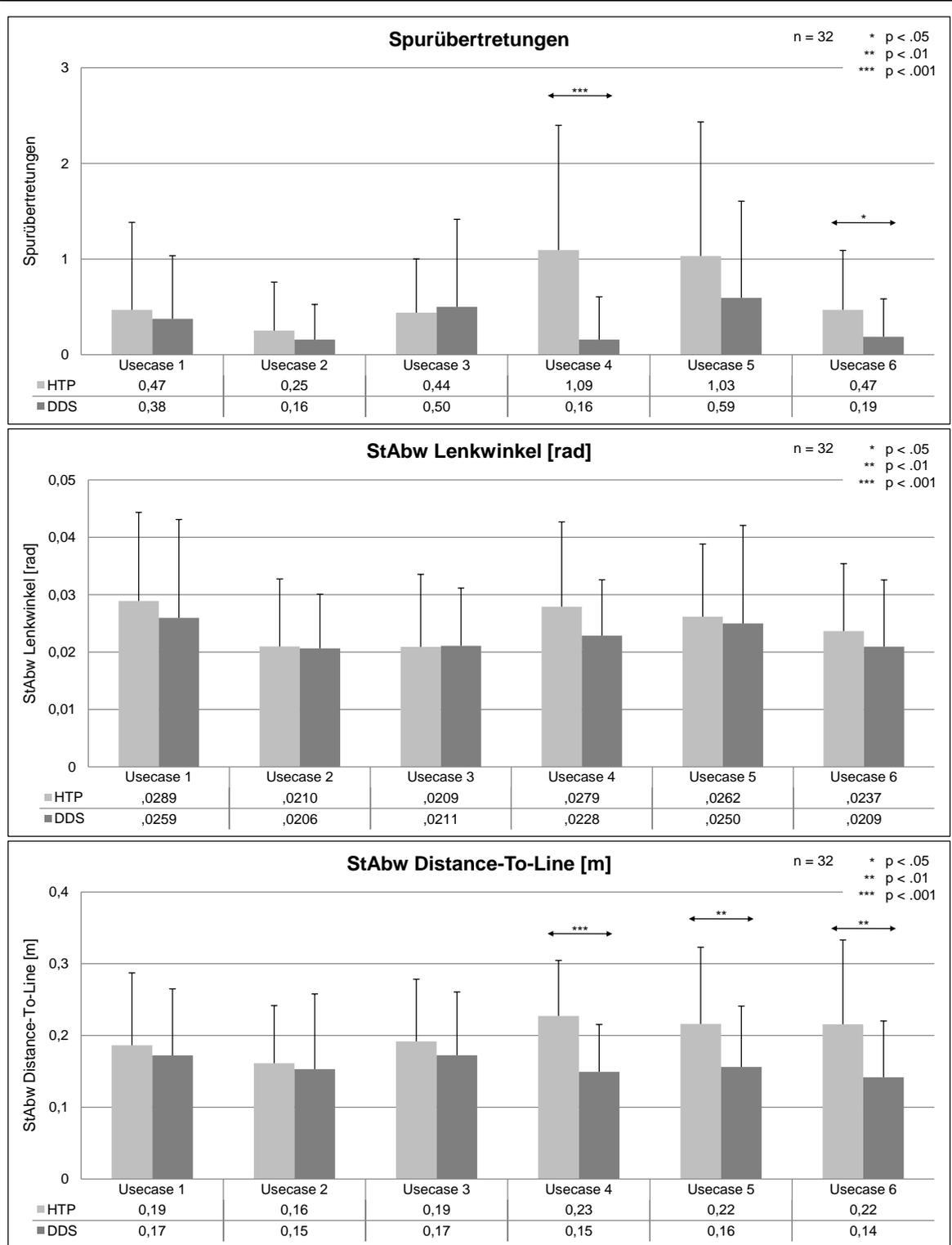


Abbildung 6-7: Spurübertretungen sowie StAbw des Lenkwinkels und der Distance-To-Line während der Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte

Auch der Kennwert „StAbw Lenkwinkel“ liefert für keinen der sechs Usecases statistisch signifikante Unterschiede. Bei der „StAbw Distance-To-Line“ führt der Vergleich im Falle der Usecases 4, 5 und 6 zu signifikant geringeren Schwankungen für das DDS-Serienbedienkonzept. Hierbei liegt jeweils ein großer Effekt vor. Die anderen drei Usecases 1, 2 und 3 zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Systemen auf.

Bei der Betrachtung der Fahrdaten unterscheiden sich das HTP-Gesamtbedienkonzept und das DDS-Serienbedienkonzept in den meisten Fällen nicht signifikant voneinander. Aufgrund der mehrfach vorkommenden signifikanten Resultate zugunsten des DDS-Serienkonzepts kann die Hypothese 3-H3, dass das HTP-Gesamtbedienkonzept zu mindestens gleichwertigen Fahrleistungen führt, insgesamt gesehen dennoch nicht bestätigt werden.

6.2.4.4. Subjektive Daten

Im Anschluss an die objektiven Daten erfolgt die Darlegung der Resultate aus der subjektiven Bewertung der beiden verglichenen Fahrerinformationssysteme durch die Versuchspersonen. Aus der Bewertung der zwei Aussagen bezüglich der Einfachheit der Bedienung und der Struktur des Menüsystems, die jeweils nach der Bewältigung der einzelnen Usecases durchgeführt wurde, ergeben sich deutliche Vorteile für das DDS-Serienbedienkonzept. Dieses schneidet im Falle der Usecases 1, 4 und 5 sowohl bei der Bedienbarkeit als auch bei der Struktur signifikant besser ab, wobei davon zweimal eine mittlere Effektstärke und viermal eine große Effektstärke vorliegen (siehe Tabelle 6-6 und Abbildung 6-8). Zudem fällt bei Usecase 2 die subjektive Bewertung für die Kenngröße „Bedienung“ für das DDS-Serienkonzept mit einem großen Effekt signifikant besser aus. Währenddessen ist bei diesem Usecase für den Kennwert „Struktur“ sowie bei Usecase 6 für beide Kennwerte kein statistisch signifikanter Unterschied festzustellen. Das HTP-Gesamtbedienkonzept führt lediglich im Falle des Usecases 3 zu signifikant besseren subjektiven Ergebnissen, wobei jeweils eine mittlere Effektstärke zu vermerken ist.

Tabelle 6-6: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der gestellten Fragen

HTP - DDS	Bedienung				Struktur			
	df	T	p	r	df	T	p	r
Usecase 1	32	-2,42	,021	,39	32	-3,80	<,001	,56
Usecase 2	32	-3,55	,001	,53	32	-1,19	,244	,21
Usecase 3	32	2,70	,011	,43	32	2,12	,042	,35
Usecase 4	32	-2,33	,026	,38	32	-3,26	,003	,50
Usecase 5	32	-4,49	<,001	,62	32	-4,93	<,001	,66
Usecase 6	32	-1,49	,147	,25	32	0,21	,839	,04

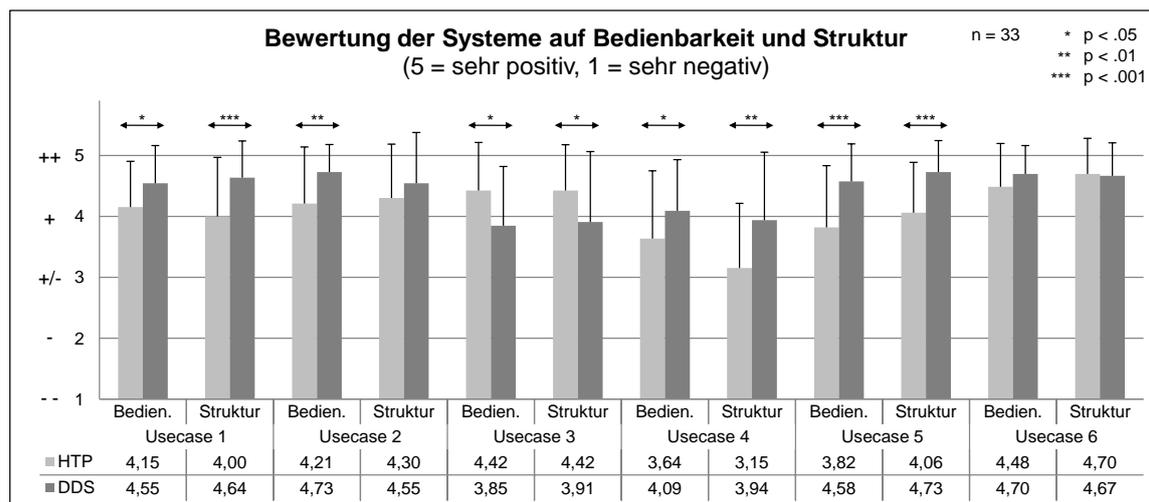


Abbildung 6-8: Subjektive Bewertung von Bedienbarkeit und Struktur bei der Verwendung der beiden Gesamtbedienkonzepte für die sechs Usecases

Die Resultate der subjektiven Bewertung des HTP-Gesamtbedienkonzepts und des DDS-Serienbedienkonzepts anhand des ISONORM 10 Fragebogens (DIN EN ISO 9241-110) sind in Tabelle 6-7 und Abbildung 6-9 aufgezeigt. Darin ist zu erkennen, dass das DDS-Serienkonzept für die betrachteten Kriterien Aufgabenangemessenheit (AA), Erwartungskonformität (EK), Lernförderlichkeit (LF) und Fehlertoleranz (FT) signifikant bessere subjektive Beurteilungen erzielt. Diese weisen jeweils eine mittlere Effektstärke ($0,30 \leq r < 0,50$) auf. Aus den drei anderen Kriterien Selbstbeschreibungsfähigkeit (SB), Steuerbarkeit (S) und Individualisierbarkeit (I) resultieren keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Vergleichssystemen.

Tabelle 6-7: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des ISONORM 10 Fragebogens

HTP - DDS	Subjektive Bewertung			
	df	T	p	r
Aufgabenangemessenheit (AA)	32	-3,05	,005	,47
Selbstbeschreibungsfähigkeit (SB)	32	-0,78	,440	,14
Erwartungskonformität (EK)	32	-2,09	,044	,35
Lernförderlichkeit (LF)	32	-2,41	,022	,39
Steuerbarkeit (S)	32	-1,89	,068	,32
Fehlertoleranz (FT)	32	-2,50	,018	,40
Individualisierbarkeit (I)	32	0,38	,709	,07

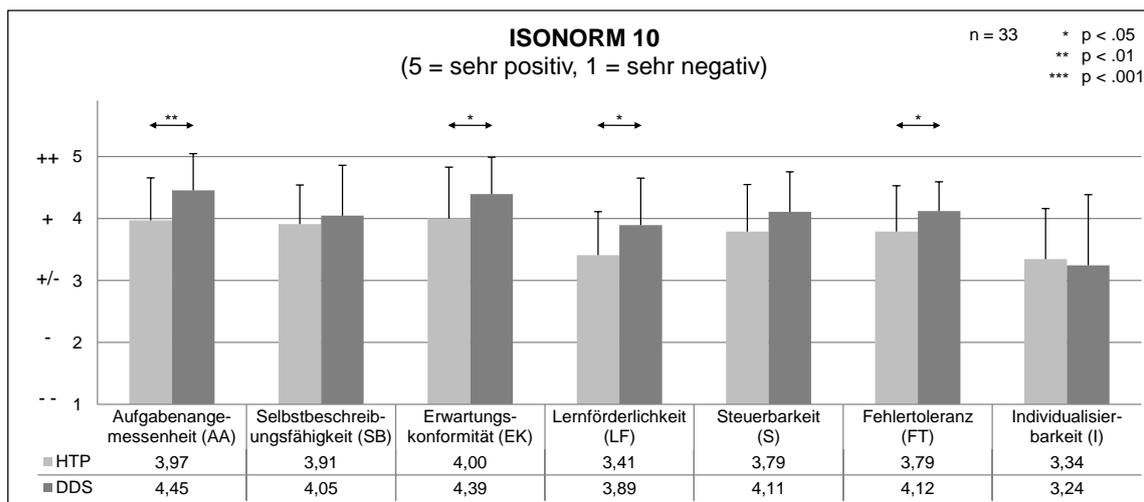


Abbildung 6-9: Subjektive Bewertung der beiden Gesamtbedienkonzepte anhand des ISONORM 10 Fragebogens

Des Weiteren wird die subjektive Bewertung der beiden Systeme mithilfe des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens (Hassenzahl et al., 2003) vorgestellt. Dabei ergeben sich für die Dimensionen pragmatische Qualität (PQ), hedonische Qualität in der Ausprägung Identität (HQ-I) und Attraktivität (ATTR) keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 6-8 und Abbildung 6-10).

Tabelle 6-8: Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens

HTP - DDS	Subjektive Bewertung			
	df	T	p	r
PQ	32	-1,81	,080	,30
HQ-S	32	3,64	<,001	,54
HQ-I	32	-0,88	,385	,15
ATTR	32	-1,94	,061	,33

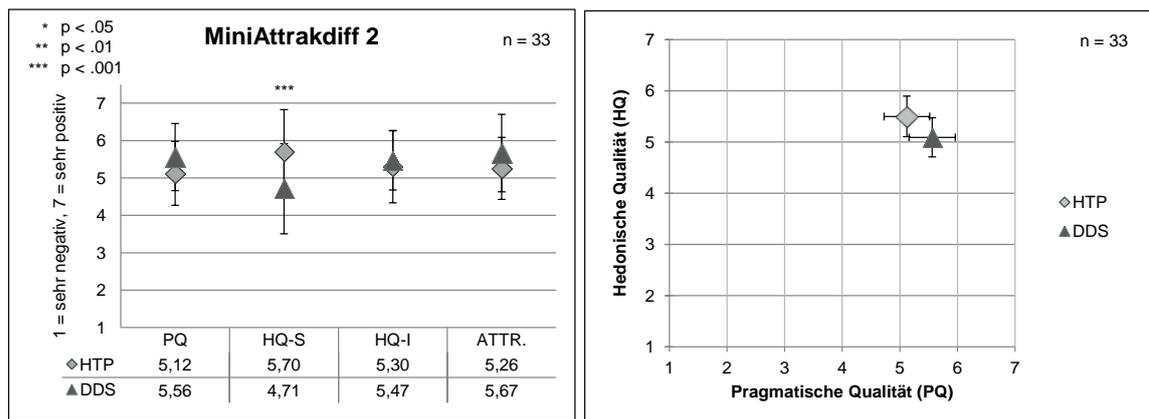


Abbildung 6-10: Subjektive Bewertung der beiden Gesamtdienkonzepte anhand des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens

Im Hinblick auf die Dimension hedonische Qualität in der Ausprägung Stimulation (HQ-S) erhält das HTP-Gesamtdienkonzept eine signifikant bessere subjektive Beurteilung durch die Probanden. Hierbei liegt eine große Effektstärke vor (siehe Tabelle 6-8 und Abbildung 6-10).

Zusätzlich entscheiden sich in der abschließenden Angabe der Rangordnung 63,6 Prozent der Versuchspersonen dazu, den ersten Platz an das DDS-Serienbedienkonzept zu vergeben. Demzufolge setzen 36,4 Prozent der Probanden das HTP-Gesamtdienkonzept auf Platz 1. Entsprechend aller aus den subjektiven Daten resultierenden Ergebnisse kann die Hypothese 3-H4 in der Fahrsimulatorstudie insgesamt nicht verifiziert werden.

6.3. Erkenntnisse für das entwickelte Gesamtdienkonzept

Aus den soeben vorgestellten Resultaten und der Durchführung der Evaluationsstudie sowie den abgegebenen Kommentaren der Probanden lassen sich verschiedene Erkenntnisse für das entwickelte HTP-Gesamtdienkonzept ziehen, die in diesem Abschnitt dargelegt werden.

Es lässt sich festhalten, dass das HTP-Gesamtdienkonzept, obwohl die Hypothese 3-H1 insgesamt gesehen abgelehnt werden muss, eine schnelle Bedienung des Fahrerinformationssystems ermöglicht. Dabei weist dieses Bedienkon-

zept für 66,7 Prozent der untersuchten Usecases mindestens ähnliche oder kürzere Bedienzeiten als das DDS-Serienbedienkonzept auf. Lediglich bei den Usecases 4 und 5 schneidet das HTP-Gesamtbedienkonzept extrem schlecht ab. Dieses negative Ergebnis für diese beiden Usecases wiederholt sich auch bei allen anderen ermittelten objektiven und subjektiven Daten. Daraus kann geschlossen werden, dass die in diesen beiden Usecases enthaltenen Aufgabenschritte mithilfe des HTP-Gesamtbedienkonzeptes insgesamt sehr schwer zu erledigen sind.

Bei Usecase 4 besteht das Problem gemäß der Aussagen von den Probanden darin, dass mit dem Öffnen des Aktionsmenüs zur Aktivierung des Equalizers im Tone-Menü ein zusätzlicher unnötiger Schritt im Vergleich zum DDS-Serienkonzept erforderlich ist. Der Equalizer sollte demzufolge direkt durch die Auswahl der Funktion „Tone“ in den rechten Seitenmenüs erreichbar sein. Dem schlechten Abschneiden des HTP-Gesamtbedienkonzeptes liegt im Falle von Usecase 4 also eine vom Nutzer nicht erwartete Bedienabfolge zugrunde, weswegen an dieser Stelle die Menüstruktur angepasst werden sollte. Dies wird auch bei der Aussage zur Menüstruktur durch die deutlich schlechtere subjektive Bewertung im Vergleich zu allen anderen Usecases bestätigt (siehe Abbildung 6-8).

Im Hinblick auf Usecase 5 bemängeln die meisten Versuchspersonen, dass zur Erledigung der einzelnen Bedienschritte ein ständiger Wechsel zwischen den seitlichen Slidertasten und der normalen Touchpad-Bedienung notwendig ist. Diese Tatsache erschwert die Bewältigung des allgemein als sehr komplex beurteilten Usecases 5 zusätzlich. Aus diesem Grund sollte auch für diesen Usecase eine Anpassung der Menüstruktur und der jeweiligen Bedienhandlungen vorgenommen werden, um die Komplexität der Bedienung mithilfe des HTP-Gesamtbedienkonzeptes zu reduzieren.

Die Ergebnisse der Blickdaten zeigen insgesamt sehr schlechte Resultate für das HTP-Gesamtbedienkonzept auf. Hierbei schneidet das DDS-Serienbedienkonzept überwiegend signifikant besser ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Probanden, obwohl der Kennwert „Anzahl der Blicke“ das positive Ergebnis der Kenngröße „Bediendauer“ quasi identisch wiedergibt, im Hinblick auf die maxi-

male und mittlere Blickdauer signifikant länger auf das Display schauen (siehe Abbildung 6-5). Diese Tatsache könnte auf der aktuell noch prototypischen Ausführung des haptischen Touchpads beruhen. Denn im Gegensatz zum einwandfrei funktionierenden DDS-Serienbedienteil, weist das haptische Touchpad immer wieder kleinere Schwierigkeiten bei der Erkennung auf, was häufig zu einem „Blinzeln“ des grafischen Highlights auf dem Display führt. Dadurch wird zwar die Bedienung nicht beeinträchtigt, wie die überwiegend positiven Ergebnisse des Kennwerts „Bediendauer“ verdeutlichen (siehe Abbildung 6-3), aber es führt zu einer gewissen Verunsicherung der Probanden. Diese während der Studie gemachte Beobachtung wird auch durch mehrere Äußerungen der Versuchspersonen diesbezüglich bestätigt. Diese Verunsicherung kann der Grund dafür sein, warum die Probanden im Schnitt deutlich länger auf das Display schauen, was die negativen Resultate der Blickdaten verursacht. Daher ist bei einer Weiterentwicklung des haptischen Touchpads bis hin zur Serientauglichkeit darauf zu achten, eine fehlerfreie Erkennung und Funktionalität des Bedienelements zu gewährleisten.

Für die Fahrdaten ergibt sich trotz der relativ hohen Blickablenkung bei der Verwendung des HTP-Gesamtbedienkonzepts ein etwas positiveres Bild. Denn in den meisten Fällen ist kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden verglichenen Systemen festzustellen. Nichtsdestotrotz schneidet das HTP-Gesamtbedienkonzept insgesamt gesehen vor allem bei den lateralen Fahrdaten schlechter ab als das DDS-Serienbedienkonzept. Neben den bereits genannten Gründen und Verbesserungsvorschlägen für die Usecases 4 und 5 fällt hier der Usecase 6 etwas aus der Reihe. Für die Kennwerte „Spurübertretungen“ und „StAbw Distance-To-Line“ liefert das HTP-Gesamtbedienkonzept im Falle dieses letzten Usecases signifikant schlechtere Werte. Dies beruht wohl auf der Tatsache, dass bei der Auswahl der Favoritenfunktion „Heimatadresse“ 14 Funktionen gleichzeitig im Hauptmenü angezeigt werden, was zu einer Überforderung des Probanden führen kann. Denn nach Rassl (2004) und Herczeg (2009) sollten maximal 9 Elemente simultan angeboten werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Anzahl der zeitgleich abgebildeten Funktionen im

Hauptmenü zu verringern. Hierfür kann zum einen die Zahl der Favoritenfunktionen reduziert werden, was wiederum die Individualisierbarkeit des HTP-Gesamtbedienkonzepts einschränken würde. Zum anderen ist es denkbar, die momentan nicht „berührten“ anderen sieben Hauptgruppen ausgegraut darzustellen, um so mit grafischen Mitteln die Anzahl auf sieben simultan angezeigte Elemente zu minimieren.

Aufgrund der subjektiven Bewertungen durch die Versuchspersonen ergeben sich folgende Erkenntnisse für das HTP-Gesamtbedienkonzept: Obwohl es für die bewerteten Aussagen zu Bedienung und Menüstruktur sowie für den ISO-NORM 10 Fragebogen im Vergleich zum DDS-Serienbedienkonzept in den meisten Fällen signifikant schlechter abschneidet, ist festzustellen, dass beide Systeme insgesamt sehr positiv beurteilt werden. Denn sie liegen beide ausnahmslos oberhalb des Wertes „3“ im positiven Bewertungsbereich (siehe Abbildung 6-8 und Abbildung 6-9). Auch im Hinblick auf den MiniAttrakdiff 2 Fragebogen werden die beiden verglichenen Systeme mit einer ähnlich sehr hohen pragmatischen und hedonischen Qualität bewertet. Für die hedonische Qualität in der Ausprägung Stimulation (HQ-S) schneidet das HTP-Gesamtbedienkonzept sogar signifikant besser ab (siehe Abbildung 6-10). In der abschließenden Platzierung geben zudem 36,4 Prozent der Versuchspersonen an, dass sie das HTP-Gesamtbedienkonzept bevorzugen. Trotz des geringeren Anteils ist dieser Wert insofern bemerkenswert, da die Probanden ausschließlich Audi-Mitarbeiter sind, die bereits Vorerfahrungen mit DDS-Fahrerinformationssystemen haben. Des Weiteren herrscht bei den meisten Versuchspersonen eine große Begeisterung für die Bedienung mithilfe des haptischen Touchpads, da es an die immer weiter verbreitete Interaktion mit Smartphones angelehnt ist und nicht neu erlernt werden muss. Dennoch bevorzugen bei der Angabe der Rangordnung viele das DDS-Serienbedienkonzept, was oftmals mit den noch bestehenden Schwächen des haptischen Touchpads begründet wird.

Alles in allem lässt sich daraus folgern, dass das HTP-Gesamtbedienkonzept, obwohl es die aufgestellten Hypothesen in der Evaluationsstudie insgesamt nicht bestätigen konnte, ein hohes Potential zur Bedienung der Tertiärfunktionen im

Fahrzeug besitzt. Vor allem im Fahrzeug neuartige Funktionen, wie etwa Internet oder Apps, und die Bekanntheit der Bedienung aus der täglichen Verwendung von Smartphones und Laptops zeigen die deutlichen Vorteile einer Touchpad-Bedienung auf. Dieser Meinung schließt sich auch eine Vielzahl der Probanden an. Um aber die noch vorhandene Lücke zum DDS-Serienkonzept aufzufüllen, ist es erforderlich, die genannten Anpassungen an der Menüstruktur vorzunehmen und die technische Umsetzung des haptischen Touchpads weiter zu verbessern.

7. Zusammenfassung

Das Ergebnis dieser Arbeit bildet das entwickelte und evaluierte Gesamtkonzept zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems mithilfe eines haptischen Touchpads.

Hierfür wurden in einem ersten Schritt theoretische Erkenntnisse über Mensch-Maschine-Systeme zur Bedienung von Tertiärfunktionen im Fahrzeug gesammelt. Im Fokus der Betrachtungen standen dabei der Mensch mit seinen Eigenschaften und Fähigkeiten und das Fahrerinformationssystem, über das die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug erfolgt. Auf diesem theoretischen Wissen aufbauend wurde zunächst die Entwicklung des Bedienelements – des haptischen Touchpads – vorgenommen. Im Zuge dessen wurden Umsetzungsmöglichkeiten für eine haptische Rückmeldung auf einem Touchpad theoretisch ermittelt. Dabei ergaben sich das reelle und das simulierte haptische Feedback als die beiden prinzipiell umsetzbaren Varianten. Diese beiden Arten der haptischen Rückmeldung wurden prototypisch aufgebaut und in einer Realfahrtstudie miteinander verglichen. Die dadurch gewonnenen objektiven und subjektiven Daten zeigten eine deutliche Vorteilhaftigkeit des realen haptischen Feedbacks auf. Dementsprechend wurde ein neuer Prototyp eines Touchpads mit reeller haptischer Rückmeldung entwickelt und umgesetzt.

Dieses neue haptische Touchpad weist zudem weitere, beim Vorgänger-Prototyp bisher nicht realisierbare Bedienmöglichkeiten auf, die bei konventionellen Touchpads bereits den Stand der Technik darstellen und nachfolgend aufgeführt sind.

- Handschrifteingabe
- Multitouch-Gesten
- Erfühlbare Slider

Diese drei, für das haptische Touchpad neuen Interaktionsarten wurden im weiteren Verlauf mit den Aufgabentypen eines Fahrerinformationssystems in Verbindung gebracht. Aus der genauen Betrachtung ergaben sich die drei folgenden

kritischen Aufgaben, bei denen Konflikte bei der Bedienung mithilfe des haptischen Touchpads auftreten können und für welche die zusätzlichen Interaktionsarten benötigt werden.

- Listen-Scrolling
- Zoomen von Karten und Bildern
- Werteeinstellung

Um zu untersuchen, wie die Interaktionsarten mit den genannten kritischen Aufgaben im Sinne einer möglichst einfachen und ablenkungsreduzierten Bedienung zu kombinieren sind, erfolgte die Durchführung einer Fahrsimulatorstudie. Dabei zeigte sich, dass es nicht die eine optimale Interaktionsart für die kritischen Aufgaben gibt. Vielmehr sollten die einzelnen Aufgaben basierend auf den Studienergebnissen über mehrere Interaktionsarten redundant zu bewältigen sein.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde das Menüsystem des Fahrerinformationssystems entwickelt, das speziell an die Bedienung mittels des entstandenen haptischen Touchpads angepasst ist. Hierfür erfolgten zunächst die Durchführung eines Benchmarkings momentan auf dem Markt befindlicher Menüsysteme und die Darlegung der bestehenden Ausgangslage. Daraufhin wurde das Menüsystem unter Berücksichtigung software-ergonomischer Grundregeln nach der beschriebenen Vorgehensweise konzipiert. Für das entstandene Menü-Konzept erfolgten anschließend die Entwicklung eines eigenen Display-Designs sowie die letztendliche Umsetzung in einer mit dem haptischen Touchpad bedienbaren Menü-Simulation.

Damit war es möglich, das HTP-Gesamtbedienkonzept in einer abschließenden Fahrsimulatorstudie mit einem aktuellen Serienbedienkonzept zu vergleichen und zu evaluieren. Hierfür wurde das DDS-Serienbedienkonzept aus dem Audi A3 als Vergleichssystem gewählt, da es zum einen ebenfalls auf dem Prinzip der Trennung von Anzeige und Bedienung beruht und zum anderen zusammen mit den Systemen von BMW und Mercedes momentan den Benchmark darstellt. Die objektiven und subjektiven Studienergebnisse zeigten, dass das HTP-Gesamtbedienkonzept in Bezug auf die meisten ermittelten Kennwerte das Nachsehen hat.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass das prototypisch umgesetzte System mit einem ausgereiften und fehlerfrei funktionierenden Seriensystem verglichen wurde. Dennoch erzielte das HTP-Gesamtbedienkonzept, wie am Beispiel des Kennwerts „Bediendauer“ zu erkennen ist, auch sehr positive Resultate. Zudem weckte es trotz der noch vorhandenen Schwierigkeiten bei einer Vielzahl der Versuchspersonen große Begeisterung bei der Bedienung des Fahrerinformationssystems. Alles in allem ist trotz der richtigen Richtung noch ein gewisser Entwicklungsaufwand zu betreiben, um eine Serienreife des HTP-Gesamtbedienkonzepts und das Ziel einer möglichst einfachen und ablenkungsminimierten Bedienung zu erreichen.

7.1. Diskussion

In diesem Abschnitt werden die soeben zusammengefassten Teilschritte dieser Arbeit bezüglich der gewählten Methodik, der erzielten Ergebnisse und des umgesetzten Konzepts kritisch beleuchtet und diskutiert.

Bei der prototypischen Umsetzung der zwei Arten eines haptischen Feedbacks auf einem Touchpads wurde jeweils ein als sinnvoll erachtetes Aktorprinzip verwendet. Hier wäre es auch möglich gewesen, andere Prinzipien zur Realisierung der haptischen Rückmeldung heranzuziehen und miteinander zu vergleichen. Basierend auf den theoretischen Kenntnissen und den Ergebnissen aus Expertengesprächen sowie den Eigenschaften der einzelnen Aktorprinzipien ergaben sich die beiden gewählten Varianten mit den festgelegten Eigenschaften, gerade für eine Verwendung im Fahrzeug, als die geeignetsten Umsetzungen.

Im Hinblick auf die Vergleichsstudie wäre auch eine Durchführung im Fahrsimulator denkbar. Dies hätte zur Folge, dass eine bessere Vergleichbarkeit der Fahraufgabe garantiert werden könnte. Andererseits ist es gerade für die Bewertung des simulierten haptischen Feedbacks über Vibration wichtig, die Einflüsse der während der Fahrt in den Fahrzeuginnenraum übertragenen Vibrationen durch den Motor und die Fahrbahn zu berücksichtigen. Dies wäre im statischen Fahr-

simulator der AUDI AG nicht möglich gewesen, weswegen der Vergleich mithilfe einer Realfahrt stattfand.

Ein weiterer Vorteil war hierbei, dass die akustische Komponente des simulierten haptischen Feedbacks unterdrückt werden konnte. Während die Vibration des simulierten haptischen Touchpads im Stand noch deutlich zu hören war – was im statischen Fahrsimulator dann auch der Fall gewesen wäre –, so konnte sie aufgrund der Fahrgeräusche während der Realfahrt nicht mehr akustisch wahrgenommen werden. Dadurch war sichergestellt, dass in der durchgeführten Studie tatsächlich nur die haptischen Komponenten der beiden verschiedenen Arten eines haptischen Feedbacks miteinander verglichen wurden.

Die Anzahl und der Schwierigkeitsgrad der zu erledigenden Menüaufgaben waren dabei relativ gering angesetzt. Der Grund dafür ist, dass die Probanden unbekannte Systeme auf der Autobahn testen mussten, was ohnehin eine relativ gefährliche Situation darstellt. Deshalb sollte die Gefahr eines möglichen Unfalls nicht noch zusätzlich durch zusätzliche oder schwierigere Aufgaben verschärft werden. Im Nachhinein ist festzustellen, dass das gewählte Aufgaben-Setting trotzdem ausreichte, um den Vergleich der beiden Varianten anzustellen, was die gewonnenen objektiven und subjektiven Ergebnisse zeigen.

Anhand der Studienergebnisse wurde der neue Prototyp mit einem reellem haptischen Touchpad aufgebaut. Hier standen zunächst wieder die verschiedenen Aktorprinzipien für die Realisierung zur Verfügung. Auf Basis eines umfangreichen Technologie-Scoutings kristallisierte sich eine Umsetzung des realen haptischen Feedbacks mithilfe von Piezo-Biegewandlern als die beste Lösung heraus. Damit konnten gemäß dem Stand der Technik im Gegensatz zu den anderen Aktorprinzipien alle gestellten Anforderungen an ein haptisches Touchpad im Fahrzeug bestmöglich erfüllt werden. Für die Erkennungsleistung des Touchpads wäre es aufgrund der Erkenntnisse aus der Evaluationsstudie besser gewesen, das kapazitive Touchpad auf der Abdeckung und nicht auf dem Haptik-Modul zu integrieren. Dadurch hätten die aufgetretenen Probleme, hervorgerufen durch die entstehenden Luftspalte beim Ausfahren der einzelnen Haptik-Elemente, vermieden werden und die Qualität der Bedienung verbessert werden können. Die rela-

tiv geringe Auflösung des haptischen Touchpads, die von mehreren Seiten als zu „grob“ in Frage gestellt wurde, stellte sich bei der abschließenden Fahrsimulatorstudie als vollkommen ausreichend heraus. Dennoch weist das haptische Touchpad immer noch sehr viele mechanische Einzelelemente auf, die jedes für sich zu einem Ausfall des gesamten Bedienelements führen können. Deshalb sollte im Sinne einer garantierten Funktionalität über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs zukünftig auch weiterhin über andere Realisierungsmöglichkeiten eines realen haptischen Feedbacks auf dem Touchpad nachgedacht werden.

Dieses neue haptische Touchpad bietet zusätzlich zur normalen Bedienung mit einem Finger drei weitere Interaktionsarten. Dabei wurden, im Gegensatz zur Handschrifteingabe und zu den Multitouch-Gesten, die erfühlbaren Slider nicht direkt auf dem Haptik-Modul umgesetzt. Dies wäre zwar möglich gewesen, hätte aber eine wesentliche Verbreiterung des Haptik-Moduls zur Folge gehabt, um die beiden Slider mithilfe zusätzlicher Haptik-Elemente auf dem Touchpad darstellen zu können. Da der Bauraum dadurch erheblich zugenommen hätte, wurde eine integrative Realisierung der erfühlbaren Slider auf den beiden seitlich angeordneten touchsensitiven und drückbaren Slidertasten gewählt.

Mit diesen drei Interaktionsarten können die als kritisch herausgearbeiteten Aufgaben des Fahrerinformationssystems erledigt werden. Dabei konnte in der durchgeführten Fahrsimulatorstudie nicht die eine optimale Interaktionsart für die drei kritischen Aufgabentypen ermittelt werden. Eventuell ist es hierzu notwendig, noch weitere Ausprägungen der kritischen Aufgaben miteinander zu vergleichen. Allerdings bestätigen die Aussagen vieler Probanden, dass die Ermöglichung einer redundanten Bedienung mithilfe der verschiedenen Interaktionsarten aufgrund der interindividuell unterschiedlichen Vorlieben gewünscht bzw. sinnvoll ist.

Basierend auf den bis dahin gewonnenen Erkenntnissen wurde das Menü-Konzept des Fahrerinformationssystems speziell für die Bedienung mithilfe des haptischen Touchpads entwickelt. Dabei diente für die erläuterte Vorgehensweise die VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, 1993) als Orientierungshilfe. Dadurch war für die Konzipierung des komplexen

und umfangreichen Menüsystems ein strukturiertes und systematisches Vorgehen sichergestellt. Hierfür hätten auch weitere zahlreiche Methoden und Modelle, wie beispielsweise das „Münchener Vorgehensmodell“, verwendet werden können. Aufgrund der dargestellten Ausgangslage für das Menü-Konzept und der Aufgabenstellung erschien die VDI-Richtlinie 2221 jedoch als sehr passend und hilfreich, was sich im Laufe des Entwicklungsprozesses bestätigte.

Das entstandene Menü-Konzept stellt dabei eine mögliche Lösung für ein Menüsystem eines Fahrerinformationssystems dar, die software-ergonomische Grundregeln, mentale Modelle der Benutzer sowie die spezielle Nutzungssituation im Fahrzeug berücksichtigt. Zudem wurde es speziell für das haptische Touchpad entwickelt. Es wäre selbstverständlich auch denkbar hier ganz neue oder andere Menüansätze für die Bedienung eines Fahrerinformationssystems mithilfe des haptischen Touchpads zu wählen. Mit dem Ziel einer möglichst einfachen und ablenkungsreduzierten Bedienung im Fahrzeug scheint das Menü-Konzept gemäß den Studienergebnissen und den subjektiven Aussagen den richtigen Weg zu gehen. Nichtsdestotrotz sind auch hier noch kontinuierlich Anpassungen und Verbesserungen vorzunehmen, um das Menü-Konzept weiter zu optimieren.

Im Hinblick auf das verwendete Gesten-Set könnten auch noch weitere Bedien-gesten in das Menü-Konzept eingebettet werden. Aufgrund der Bedienung während der Fahrt ist allerdings zu bedenken, dass die Zahl und die Komplexität der unterschiedlichen Gesten nicht zu hoch sein sollten. Deshalb ist das Gesten-Set im entwickelten Menü-Konzept auf sechs sehr einfache und den meisten Nutzern bestens bekannte Gesten beschränkt.

Für das Display-Design des Menü-Konzepts bestand grundlegend ein großer Gestaltungsspielraum. Hierbei wurde darauf geachtet, dass das Display-Design möglichst einfach und übersichtlich aufgebaut ist. Der Nutzer soll dadurch nicht zusätzlich von der primären Fahraufgabe abgelenkt werden, sondern vielmehr soll das Zusammenspiel zwischen Bedienelement und Menü-Konzept verständlicher gemacht und vereinfacht werden. Auch die integrierten Animationen haben zum Ziel, die vollzogenen Bedienhandlungen im Menü-Konzept nachvollziehbar

zu veranschaulichen. Um dadurch nicht auch eine zusätzliche Ablenkungswirkung zu erzeugen, wurden sie auf sehr wenige und schnell ablaufende Animationen begrenzt. Des Weiteren wurden während des gesamten Entwicklungsprozesses für das Display-Design software-ergonomische Grundregeln berücksichtigt und eingehalten.

Mit dem entwickelten HTP-Gesamtbedienkonzept wurde in einer Studie im Fahr-Simulator ein Vergleich mit einem DDS-Serienbedienkonzept angestellt. Hier ist zunächst zu erwähnen, dass der Vergleich des in der Entwicklung befindlichen HTP-Systems mit einem ausgereiften Seriensystem eine große Herausforderung darstellt. Dieser Weg wurde dennoch gewählt, um die Messlatte möglichst hoch zu legen und noch bestehende Probleme deutlich darzulegen. Dies erklärt zum Teil die unterlegenen Ergebnisse des HTP-Gesamtbedienkonzeptes in den meisten ermittelten Kennwerten.

Neben dem verwendeten Vergleichssystem hätten hier auch noch andere Fahrerinformationssysteme der unterschiedlichen Automobilhersteller herangezogen werden können. Ein Grund für die Wahl des aktuellen Systems aus dem Audi A3 war unter Anderem die Durchführung der Evaluationsstudie bei der AUDI AG, wodurch dieses System relativ einfach zu beschaffen war. Zudem wäre ein Vergleich mit mehreren verschiedenen Seriensystemen nicht möglich gewesen, da die Fahr-Simulatorstudie, die im gewählten Studiendesign etwa 90 Minuten dauerte, die Probanden ansonsten überbeansprucht hätte. Damit wäre eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Systeme nicht mehr gewährleistet gewesen.

Was die Auswahl der Usecases betrifft, hätte ebenfalls eine Vielzahl anderer Usecases für die Fahr-Simulatorstudie herangezogen werden können. Es wurde bei der Wahl aber berücksichtigt, dass die Usecases zum einen relativ häufig verwendete und bekannte Menüfunktionen beinhalten sowie zum anderen alle Bestandteile und Interaktionsmöglichkeiten des entwickelten Menü-Konzepts abdecken. Hier zeigten sich dann auch eindeutig die Problemstellen auf, wo noch Anpassungen am Menü-Konzept vorzunehmen sind.

Insgesamt gesehen ist es in Anlehnung an Burns, Bengler & Weir (2011) deshalb sinnvoll, das HTP-Gesamtbedienkonzept gemäß den gewonnenen Erkenntnissen dieser Arbeit zu modifizieren und weiter zu verbessern. Dabei ist es wichtig, den Nutzer stets in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen. Hierfür wurden in dieser Arbeit als Methoden Realfahrtstudien und Fahrsimulator-Studien herangezogen, da sie die spätere reale Dual-Task-Situation sehr originalgetreu abbilden. Allerdings sind sie in ihrer Vorbereitung, Durchführung und Auswertung relativ aufwendig. Deshalb werden nachfolgend zwei etwas einfacher durchzuführende Methoden genauer vorgestellt, die für die Evaluierung weiterer Entwicklungsschritte verwendet werden könnten. Hierbei wäre es auch interessant, diese beiden Methoden zunächst mithilfe der in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse zu validieren.

Eine mögliche Methode ist laut (Bengler, 2012) und (Burns et al., 2011) dabei der „Okklusionstest“, mit dem relativ mühelos die immer nur in gewissen Zeitintervallen mögliche Bedienung von Fahrerinformationssystemen parallel zur primären Fahraufgabe nachgestellt werden kann (Haslbeck et al., 2011). Dabei trägt der Proband eine Brille, die typischerweise für eine Zeitdauer von 1500 ms abwechselnd transparent und dann wieder intransparent ist. Die transparenten Phasen simulieren somit die Zeitdauern, in denen der Fahrer weg von der Straße auf das Display schaut und das Fahrerinformationssystem bedient. Damit kann die für eine Bedienung im Fahrzeug wichtige Eigenschaft der Unterbrechbarkeit von Menüaufgaben sowie die Qualität der auf dem Bildschirm präsentierten Informationen und der Interaktion an sich evaluiert werden (Bengler, 2012).

Hierfür ist ebenfalls der „Simulated Lane Change Test“ als eine weitere, relativ einfach umsetzbare und ISO-standardisierte Methode geeignet (Bengler, 2012). Sie stellt eine simple Fahrsimulation dar, bei der mit einer konstanten Geschwindigkeit auf einer geraden Strecke mit 3 Fahrstreifen gefahren wird. Straßenschilder zeigen dem Fahrer dabei an, auf welche der 3 Fahrspuren er als nächstes wechseln muss. Nach diesem schnellstmöglich ausgeführten Wechsel besteht die Fahraufgabe darin, das Fahrzeug in der Mitte des zuvor auf dem Schild angezeigten Fahrstreifens zu halten bis das nächste Straßenschild erscheint (Küh-

ner, Wild, Bubb, Bengler & Schneider, 2011). Parallel zu dieser Fahraufgabe kann dann das Fahrerinformationssystem bedient und getestet werden. Die während des Versuchs gefahrene Fahrspur wird anschließend mit einer Idealspur verglichen. Die Abweichung von dieser Ideallinie dient dabei als Maß für die Fahrqualität und die durch das Fahrerinformationssystem verursachte Ablenkung (Bengler, 2012).

Neben der Anwendung dieser relativ einfachen, aber effektiven Methoden für einzelne Entwicklungsschritte ist dennoch eine erneute abschließende Evaluation gegen das verwendete Vergleichssystem oder auch andere Serienbedienkonzepte in einer ausführlichen Studie inklusive subjektiver Bewertung anzustreben. Nur so kann festgestellt werden, ob die noch vorherrschenden Lücken zu den Serienbedienkonzepten in Zukunft geschlossen und die gesteckten Ziele erreicht werden können.

Weiterhin erfolgt als Abschluss dieser Arbeit im letzten Abschnitt 7.2 noch ein Ausblick auf zukünftige Technologien, Entwicklungen und mögliche weitere Untersuchungen zum betrachteten Themengebiet.

7.2. Ausblick

Im Hinblick auf eine serienreife Umsetzung des reellen haptischen Feedbacks auf einem Touchpad stellt sich das gewählte Prinzip über Piezo-Biegewandler nicht als optimale Lösung heraus. Dadurch können zwar die Anforderungen an ein haptisches Touchpad im Fahrzeug nach aktuellem Stand der Technik bestmöglich erfüllt werden. Jedoch birgt dieses Prinzip aufgrund der sehr vielen mechanischen Einzelelemente ein erhöhtes Risiko, dass die Funktionalität des Bedienelements nicht über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs erhalten werden kann und es zu einem Ausfall kommt. Daher ist es wichtig, auch die Entwicklung der anderen möglichen Akteurprinzipien im Auge zu behalten und zukünftig Untersuchungen dazu anzustellen. Viele Smartphone-Hersteller sind gemäß den Ankündigungen auf Messen und in der Presse derzeit beispielsweise stark daran interessiert, den ebenen Oberflächen ihrer Geräte durch variabel ausfahrbare

Tasten wieder ein reelles haptisches Feedback zu verleihen. Von diesen Anstrengungen und Weiterentwicklungen der Aktorprinzipien könnte auch das haptische Touchpad profitieren, um in Zukunft auch den Anforderungen an die Lebensdauer standzuhalten.

Des Weiteren wird auch die immer wieder auftauchende Forderung vieler Automobilhersteller nach der Integration neuer Funktionen zukünftig eine weitere Herausforderung für das Menü-Konzept darstellen. Im entwickelten Menü-Konzept sind zwar zum Beispiel die Funktionen „Connect“ und „Apps“ bereits berücksichtigt. Es bleibt jedoch zu betrachten, wie eventuelle weitere Funktionsgruppen und Optionen in das vorhandene Menü-Konzept integriert werden können, ohne dabei die in dieser Arbeit berücksichtigten Richtlinien und Normen (siehe Tabelle 2-4) zu verletzen. Eine beispielhafte Lösung wäre, das Hauptmenü, wie von Smartphones bekannt, als mehrere virtuelle Desktops auszuführen, zwischen denen hin und her geblättert werden kann. Dafür müsste aber durch Untersuchungen festgestellt werden, welche Auswirkungen dies auf die Bedienung und die Ablenkung hätte. Generell ist jedoch zu hinterfragen, ob es sinnvoll ist, die ohnehin bereits sehr komplexen Fahrerinformationssysteme (Meroth & Tolg, 2008; Heilemann & Palm, 2011) für eine Bedienung während der Fahrt mit weiteren Funktionen zu versehen. Vielmehr sollte darüber nachgedacht werden, die Komplexität der Systeme durch eine geringere Funktionsanzahl zu reduzieren.

Zudem wäre es interessant zu untersuchen, welchen Einfluss die Gestaltung des Display-Designs auf die Bedienung und die Ablenkungswirkung des Gesamtsystems hat. In dieser Arbeit wurde unter Berücksichtigung der in Tabelle 2-4 aufgeführten Richtlinien und Normen zur Displaygestaltung lediglich ein als sinnvoll erachtetes Display-Design entwickelt, das aber nicht mit anderen Gestaltungsmöglichkeiten verglichen wurde.

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass das in dieser Arbeit entwickelte und evaluierte HTP-Gesamtbedienkonzept ein großes Potential zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems besitzt. Die Touchpad-Bedienung bietet vor allem für im Fahrzeug neuartige Funktionen, wie zum Beispiel Internet oder Apps, und durch die Bekanntheit der Bedienung aus der täglichen Verwendung von Smart-

phones und Laptops eindeutige Vorteile gegenüber Dreh-Drück-Stellern. Durch das zusätzliche haptische Feedback wird zudem die Ablenkungswirkung gegenüber konventionellen Touchpads und Touchscreens reduziert. Dennoch lässt sich für das prototypisch umgesetzte HTP-Gesamtbedienkonzept gerade im Bereich der Blickdaten noch eine Lücke zu aktuell verfügbaren DDS-Serienbedienkonzepten feststellen und es ist daher erforderlich, das HTP-Gesamtbedienkonzept weiter zu verbessern und die noch bestehenden Schwierigkeiten und Probleme zu beseitigen. Dadurch sollte letztendlich das in dieser Arbeit angestrebte Ziel einer möglichst effizienten und intuitiven Interaktion zwischen Fahrer und Fahrerinformationssystem erreicht werden können.

Literaturverzeichnis

- AAM. (2003). *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In- Vehicle Information and Communication Systems*. Alliance of Automobile Manufacturers. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter http://iems.net/2005/webzine/newsletter/v10n2/Overseas_report/AAM_Guidelines.pdf.
- Ablaßmeier, M. (2009). *Multimodales, kontextadaptives Informationsmanagement im Automobil*. Dissertation, Technische Universität München. München. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter <http://www.mmk.ei.tum.de/publ/pdf/ablassmeier.pdf>.
- Allport, A. (1989). Visual attention. In M. I. Posner (Hrsg.), *Foundations of cognitive science* (S. 631–682). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Anguelov, N. (2009). *Haptische und akustische Kenngrößen zur Objektivierung und Optimierung der Wertanmutung von Schaltern und Bedienfeldern für den Kfz-Innenraum*. Dissertation, Technische Universität Dresden. Dresden
- Audi. (2013). *Screenshot Audi MMI*. Zugriff am 04.07.2013. Verfügbar unter http://www.audi.de/content/dam/ngw/service/audi_online_dienste/screenshot_zeileinspeisung.jpg.
- Auto Zeitung. (2013). *Bilder Audi A3*. Zugriff am 04.07.2013. Verfügbar unter <http://fotos.autozeitung.de/462x347/images/bildergalerie/2013/04/Bilder-Audi-A3-Sportback-1-4-TFSI-2013-006-Kompaktwagen.jpg>.
- Baumann, R. (1997). *Haptic Interface for Virtual Reality Based Laparoscopic Surgery Training Environment*. Dissertation Nr. 1734, École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne.
- Bechstedt, U., Bengler, K. & Thüring, M. (2005). Randbedingungen für die Entwicklung eines idealen Nutzermodells mit Hilfe von GOMS für die Eingabe von alphanumerischen Zeichen im Fahrzeug. In VDI-Fortschritt-Berichte, L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.), *Zustandserkennung und Systemgestaltung* (Reihe 22, Bd. 22, S. 125–130). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Bengler, K. (2001). Aspekte der multimodalen Bedienung und Anzeige im Automobil. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 195–206). Berlin: Springer.
- Bengler, K. (2005). Potenzial von MMK-Technologien für zukünftige Fahrzeug-Bedienkonzepte. In H. Fastl & M. Fruhmann (Hrsg.), *Fortschritte der Akustik. Tagungsband und CD-ROM der 31. Deutschen Jahrestagung für Akustik, DAGA* (S. 9–10). Berlin: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA).
- Bengler, K. (2012). *Driver Distraction: Encyclopedia of Automotive Engineering*. John Wiley & Sons Ltd (in press).

-
- Bengler, K., Bubb, H., Totzke, I., Schumann, J. & Flemisch, F. (2012). Automotive. In M. Stein & P. Sandl (Hrsg.), *Information Ergonomics. A theoretical approach and practical experience in transportation*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bernotat, R. (1970). Plenary Session: Operation Functions in Vehicle Control, Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13 (3), 353-377.
- Bernstein, A., Broecker, M., Marz, P. & Robin, L. (2001). Visuell-haptische Schnittstellen in der Automobilentwicklung bei BMW. In M. Grunwald (Hrsg.), *Der bewegte Sinn* (S. 187–194). Basel [u.a.]: Birkhäuser.
- Beyer, L. & Weiss, T. (2001). Elementareinheiten des somatosensorischen Systems als physiologische Basis der taktil-haptischen Wahrnehmung. In M. Grunwald (Hrsg.), *Der bewegte Sinn* (S. 25–38). Basel [u.a.]: Birkhäuser.
- Blattner, A., Bengler, K. & Hamberger, W. (2012). Interaktionsarten eines Touchpads mit haptischer Rückmeldung zur Bedienung eines Fahrerinformationssystems. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), *6. VDI Fachtagung Useware 2012. Mensch-Maschine-Interaktion*. VDI-Berichte 2179 (S. 219–228). VDI Verlag GmbH.
- Blattner, A., Bengler, K. & Hamberger, W. (2013). Optimized Combination of Operating Modalities and Menu Tasks for the Interaction between Driver and Infotainment-System using a Touchpad with Haptic Feedback. In N. Stanton (Hrsg.), *Advances in human aspects of road and rail transportation* (S. 13–19). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Blattner, A., Bengler, K., Hamberger, W. & Schnieder, S. (2012). Comparison of in-car touchpads with adaptive haptic feedback, In *2012 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games (HAVE)*. München.
- Blattner, A., Spies, R., Bengler, K. & Hamberger, W. (2012a). Interaction between driver and infotainment system using a touchpad with haptic feedback. In D. De Waard, N. Merat, H. Jamson, Y. Barnard & O. Carsten (Hrsg.), *Human Factors of Systems and Technology* (S. 181–187). Maastricht: Shaker Publishing.
- Blattner, A., Spies, R., Bengler, K. & Hamberger, W. (2012b). Sichere Gestaltung des Fahrer-Arbeitsplatzes durch effiziente und intuitive Bedienung eines Fahrerinformationssystems via Touchpad mit haptischer Rückmeldung. In GfA (Hrsg.), *Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit* (S. 273–277). Dortmund: GfA-Press.
- Blume, H.-J. & Boelcke, R. (1990). *Mechanokutane Sprachvermittlung. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt*. Darmstadt.
- Borchardt, A. (2009). *Erstellung einer GUI für ein benutzerorientiert gestaltetes Infotainmentsystem mit haptischem Bedienkonzept*. Semesterarbeit, Technische Universität München. München.
-

-
- Broadbent, D. E. (1969). *Perception and communication* (3. Aufl.). Oxford [u.a.]: Pergamon Pr.
- Brockhaus, F. A. (1977). *Bilder-Conversations-Lexikon für das deutsche Volk. Ein Handbuch zur Verbreitung gemeinnütziger Kenntnisse und zur Unterhaltung* (4 Bände). Leipzig: Verlag Enzyklopädische Literatur.
- Brooks, T. (1990). Telerobotic response requirements, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1990*.
- Broy, M. (2011). Software. In H.-H. Braess (Hrsg.), *Vieweg-Handbuch Kraftfahrzeugtechnik* (6. Aufl., S. 747–757). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- Bubb, H. (1992). *Menschliche Zuverlässigkeit: Definitionen, Zusammenhänge, Bewertung* (1. Aufl.). Landsberg: ecomed.
- Bubb, H. (1993a). Informationswandel durch das System. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. Aufl., S. 333–390). München [u.a.]: Hanser.
- Bubb, H. (1993b). Systemergonomische Gestaltung. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. Aufl., S. 390–420). München [u.a.]: Hanser.
- Bubb, H. (2001). Haptik im Kraftfahrzeug. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 155–175). Berlin: Springer.
- Bubb, H. (2003). Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme ; Tagung Braunschweig, 2. und 3. Juni 2003*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Bubb, H. & Schmidtke, H. (1993). Systemstruktur. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. Aufl., S. 305–333). München [u.a.]: Hanser.
- Burdea, G. (1996). *Force and touch feedback for Virtual Reality*. New York: Wiley.
- Burns, P. C., Bengler, K. & Weir, D. H. (2011). Driver Metrics, an Overview of User Needs and Uses. In G. L. Rupp (Hrsg.), *Performance Metrics for Assessing Driver Distraction. The Quest for Improved Road Safety* (S. 24–30). Warrendale, Pennsylvania: SAE International.
- Buss, M. (2002). *Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion: Sonderforschungsbereich 453 - Begriffsdefinitionen*. Bonn: DFG. Zugriff am 28.05.2013. Verfügbar unter <http://www.sfb453.de/begriffsdef.html>.
- Caldwell, D., Lawther, S. & Wardle, A. (1996). Multi-modal cutaneous tactile feedback, In *Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS 96 : robotic intelligence interacting with dynamic worlds, November 4-8, 1996, Senri Life Science Center, Osaka, Japan*.
- Cooper, A., Reimann, R. & Cronin, D. (2007). *About face 3: The essentials of interaction design* (3. Aufl.). Indianapolis: Wiley Pub.
-

- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion* (Informatik: Software-Ergonomie). München [u.a.]: Pearson Studium.
- Deutsch, D. & Deutsch, J. A. (1963). Attention: Some Theoretical Considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- DIN EN ISO, 10075 (2001). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*.
- DIN EN ISO, 14915 (2002). *Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen*.
- DIN EN ISO, 15005 (2003). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements*.
- DIN EN ISO, 15008 (2011). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug*.
- DIN EN ISO, 9241 (1995). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten*.
- DIN EN ISO, 9241-100 (2010). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 100: Überblick über Normen zur Software-Ergonomie*.
- DIN EN ISO, 9241-110 (2008). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*.
- DIN EN ISO, 9241-210 (2011). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*.
- DIN EN ISO, 9241-910 (2011). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion*.
- DIN EN ISO, 9241-920 (2009). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 920: Empfehlungen für die taktile und haptische Interaktion*.
- Doerrer, C. (2004). *Entwurf eines elektromechanischen Systems für flexibel konfigurierbare Eingabefelder mit haptischer Rückmeldung*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.
- Duscher, C. (2012). *Entwicklung und Durchführung einer Usability-Befragung zur optimierten Funktionsdarbietung verschiedener Interaktionsarten eines Touchpads mit haptischer Rückmeldung für die Bedienung eines Fahrerinformationssystems*. Bachelorarbeit, Technische Universität München. München.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens* (Arbeit und Technik, Bd. 4). Göttingen [u.a.]: Verl. für Angewandte Psychologie.
- Eibl, M. (2011). *Mensch & Computer 2011: 11. fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien : überMEDIEN - ÜBERmorgen*. München: Oldenbourg.

-
- ESoP. (1998). *European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle Information and Communication Systems*. European Commission - Task Force HMI. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/hmi.pdf.
- Field, A. P. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4. Aufl.). Los Angeles: Sage.
- Gardner, E. & Palmer, C. (1989). Simulation of motion on the skin: I. Receptive fields and temporal frequency coding by cutaneous mechanoreceptors of OPTACON pulses delivered to the hand. *Journal of Neurophysiology*, 62 (6), 1410-1436.
- Geiser, G. (1990). *Mensch-Maschine-Kommunikation*. München: R. Oldenbourg.
- Gentner, D. (Hrsg.). (1983). *Mental models*. Hillsdale, N.J. u.a: Erlbaum.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1980). Analogical Problem Solving. *Cognitive Psychology* (12), 306-355.
- Grunwald, M. (2001). Begriffsbestimmungen zwischen Psychologie und Physiologie. In M. Grunwald (Hrsg.), *Der bewegte Sinn* (S. 1–14). Basel [u.a.]: Birkhäuser.
- Grunwald, M. & Krause, F. (2001). Haptik-Design im Fahrzeugbau. In M. Grunwald (Hrsg.), *Der bewegte Sinn* (S. 171–176). Basel [u.a.]: Birkhäuser.
- Hagendorf, H., Müller, H. J., Krummenacher, J. & Schubert, T. (2010). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit* (Springer-Lehrbuch, 1. Aufl.). Berlin: Springer.
- Hamberger, W. (2010). MMI Touch - New Technologies for New Control Concepts. In IQPC (Hrsg.), *Automotive Cockpit HMI*. Stuttgart: Steigenberger Graf Zeppelin.
- Haslbeck, A., Popova, S., Krause, M., Pecot, K., Mayer, J. & Bengler, K. (2011). Experimental evaluations of touch interaction considering automotive requirements. In J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments* (Lecture notes in computer science, Part II, S. 23–32). Berlin [u.a.]: Springer.
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (2003). AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In J. Ziegler & G. Szwillus (Hrsg.), *Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung* (S. 187–196). Stuttgart: Teubner.
- Heilemann, M. & Palm, G. (2011). Automatisierte Verifikation des Designs der grafischen Benutzeroberfläche von Infotainmentsystemen mit einem Bayes'schen Netzwerk. In Gesellschaft für Informatik (Hrsg.), *INFORMATIK 2011 - Informatik schafft Communities. 41. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik*. Berlin.
- Herczeg, M. (2009). *Software-Ergonomie* (Lehrbuchreihe Interaktive Medien, 3. Aufl.). München [u.a.]: Oldenbourg.
-

- ISO, 11581 (2011). *Information technology - User interface icons*.
- Jacko, J. A. (2012). *The human-computer interaction handbook: Fundamentals, evolving technologies, and emerging applications* (Human factors and ergonomics, 3. Aufl.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jacko, J. A., Salvendy, G. & Koubek, R. J. (1995). Modelling of Menu Design in Computerized Work. *Interacting with Computers*, 7 (3), 304-330.
- JAMA. (2004). *Guideline for In-vehicle Display Systems - Version 3.0*. Japan Automobile Manufacturers Association. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter http://www.umich.edu/~driving/documents/JAMA_guidelines_v30.pdf.
- Jandura, L. & Srinivasan, M. A. (1994). Experiments on Human Performance in Torque Discrimination and Control, In *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Dynamic Systems and Control, DSC-Vol. 55-1*. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter http://www.rle.mit.edu/touchlab/publications/1994_002.pdf.
- Johnson-Laird, P. N. (1990). *Mental models* (Reprinted). Cambridge u.a: Cambridge Univ. Press.
- Jungmann, M. (2004). *Entwicklung elektrostatischer Festkörperaktoren mit elastischen Dielektrika für den Einsatz in taktilen Anzeigefeldern*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt. Verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:tuda-tuprints-5000>.
- Jürgensohn, T. & Timpe, K.-P. (Hrsg.). (2001). *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer.
- Kaczmarek, K. A. & Bach-y-rita, P. (1995). Tactile Displays. In W. Barfield & T. A. Furness (Hrsg.), *Virtual environments and advanced interface design* (S. 349–414). New York: Oxford University Press.
- Kaczmarek, K., Webster, J., Bach-y-rita, P. & Tompkins, W. (1991). Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38 (1), 1-16.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1973). On the psychology of prediction. *Psychological Review* (80), 237-251.
- Kern, T. A. (Hrsg.). (2009). *Entwicklung haptischer Geräte*. Berlin [u.a.]: Springer.
- Kern, T. A., Matysek, M. & Sindlinger, S. (2009). Aktorentwurf. In T. A. Kern (Hrsg.), *Entwicklung haptischer Geräte* (S. 199–324). Berlin [u.a.]: Springer.
- Kontarinis, D. A. & Howe, R. D. (1993). Tactile Display of Contact Shape in Dexterous Telemanipulation, In *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting: Advances in Robotics, Mechatronics, and Haptic Interfaces, New Orleans, DSC-Vol. 49*.
- Kühner, M., Wild, J., Bubb, H., Bengler, K. & Schneider, J. (2011). Haptic perception of viscous friction of rotary switches. In L. A. Jones, M. Harders & Y. Yokokohji (Hrsg.), *IEEE World Haptics Conference* (S. 587–591). IEEE Computer Society.

- Lange, C., Wohlfahrter, M. & Bubb, H. (2006). Dikablis, Engineering and Application Area. In R. Pikaar, E. Koningsveld & P. Settels (Hrsg.), *Proceedings of the 16th World Congress of the International Ergonomics Association (CD)*. Elsevier.
- Löhr, R. W. (1976). *Ergonomie: Grundlagen der Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Umwelt* (Kamprath-Reihe). Würzburg: Vogel.
- Meroth, A. & Tolg, B. (Hrsg.). (2008). *Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug* (Vieweg Praxiswissen, 1. Aufl.). Vieweg Praxiswissen. Wiesbaden: Vieweg.
- Meroth, A., Tolg, B. & Plappert, C. (2008). Einführung. In A. Meroth & B. Tolg (Hrsg.), *Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug* (Vieweg Praxiswissen, 1. Aufl., S. 1–6). Wiesbaden: Vieweg.
- Miller, D. P. (1981). The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus, In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting October 1981*, 25(1).
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63 (2), 81-97.
- Mischler, T. (2011). *Erstellung eines Anforderungskataloges zur Entwicklung von Touchpads mit haptischem Feedback für die Bedienung eines Fahrzeug-Infotainmentsystems*. Semesterarbeit, Technische Universität München. München.
- Mischler, T. (2012). *Konzeption einer Menü-Struktur zur Bedienung des Audi MMI mittels eines Touchpads mit haptischer Rückmeldung*. Semesterarbeit, Technische Universität München. München.
- Mischler, T. (2013). *Entwicklung und Umsetzung eines Touchpad-Menükonzepts für ein Fahrerinformationssystem und Durchführung einer Evaluationsstudie im Fahrsimulator*. Diplomarbeit, Technische Universität München. München.
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychol (Amst)*, 27, 84-92.
- NHTSA. (2010). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices*. National Highway Traffic Safety Administration.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner (Hrsg.), *Mental models*. Hillsdale, N.J. u.a: Erlbaum.
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. In J. M. Carroll (Hrsg.), *Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface* (S. 17–38). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1975). On Data-limited and Resource-limited Processes. *Cognitive Psychology*, 7 (1), 44-64.
- Nørretranders, T. (1994). *Spüre die Welt* (1. Aufl.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

- Pang, X. D., Tan, H. Z. & Durlach, N. I. (1991). Manual discrimination of force using active finger motion. *Perception & psychophysics*, 49 (6), 531-540.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological bulletin*, 116 (2), 220-244.
- Peters, A., Spies, R., Toussaint, C., Fuxen, D. & Hamberger, W. (2010). Haptisches Touchpad zur Infotainmentbedienung. *i-com : Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien; Organ des Fachbereichs Mensch-Computer-Interaktion der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) und seinen Fachgruppen*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverl., ISSN 1618-162X, ZDB-ID 20689949, Vol. 9.2010, 1, p. 58-61.
- Preim, B. & Dachsett, R. (2010). *Interaktive Systeme* (EXamen.press, 2. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering* (North-Holland series in system science and engineering, Bd. 12). New York: North-Holland.
- Rassl, R. (2004). *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw: Systemergonomische Analyse und Prognose*. Dissertation, Technische Universität München. München. Zugriff am 22.03.2013. Verfügbar unter <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/mw/2004/rassl.pdf>.
- Reisinger, J. (2009). *Parametrisierung der Haptik von handbetätigten Stellteilen*. Dissertation, Technische Universität München. München. Zugriff am 22.03.2013. Verfügbar unter <http://d-nb.info/994597711/34>.
- Reisinger, J. & Wild, J. (2008). Haptische Bedienschnittstellen. In A. Meroth & B. Tolg (Hrsg.), *Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug* (Vieweg Praxiswissen, 1. Aufl., S. 115–145). Wiesbaden: Vieweg.
- Rudlof, C. (2006). *Handbuch Software-Ergonomie: Usability Engineering* (2. Aufl.). Tübingen: Unfallkasse Post und Telekom.
- Sarodnick, F. & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung* (Praxis der Arbeits- und Organisationspsychologie, 1. Aufl.). Bern: Huber.
- Schmidt, R. F. (Hrsg.). (2010). *Physiologie des Menschen* (Springer-Lehrbuch, 31. Aufl.). Springer-Lehrbuch. Heidelberg: Springer.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung bei Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Seel, N. M. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen u.a: Hogrefe, Verl. für Psychologie.
- Shimoga, K. (1993a). A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: Part II. Finger touch feedback, In *Proceedings of the IEEE Virtual Reality International Symposium. September 18-22, 1993, Seattle, Washington*.

-
- Shimoga, K. (1993b). A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: Part I. Finger force feedback, In *Proceedings of the IEEE Virtual Reality International Symposium. September 18-22, 1993, Seattle, Washington*.
- Shneiderman, B. & Plaisant, C. (2010). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction* (5. Aufl.). Boston: Addison-Wesley.
- Siciliano, B. (2008). *Springer handbook of robotics*. Berlin [u.a.]: Springer.
- Son, J.S., Howe, R.D., Wang, J. & Hager, G.D. (1996). Preliminary results on grasping with vision and touch, In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. November 4-8, 1996, Osaka*.
- Spies, R. (2013). *Entwicklung und Evaluierungen eines Touchpadbedienkonzepts mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Menübedienung im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München. München.
- Spies, R., Blattner, A., Horna, G., Bubb, H. & Hamberger, W. (2009a). Entwicklung einer aufgabenorientierten Menüstruktur zur Infotainmentbedienung während der Fahrt. In A. Lichtenstein, C. Stößel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 (29)* (S. 411–416). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Spies, R., Hamberger, W., Blattner, A., Bubb, H. & Bengler, K. (2010). Adaptive Haptic Touchpad for Infotainment Interaction in Cars - How Many Information is the Driver Able to feel? In G. Salvendy & W. Karwowski (Hrsg.), *Advances in physical ergonomics* (S. 456–462). Boca Raton, Fla, London: CRC; Taylor & Francis [distributor].
- Spies, R., Peters, A., Toussaint, C. & Bubb, H. (2009b). Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Fahrzeuginfotainmentbedienung. In H. Brau (Hrsg.), *Usability Professionals 2009. Berichtband des siebten Workshops des German Chapters der Usability Professionals Association e.V.; [siebte Praxistagung der German UPA im Rahmen der Mensch & Computer Konferenz: 06.09. bis 09.09.2009 an der Humboldt-Universität zu Berlin]*. Stuttgart: Fraunhofer Verl.
- Stapelkamp, T. (2007). *Screen- und Interfacedesign: Gestaltung und Usability für Hard- und Software* (X.media.press). Berlin, New York: Springer.
- Tan, H. Z., Pang, X. D. & Durlach, N. I. (1992). Manual Resolution of Length, Force, and Compliance, In *ASME: Advances in Robotics, DSC-Vol. 42, ASME: Advances in Robotics, DSC-Vol. 42*. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter https://engineering.purdue.edu/~hongtan/pubs/PDFfiles/C05_Tan_ASME1992.pdf.
- Tan, H. Z., Srinivasan, M. A., Eberman, B. & Cheng, B. (1994). Human Factors for the Design of Force-Reflecting Haptic Interfaces, In *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Dynamic Systems and Control, DSC-Vol. 55-1*. Zugriff am 07.06.2013. Verfügbar unter https://engineering.purdue.edu/~hongtan/pubs/PDFfiles/C15_Tan_ASME1994.pdf.
-

-
- Timpe, K.-P. (2002). *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (22002. Aufl.). Düsseldorf: Symposion.
- Totzke, I., Rauch, N. & Krüger, H.-P. (2003). Kompetenzerwerb und Struktur von Menüsystemen im Fahrzeug: "Breiter ist besser?". In VDI-Fortschritt-Berichte, C. Steffens, M. Thüring & L. Urbas (Hrsg.), *Entwerfen und Gestalten* (Reihe 22, Bd. 16). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Totzke, I., Schmidt, G. & Krüger, H.-P. (2003). *Mentale Modelle von Menüsystemen: Bedeutung kognitiver Repräsentationen für den Kompetenzerwerb* (Universität Würzburg, Hrsg.). Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften. Verfügbar unter http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/methoden/texte/2003_totzke_krueger_Mentale_Modelle_von_Menue%FCsystemen.pdf.
- Treede, R.-D. (2010). Das somatosensorische System. In R. F. Schmidt (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (Springer-Lehrbuch, 31. Aufl., S. 272–297). Heidelberg: Springer.
- Treisman, A. (1964). Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3 (6), 449.
- VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik. (1993). *VDI-Richtlinie: VDI 2221. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte* (VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, Hrsg.).
- Wandmacher, J. (1993). *Software-Ergonomie* (Mensch Computer Kommunikation. Grundwissen, Bd. 2). Berlin, New York: W. de Gruyter.
- Weiss, T. (2001). Neurophysiologische Grundlagen des zentralen somatosensorischen Systems. In M. Grunwald (Hrsg.), *Der bewegte Sinn* (S. 39–52). Basel [u.a.]: Birkhäuser.
- Welford, A. T. (1952). The 'Psychological Refractory Period' and the timing of High-Speed Performance: A review and a theory. *British Journal of Psychology. General Section*, 43 (1), 2-19.
- Wickens, C. D. (1984). Attention, Time-Sharing and Workload. In C. D. Wickens (Hrsg.), *Engineering psychology and human performance* (S. 291–334). Columbus u.a: Merrill.
- Wickens, C. D. (Hrsg.). (2009). *Engineering psychology and human performance* (3. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y. & Gordon-Becker, S. (Hrsg.). (2004a). *An introduction to human factors engineering* (2. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y. & Gordon-Becker, S. (2004b). Cognition. In C. D. Wickens, J. D. Lee, Y. Liu & S. Gordon-Becker (Hrsg.), *An introduction to human factors engineering* (2. Aufl., S. 120–155). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
-

Wigdor, D. & Wixon, D. (2010). *Brave NUI world: Designing natural user interfaces for touch and gesture*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann.

Zieschang, H. (2004). *Ergonomische Anforderungen an Multifunktionsstellteile bei Erdbaumaschinen* (BGAG-Report, Bd. 2004,2). Sankt Augustin: HVBG.

Abbildungsverzeichnis

1-1:	Aufbau der Arbeit	9
2-1:	Strukturbild eines Mensch-Maschine-Systems in Anlehnung an Bubb & Schmidtke (1993)	13
2-2:	Teilsystem Maschine in Anlehnung an Bubb (1993a)	15
2-3:	Informationsverarbeitungsprozess des Menschen (Wickens, 2009; Wickens, Lee, Liu & Gordon-Becker, 2004a)	16
2-4:	Aufteilung der menschlichen Sinne in Anlehnung an Reisinger & Wild (2008) und Kern (2009)	19
2-5:	Schematische Darstellung einer einfachen Menüstruktur	40
2-6:	Schematische Darstellung einer linearen Menüstruktur	41
2-7:	Schematische Darstellung einer hierarchischen Menüstruktur	41
2-8:	Schematische Darstellung einer vernetzten Menüstruktur	42
2-9:	Schematische Darstellung einer heterarchischen Menüstruktur	43
2-10:	Schematische Darstellung der breiten und tiefen Menüvariante aus den Untersuchungen von Totzke et al. (2003)	45
2-11:	Prinzip der „virtuellen Desktops“	47
3-1:	Zwei verschiedene Arten eines haptischen Feedbacks auf einem Touchpad zur Bedienung der auf dem Display dargestellten Menüfunktionen (oben)	51
3-2:	Abbildungsprinzip für die auswählbaren Menüfunktionen und Funktionsweise der beiden Touchpad-Prototypen mit reellem haptischen Feedback (links) und simuliertem haptischen Feedback (rechts)	56
3-3:	Versuchsablauf der durchgeführten Realfahrtstudie zum Vergleich von reellem und simuliertem haptischen Feedback	62

3-4:	Bediendauer der Probanden zur Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback.....	64
3-5:	Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpad-Varianten	66
3-6:	Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOs während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpad-Varianten.....	67
3-7:	StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Lenkwinkels während der Erledigung der drei Menübedienungsaufgaben mithilfe der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback	69
3-8:	Subjektive Bewertung der beiden Touchpad-Varianten anhand der sechs gestellten Fragen	70
3-9:	Subjektive Bewertung der beiden Touchpads mit reellem und simuliertem haptischen Feedback anhand des Attrakdiff Fragebogens	71
3-10:	CAD-Darstellung des Gesamtbedienteils „Haptisches Touchpad“	73
3-11:	Gesamtes Haptik-Modul des haptischen Touchpads	75
3-12:	Matrix aus 14 x 9 einzelnen Haptik-Elementen	75
3-13:	Abbildungsprinzip des haptischen Touchpads	76
3-14:	Abbildungsbeispiel für fünf Listeneinträge (links) und neun Tastenelemente (rechts)	77
3-15:	Das haptische Touchpad	77
4-1:	Zusätzliche Interaktionsarten des haptischen Touchpads und die zugehörigen Bedienbereiche	79
4-2:	Versuchsablauf der durchgeführten Fahrsimulatorstudie zur Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads mit den kritischen Aufgaben.....	89

4-3:	Bediendauer der Probanden zur Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads	93
4-4:	Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten	95
4-5:	Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOIs während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads	96
4-6:	StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Abstand zum Vordermann während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten	98
4-7:	Spurübertretungen sowie StAbw des Lenkwinkels und der Distance-To-Line während der Erledigung der Menübedienungsaufgaben mithilfe der Interaktionsarten des haptischen Touchpads	100
4-8:	Subjektive Bewertung von Bedienung und Ablenkung bei der Verwendung der Interaktionsarten des haptischen Touchpads für die verschiedenen Menüaufgaben	101
4-9:	Angabe der Rangordnung (Platz 1) der Interaktionsarten für die kritischen Menüaufgaben	102
5-1:	Der Hauptmenü-Screen	112
5-2:	Das Hauptmenü mit den sechs frei belegbaren Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Navigation (NAV)	112
5-3:	Das Hauptmenü mit den beiden zugehörigen Seitenmenüs	113
5-4:	Das Standardmenü (zweite Menüebene) im Handschrifteingabemodus	115
5-5:	Das Standardmenü (zweite Menüebene) im Listenmodus	116
5-6:	Das Standardmenü mit den drei zugehörigen Seitenmenüs	117

5-7:	Das aufgabenorientierte Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) für den Zustand eines ausgewählten Listenelements	119
5-8:	Das aufgabenorientierte Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) für den Zustand eines aktiven Anrufs.....	120
5-9:	Hauptmenüsreen mit acht Hauptgruppen und die zugehörige Darstellung der bedienbaren Elemente auf dem haptischen Touchpad.....	122
5-10:	Hauptmenüsreen mit drei belegten und drei freien Plätzen für sechs mögliche Favoritenfunktionen der Hauptgruppe Navigation (NAV)	122
5-11:	Standardmenüsreen (zweite Menüebene) der Hauptgruppe Telefon (TEL) im Handschrifteingabemodus.....	123
5-12:	Standardmenüsreen (zweite Menüebene) der Hauptgruppe Telefon (TEL) im Listenmodus	124
5-13:	Linkes Seitenmenü (File-Menü) der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit zwei Drop-Down Funktionen (angedeutet durch den nach unten weisenden Pfeil).....	125
5-14:	Rechtes Seitenmenü (Edit-Menü und Setting-Menü) der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit drei Drop-Down Funktionen und der Vernetzung zum Tone-Menü.....	125
5-15:	Rechtes Seitenmenü der Hauptgruppe Navigation (NAV) mit geöffneter Drop-Down Funktion „Routen-Einstellungen“ und den untergeordneten als Flip-Flop Schalter umgesetzten Optionen	126
5-16:	Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) mit fünf aufgabenorientiert angebotenen Funktionen bei einem ausgewähltem Listeneintrag (Zumba, Carina).....	127
5-17:	Aktionsmenü der Hauptgruppe Telefon (TEL) mit einer aufgabenorientiert angebotenen Funktion bei aktivem Anruf.....	127
5-18:	Equalizer-Screen der Klangeinstellungen (Tone-Menü) mit als Slider ausgeführten Funktionen	128

6-1:	Menüscreen der Hauptgruppe Navigation (Audi, 2013) und Bedienelement (Auto Zeitung, 2013) des Dreh-Drück-Steller (DDS) Serienbedienkonzepts aus dem aktuellen Audi A3	130
6-2:	Versuchsablauf der durchgeführten Fahrsimulatorstudie zur Evaluation des entwickelten Gesamtbedienkonzepts	137
6-3:	Bediendauer der Probanden zur Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte	140
6-4:	Kumulierte Blickdauer, Anzahl der Blicke und Verkehrsblindheitsquotient der Versuchspersonen während der Erledigung der sechs Usecases	142
6-5:	Maximale und mittlere Blickdauer auf die AOIs während der Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte	143
6-6:	StAbw der Geschwindigkeit, der Gaspedalstellung und des Abstand zum Vordermann während der Erledigung der sechs Usecases	145
6-7:	Spurübertretungen sowie StAbw des Lenkwinkels und der Distance-To-Line während der Erledigung der sechs Usecases mithilfe der beiden verglichenen Gesamtbedienkonzepte	146
6-8:	Subjektive Bewertung von Bedienbarkeit und Struktur bei der Verwendung der beiden Gesamtbedienkonzepte für die sechs Usecases	148
6-9:	Subjektive Bewertung der beiden Gesamtbedienkonzepte anhand des ISONORM 10 Fragebogens	149
6-10:	Subjektive Bewertung der beiden Gesamtbedienkonzepte anhand des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens	150

Tabellenverzeichnis

2-1:	Mechanorezeptoren der Haut und ihre Eigenschaften nach Beyer & Weiss (2001), Doerrerr (2004), Kern (2009), Treede (2010) und DIN EN ISO 9241-920.....	25
2-2:	Parameter und Kennwerte der haptischen Wahrnehmung der menschlichen Hand nach Doerrerr (2004)	27
2-3:	Empfehlungen zu Drucktastern und Randbedingungen der Kenngrößen haptischer Wahrnehmung nach Mischler (2013).....	29
2-4:	Zusammenstellung von Richtlinien und Normen für die ergonomische Gestaltung eines Fahrerinformationssystems im Hinblick auf eine optimierte Mensch-Maschine Interaktion in Anlehnung an Mischler (2013).....	38
3-1:	Zusammenstellung nutzbarer Akteurprinzipien nach Kern et al. (2009).....	54
3-2:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer.....	64
3-3:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten	65
3-4:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten	67
3-5:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen und lateralen Fahrdaten	68
3-6:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der sechs gestellten Fragen.....	70
3-7:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des Attrakdiff Fragebogens	71
4-1:	Zuordnung der Interaktionsarten zu den kritischen Aufgabentypen	83
4-2:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer.....	92

TABELLENVERZEICHNIS

4-3:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten	94
4-4:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten	96
4-5:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen Fahrdaten.....	97
4-6:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der lateralen Fahrdaten.....	99
4-7:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der gestellten Fragen	101
5-1:	Basis- bzw. Steuerelemente und deren Ausführungen zur Realisierung der Einzelfunktionen (Rudlof, 2006)	110
6-1:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für den Kennwert Bediendauer.....	139
6-2:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der aggregierten Blickdaten	141
6-3:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der Einzelblickdaten	142
6-4:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der longitudinalen Fahrdaten.....	144
6-5:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Kennwerte der lateralen Fahrdaten.....	145
6-6:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand der gestellten Fragen	148
6-7:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des ISONORM 10 Fragebogens	149
6-8:	Ergebnisse der statistischen Auswertung für die subjektive Bewertung anhand des MiniAttrakdiff 2 Fragebogens.....	149

Anhang A: Anforderungskatalog für die Entwicklung eines Touchpads mit haptischem Feedback zur Bedienung im Fahrzeug

Anforderungen an psychologische Faktoren	
	i.O.
<p>Konzipieren Sie die Mensch-Maschine Schnittstelle möglichst naturalistisch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • direkt dynamische Auswahl von Tasten ermöglichen • natürliche Darstellung von Information (intuitive Symbolik) • multimodal redundante Anbietung von Informationen (visuell, auditiv, haptisch) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Beachten Sie bei der multimodalen Auslegung des Systems die Eigenschaften der einzelnen Sinneskanäle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>visuell</u> Hohe Informationsdichte, für zeitkritische Wahrnehmungen geeignet • <u>auditiv</u> Mittlere Informationsdichte, zeitl. eher unkritische Wahrnehmungen • <u>taktil</u> Geringe Informationsdichte, für zeitkritische Wahrnehmungen 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Beachten Sie die Eigenschaften der menschlichen Reizverarbeitung und des Gedächtnisses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht mehr als 7±2 Chunks für Objektdarstellungen verwenden • Verwenden Sie Symbole und Zeichen mit hoher und eindeutiger semantischer Bedeutung • Verwenden Sie unabhängige Ressourcen <p>Unabhängige Ressourcen existieren für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - visuelle, auditive Modalitäten - räumliche und verbale Kodierung - motorische, sprachliche Reaktionsausführungen - bzw. „Entkoppeln“ Sie abhängige Ressourcen 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Wählen Sie Darstellungen auf Touchpadoberflächen welche möglichst die drei Gestaltungsmaxime erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Funktionsmaxime</u> erfüllen → Die Dimensionalität der Schnittstelle und Aufgabe anpassen • <u>Rückmeldemaxime</u> erfüllen → Möglichst geringe Reaktionszeit des Systems, aber max. 200ms • <u>Kompatibilitätsmaxime</u> erfüllen → Gestaltete Objekte und Menüformen sollten die Regeln der primären inneren, äußeren und sekundären Kompatibilität erfüllen 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Anforderungen an die Gestaltung haptischer Bedienelemente	
	i.O.
<p>Beachten Sie allgemein die Möglichkeit, dass Objekte auf einem Touchpad mit haptischem Feedback real oder simuliert erzeugt werden können. Nutzen Sie diese Möglichkeit anwendungsfallbasiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung realer Bedienobjekte → z.B. für die Erzeugung realitätsnaher Formen und Bedienverhalten • Verwendung simulierter Oberflächen → z.B. Vortäuschen von Oberflächeneigenschaften, Ereignissen, etc. 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Die folgenden Gestaltungshinweise für Menüoberflächen unterstützen eine gewollt geführte Bewegung auf der Menüoberfläche :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermeiden Sie diagonale Bewegungen. Fördern Sie die Vorzugsrichtungen (vertikal und horizontal) • Unterstützen Sie die Zielbewegung durch Führungskräfte („supporting forces“) • Sehen Sie inaktive Flächen von 5 mm Breite (Radius) um das Zielsymbole herum vor 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Folgende Anforderungen und Gestaltungshinweise an Buttonformen sollten ergänzend bei der Gestaltung der Menüoberfläche in den Entwurf mit einbezogen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ecken von Symbolen und Buttons müssen klar und einfach abtastbar sein • Scharfe Kanten und Ecken erzeugen bei einer Relevanz der Konturerkennung • Einfache Formen verwenden • Verwendung von Orientierungslinien, -punkten falls ein Arrangement besteht • Formen müssen einfach wiederzuerkennen sein • Haptische Unterscheidung der einzelnen Funktionen (z.B. mittels unterschiedlicher Formen, Materialien oder Oberflächen der Bedienelemente) • Zur Erzeugung von haptischen Objekten die Grundformen Linie, Kreisbogen, Punkt bzw. Rechtecke, Dreiecke, Kreise verwenden • Konvexe Reliefs unterstützen die Exploration räumlicher Anordnungen • Konkave Reliefs halten den Nutzer und fördern die Konturerkennung • Ausreichende Kontaktflächen bei Buttons vorsehen • Zusammengehörigkeit von Bedienelementen durch Formgebung unterstützen • Rückschlüsse auf die Funktion des Bedienelements durch Formgebung und entsprechende Zuordnung von Piktogrammen ermöglichen (z.B. Pfeiltasten) 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Folgende Gestaltungshinweise sind für die Kraft-Weg-Kennlinie zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Kraft-Weg-Verlauf des Tasters sollte langsam ansteigen und am Druckpunkt abfallen • Eine Modellierung der Kraft-Weg Kennlinie mittels ausgezeichneter Stellen ist vorteilhaft, da sie in der Literatur größtenteils einheitlich definiert ist und somit vergleichbar macht 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Bei der Modellierung haptischer Elementen (Buttons) auf Haptik-Touchpads sollten des Weiteren folgende Richtwerte beachtet werden:



Parameter	Einheit	KenngroÙe
Durchschnittliche Kontaktkraft (während des Tastvorgangs)	[N]	0,3-4,5 ¹
Optimale Stellkraft (Druckschwelle)	[N]	3-5 ² ; 2,4 ³ ; 4 ⁴ ; 5 ⁵ (minimal)
Minimale Unterschiedsschwelle bei Kraftsprung	[N]	0,14
Optimaler Kraftabfall am Schaltpunkt	[%]	35-50 ⁴
Optimaler Hub	[mm]	0,4-2 ⁶ ; 2-5 ¹ ; 7 ⁴
Minimaler Kantenabstand	[mm]	5-10 ⁶
Maximale Hautdeformation	[mm]	3,5 ¹
Buttondurchmesser ⁷	[mm]	minimal 10 ⁸ bzw. 15 ⁹ mittel 12 bzw. 20 maximal 24 bzw. 28
Lichte Abstände zwischen Bedienelementen	[mm]	5 ¹⁰ ; 37 (minimal), 77 (maximal)
Durchschnittliche Abtastgeschwindigkeit	[cm/s]	21
Vibrationsschwelle	[µm] [Hz]	16 100-200 ⁶ ; 200-300 ¹¹ ; 250 ¹²

¹ Jungmann (2004)

² Meroth und Tolg (2008)

³ Bubb (2001)

⁴ Anguelov (2009)

⁵ DIN EN ISO 9241-920

⁶ Schmidt (2010)

⁷ Zieschang (2004), (Tastschalter)

⁸ Fingerbetätigung

⁹ Daumenbetätigung

¹⁰ DIN EN ISO 9241

¹¹ Kern (2009)

¹² Siciliano (2008)

Gestaltung des Systems „Haptik-Touchpad“ im Cockpit				
			i.O.	
<p>Gestaltungshinweise für die Position lauten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anbringung des Touchpads im Cockpitbereich für tertiäre Aufgaben • Anbringung des Touchpads möglichst an einer Stelle an welcher sich der bedienende Arm bzw. die bedienende Hand in Normal- (Null-) Stellung befindet → optimaler Greifraum • Eine Anbringung des Touchpads bzw. Darstellungen von Tastern im Auflage- und Abstützbereichen ist möglichst zu vermeiden 				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Gestaltungshinweise für Abmaße des Touchpads lauten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das 5.te Perzentil der weiblichen Hand- und Fingermaße sollte in die Auslegungsberechnung der Abmaße mit einbezogen werden, da alle Elemente durch Fingerbewegungen und -spreizungen erreichbar sein sollten (Normallage der Hand nicht verlassen) • Die Größe des Touchpads sollte eine schnelle und genaue Zieleingabe unterstützen 				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>Gestaltungshinweise für die Form der Touchpadoberfläche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei Trennung von Anzeige und Bedienung den Umcodieraufwand gering halten. Schlussfolgerungen legen eine rechteckige Form (rein vertikale, horizontale Ränder) nahe 				<input type="checkbox"/>
<p>Folgenden Abmessungen aus der Literatur können als Anhaltspunkte für die Dimensionierung der Gesamtoberfläche eines rechteckigen Touchpads herangezogen werden:</p>				<input type="checkbox"/>
<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>Kenngroße</i>		
Geforderter Arbeitsraum	[mm ³]	100x50x50		
Maximaler Arbeitsraum	[mm ³]	150x100x100		
<p>Eigene Überlegungen legen ergänzend folgende ergonomisch optimierte Dimensionierung des Touchpads in Abhängigkeit des Geschlechts und Perzentils nahe:</p>				<input type="checkbox"/>
<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>5. Perzentil, weiblich</i>	<i>95. Perzentil, männlich</i>	
f (Breite)	[mm]	63	83	
g (Länge)	[mm]	110	134	
A _{ges}	[mm] ²	6930	11122	

ANHANG

Unabhängig von Geschlecht und Perzentil ergeben sich so grobe Richtwerte für die Dimensionierung der Oberfläche			<input type="checkbox"/>
<i>Kürzel</i>	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	
Länge l	[mm]	≈ 110	
Breite b	[mm]	≈ 60	
Verhältnis (l/b)	[-]	≈ 1,7	
A_{ges}	[mm ²]	≈ 5000-7000	
Zusätzlich ist zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Radial- und Ulnarabduktion der Hand, über eine unsymmetrische Anbringung des Touchpads relativ zur Handablage, nachgedacht werden sollte. Die verwendete Näherung legt ein Verhältnis von ungefähr 0,7 nahe.			<input type="checkbox"/>

Anhang B: Leitfaden, Vorabfragebogen und Attrakdiff für die Realfahrtstudie „Vergleich reelles und simuliertes haptisches Feedback“

Studienleitfaden

Versuchsleiter: _____

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

1. Technikcheck:

ToDo: Testobjekt überprüfen
Laptop hochfahren
Beide Bedienteile anschließen
Applikation(en) starten
Test: Alle Systeme funktionsfähig?
System steht auf „Anfang“?

2. Begrüßung der Testperson:

ToDo: Erklärung des „Vorlesens“ zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse

ToDo: Begrüßung der Testperson

„Guten Tag Herr/Frau...! Herzlich willkommen bei unserer Studie zum Thema „Vergleich zweier Touchpads mit unterschiedlichem Feedback“. Zunächst einmal herzlichen Dank für Ihre Bereitschaft, an unserem Test teilzunehmen und für Ihr Kommen. Wir hoffen auf eine gute Zusammenarbeit und wünschen Ihnen viel Spaß bei unserem Test.“

ToDo: Vorabfragebogen ausfüllen lassen

3. Vorstellung der Studie:

ToDo: Vorstellung der Studie

Die Studie, die wir hier mit Ihnen heute durchführen, vergleicht die Bedienbarkeit und Benutzerfreundlichkeit von zwei neuartigen Bedienteilen. Es handelt sich hierbei um **Prototypen** in der ersten Entwicklungsphase. Das **Ziel** dieser Studie ist es, verschiedene Formen des haptischen Feedbacks miteinander zu vergleichen.

Die zwei Bedienteile unterscheiden sich durch ihre Touchpad-Technologie. Ein Touchpad hat eine glatte, das andere eine erfühlbare Oberfläche. In Ihrem Test werden Sie heute beide Bedienteile mit verschiedenen Aufgaben testen. **Bitte fassen Sie noch nicht das Bedienteil an.** Die genaue Bedienung werde ich Ihnen später erläutern.

Ihre Aufgabe als Proband wird es nun sein, im Testfahrzeug eine bestimmte Strecke zu fahren, und dabei die von mir gestellten Aufgaben mittels des jeweiligen Bedienteils zu lösen. Während des Test werden beim Lösen der Aufgaben voraussichtlich Probleme auftauchen. Es soll hier nicht darum gehen, Ihre Fähigkeiten im Umgang mit technischen Geräten zu testen. Nicht Sie, sondern das Produkt wird getestet. Sie können daher bei den Tests nichts falsch machen, aber **wichtig** ist es, dass Sie bei der Bearbeitung der Aufgaben **das Fahrzeug auf der Straße halten**. Starten Sie bitte die von mir gestellten Aufgaben jeweils erst dann, wenn Sie sich beim Fahren sicher fühlen.

Während des Tests werden verschiedene Daten erhoben. Abgesehen von den Messdaten des Systems werden wir während der gesamten Fahrt Ihre Blickbewegungen mit Hilfe einer Brille messen. Sollte diese während des Tests drücken bzw. das Tragen unangenehm werden, fassen Sie bitte nicht an die Brille, sondern sagen Sie laut Bescheid, damit wir sie wieder richtig einstellen können. Alle Daten werden nur anonymisiert für die Studie verwendet werden. Wären Sie damit einverstanden?

Wir sind sehr an Ihrer **persönlichen Meinung** bzgl. der Bedienbarkeit und Nützlichkeit dieses Bedienteils interessiert. Wir würden uns also freuen wenn Sie sich während der Aufgaben spontan zu der Bedienung äußern würden, aber denken Sie bitte auch daran, dass die Bedienzeit der Aufgaben eine Rolle spielt. Bitte vermeiden Sie daher längere Diskussionen da diese die Zeiten stark verfälschen würde. Sie haben am Ende einer Versuchsreihe ausreichend Zeit über Fragen oder Anregungen zu diskutieren.

Der Test umfasst insgesamt 3 unterschiedliche Aufgaben und dauert ca. eine Stunde. Haben Sie sonst noch weitere Fragen zum Testablauf?

4. Erklärung Bedienteil:

ToDo: Erklärung des ersten Touchpads (je nach Plan, mit realem oder simuliertem haptischem Feedback)

Hardkeys erklären
Highlighten zeigen Cursor ohne Cursor
Bedienlogik zeigen
Auswahl zeigen

ToDo: Beispielaufgaben

Haben Sie sonst noch weitere Fragen zur Bedienung?

ToDo: Einführung zum Start der Aufgaben

Wir werden nun mit den Aufgaben starten. Dies ist meine Aufgabenübersicht, über die ich die jeweiligen Aufgaben aufrufe. Ich werde Ihnen die Aufgaben vorlesen und bitte Sie, die jeweilige Aufgabe erst dann zu starten, wenn ich alle Einstellungen vorgenommen und Ihnen Bescheid gegeben habe. Noch zur Info für Sie: Dies ist ein Testsystem und nur für diesen Zweck konzipiert. Sie können darin nichts kaputt machen oder irgendwelche Einstellungen verstellen. Also keine Sorge falls Sie sich mal „verkllicken“ sollten. Sie werden dann vom System informiert und können in den vorherigen Zustand zurück kehren.

Wenn Sie sich bei der Bearbeitung der Aufgaben unwohl fühlen oder eine Unsicherheit im Straßenverkehr feststellen können Sie jederzeit den Test abbrechen. Die Sicherheit steht an erster Stelle und wir möchten dass sie möglichst Spaß und nicht Stress während des Tests empfinden.

ToDo: Screencam und Brillen-Aufnahme starten

Falls nicht schon geschehen, starten Sie bitte jetzt den Motor und fahren Sie Richtung X. Wir werden dann mit der ersten Aufgabe starten wenn wir auf der Autobahn angekommen sind.

ToDo: Warten bis Fahrzeug vom Gelände im „normalen Verkehr“ eingegliedert ist

5. Testdurchführung:

Aufgabe A1_REH (VRS) Zieleingabe aus den letzten Zielen:

Sie sind auf der Autobahn unterwegs und möchten jetzt nach Garching fahren. Dort waren Sie vor wenigen Tagen schon einmal, deshalb befindet sich das Ziel unter den „letzten Zielen“. Bitte wählen Sie das Ziel „Garching“ aus der Liste der letzten Ziele aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

Aufgabe A2_REH (AKA) Anrufen eines Kontaktes nach Auswahl im Telefonbuch:

Sie möchten Ihren Freund Stefan Boll anrufen. Bitte gehen Sie dafür ins Telefonbuch und wählen Sie den Kontakt „Boll, Stefan“ aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

Aufgabe A3_REH (ANS) Einstellung der Navilautstärke von 8 auf 2 mit Hilfe des Sliders:

Die Sprachausgabe Ihres Navigationssystems ist zu laut. Sie möchten die Lautstärke des Navigationssystems verringern. Bitte stellen Sie unter dem Menüpunkt „Einstellungen“ die Lautstärke auf den Wert 2 ein. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

ToDo: Überleitung von Versuchsteil 1 zu 2

Die ersten Aufgaben mit dem Bedienteil sind nun abgeschlossen. Bitte fahren Sie auf den Parkplatz, damit wir mit den weiteren Schritten fortfahren können.

ToDo: Warten bis Fahrzeug am Parkplatz angekommen ist

Zuerst würden wir Ihnen gerne einige Fragen zu den vorherigen Aufgaben stellen:

ToDo: Fragen zu Aufgabe A1-3_REH

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung bei den durchgeführten Aufgaben?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie gut sind die einzelnen Elemente auf dem Touchpad zu finden?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie gut funktioniert die Auswahl der einzelnen Elemente (Drücken)?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie angenehm empfanden Sie die Bedienung des Touchpads?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie sicher fühlten Sie sich, was die Durchführung der Aufgaben betrifft (Auswahl des richtigen Elementes, korrekte Bedienhandlung)?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

ToDo: Fragbogen Attrakdiff

ToDo: Umbau Bedienteil 1 zu 2

ToDo: Erklärung des zweiten Touchpads (je nach Plan, mit oder ohne haptischem Feedback)

ToDo: Beispielaufgaben

Aufgabe A1_SIM (VRS) Zieleingabe aus den letzten Zielen:

Sie sind auf der Autobahn unterwegs und möchten jetzt nach Garching fahren. Dort waren Sie vor wenigen Tagen schon einmal, deshalb befindet sich das Ziel unter den „letzten Zielen“. Bitte wählen Sie das Ziel „Garching“ aus der Liste der letzten Ziele aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

Aufgabe A2_SIM (AKA) Anrufen eines Kontaktes nach Auswahl im Telefonbuch:

Sie möchten Ihren Freund Stefan Boll anrufen. Bitte gehen Sie dafür ins Telefonbuch und wählen Sie den Kontakt „Boll, Stefan“ aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

Aufgabe A3_SIM (ANS) Einstellung der Navilautstärke von 8 auf 2 mit Hilfe des Sliders:

Die Sprachausgabe Ihres Navigationssystems ist zu laut. Sie möchten die Lautstärke des Navigationssystems verringern. Bitte stellen Sie unter dem Menüpunkt „Einstellungen“ die Lautstärke auf den Wert 2 ein. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Beobachtungen:

ANHANG

Vielen Dank, der zweite Teil der Studie ist damit abgeschlossen. Bitte fahren Sie auf den Parkplatz, damit wir mit den weiteren Schritten fortfahren können.

ToDo: Warten bis Fahrzeug am Parkplatz angekommen ist

Auch hier würden wir Ihnen gerne einige Fragen zu den vorherigen Aufgaben stellen:

ToDo: Fragen zu Aufgabe A1-3_SIM

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung bei den durchgeführten Aufgaben?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie gut sind die einzelnen Elemente auf dem Touchpad zu finden?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie gut funktioniert die Auswahl der einzelnen Elemente (Drücken)?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie angenehm empfanden Sie die Bedienung des Touchpads?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

Wie sicher fühlten Sie sich, was die Durchführung der Aufgaben betrifft (Auswahl des richtigen Elementes, korrekte Bedienhandlung)?					
<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---

ToDo: Fragbogen Attrakdiff

Welches der beiden Bedienteile würden Sie bevorzugen?	
<input type="checkbox"/> Simulierte Haptik	<input type="checkbox"/> Reelle Haptik
Grund:	

ToDo: Programme/ Systeme stoppen

ToDo: Warten bis man wieder am Startpunkt angekommen ist

Wenn Sie sonst keine Fragen mehr haben, wäre der Test damit komplett beendet. Vielen Dank für Ihre Zeit und Ihre Unterstützung. Ohne Ihre Bereitschaft zur Teilnahme wäre die Weiterentwicklung solcher Technologien nicht möglich.

6. Unterlagen sichten und ablegen:

ToDo: Videodatei (Brille) sichern

ToDo: Videodatei (Screencam) sichern

ToDo: Notizen mit TP-Name und Datum versehen und ablegen

ToDo: Testgeräte auf den Ausgangszustand zurücksetzen

Vorabfragebogen

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Liebe/r Versuchsteilnehmer/-in,
vielen Dank, dass Sie an unserer Studie teilnehmen. Bevor wir mit der Durchführung
starten bitte ich Sie, die folgenden Fragen zu beantworten:

In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 _____

Welchen Beruf üben Sie aus? _____

Geschlecht: männlich weiblich
Sind Sie: Linkshänder Rechtshänder beides

An wie vielen Tagen pro Woche nutzen Sie Ihr Fahrzeug?

5-7 Tage / Woche 3-4 Tage / Woche
1-2 Tage / Woche weniger als 1 Tag / Woche

Wie viele km fahren Sie in etwa pro Jahr?

Weniger als 5.000 5.000 – 10.000
10.000 – 20.000 mehr als 20.000

Wann bedienen Sie das Infotainment-System?

hauptsächlich vor der Fahrt
hauptsächlich während der Fahrt
gleichermaßen vor und während der Fahrt

Gibt es Ihrerseits Verbesserungsvorschläge / Wünsche bzgl. der Bedienung?

ANHANG

Besitzen / Verwenden Sie eines oder mehrere der folgenden Geräte und wie häufig nutzen Sie diese/s?

	sehr selten	selten	oft	sehr oft
<input type="checkbox"/> Nie				
<input type="checkbox"/> PC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Betriebssystem: _____

<input type="checkbox"/> Handy / Smartphone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Welches? _____

<input type="checkbox"/> iPod/MP3-Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Welchen? _____

<input type="checkbox"/> PDA / Organizer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Stereoanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> DVD-Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> mobiles Navigerät (z. B. TomTom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welches? _____

<input type="checkbox"/> Acrobat Reader	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> MS Office Produkte (z. B. Outlook, Word)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Privates Home-Netzwerk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Touchpad am Laptop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Touchpad mit Gesten-Eingabe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Attrakdiff-Fragebogen

Bedienelement:	Touchpad mit reeller / simulierter Haptik
VPN-Nr.:	
Datum:	

Nachfolgend finden Sie Wortpaare, mit deren Hilfe Sie eine Beurteilung des soeben bedienten Produktes vornehmen können. Sie stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen eine Abstufung möglich ist.

Denken Sie nicht lange über die Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte die Einschätzung ab, die Ihnen spontan in den Sinn kommt. Vielleicht passen einige Wortpaare nicht so gut auf das Produkt, kreuzen Sie aber trotzdem bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

technisch	<input type="checkbox"/>	menschlich
kompliziert	<input type="checkbox"/>	einfach
unpraktisch	<input type="checkbox"/>	praktisch
umständlich	<input type="checkbox"/>	direkt
unberechenbar	<input type="checkbox"/>	voraussagbar
verwirrend	<input type="checkbox"/>	übersichtlich
widerspenstig	<input type="checkbox"/>	handhabbar

isolierend	<input type="checkbox"/>	verbindend
laienhaft	<input type="checkbox"/>	fachmännisch
stilllos	<input type="checkbox"/>	stilvoll
minderwertig	<input type="checkbox"/>	wertvoll
ausgrenzend	<input type="checkbox"/>	einbeziehend
bringt mich Leuten näher	<input type="checkbox"/>	trennt mich von Leuten
nicht vorzeigbar	<input type="checkbox"/>	vorzeigbar

ANHANG

konventionell	<input type="checkbox"/>	originell
phantasielos	<input type="checkbox"/>	kreativ
vorsichtig	<input type="checkbox"/>	mutig
konservativ	<input type="checkbox"/>	innovativ
lahm	<input type="checkbox"/>	fesselnd
harmlos	<input type="checkbox"/>	herausfordernd
herkömmlich	<input type="checkbox"/>	neuartig

unangenehm	<input type="checkbox"/>	angenehm
hässlich	<input type="checkbox"/>	schön
unsympathisch	<input type="checkbox"/>	sympathisch
zurückweisend	<input type="checkbox"/>	einladend
schlecht	<input type="checkbox"/>	gut
abstoßend	<input type="checkbox"/>	anziehend
entmutigend	<input type="checkbox"/>	motivierend

Anhang C: Leitfaden, Vorabfragebogen für die Fahrimulator-Studie „Kombination der Interaktionsarten des haptischen Touchpads (HTP) mit den kritischen Aufgaben“

Studienleitfaden

Versuchsleiter: _____

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

1. Technikcheck:

ToDo: Testumfeld überprüfen
Fahrimulator hochfahren
Bedienteil testen
Applikation(en) starten
Test: Alle Systeme funktionsfähig?
System steht auf „Anfang“?

2. Begrüßung der Testperson:

ToDo: Erklärung des „Vorlesens“ zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse

ToDo: Begrüßung der Testperson

„Guten Tag Herr/Frau...! Herzlich willkommen bei unserer Studie zum Thema „Kombination von Interaktionsarten des HTP mit verschiedenen Menü-Funktionen“. Zunächst einmal herzlichen Dank für Ihre Bereitschaft, an unserem Versuch teilzunehmen und für Ihr Kommen. Wir hoffen auf eine gute Zusammenarbeit und wünschen Ihnen viel Spaß bei unserem Test.“

ToDo: Vorabfragebogen ausfüllen lassen

3. Vorstellung der Studie:

ToDo: Vorstellung der Studie

Die Studie, die wir hier mit Ihnen heute durchführen, vergleicht die Bedienbarkeit und Benutzerfreundlichkeit von Interaktionsarten des eingebauten Bedienteils zur Bedienung verschiedener Menü-Funktionen. Eine genauere Erläuterung der erwähnten Interaktionsarten wird im weiteren Verlauf der Einführung erfolgen. Bei dem Bedienteil handelt es sich um einen **Prototyp** in einer frühen Entwicklungsphase. Das **Ziel** dieser Studie ist es, die bestmögliche Kombination der Interaktionsarten des Bedienteils mit verschiedenen Menü-Funktionen zu untersuchen.

Das eingebaute Bedienteil unterscheidet sich von herkömmlichen Touchpads. Es weist keine glatte, sondern eine veränderliche und erfühlbare Oberfläche auf. Die genaue Bedienung werde ich Ihnen später erläutern.

Ihre Aufgabe als Proband wird es nun sein, mit dem Simulator-Fahrzeug die vorgegebene Strecke entlangzufahren, dabei dem vorausfahrenden Fahrzeug in konstantem Abstand zu folgen und die von mir gestellten Aufgaben mittels des Bedienteils zu lösen. Während des Tests können bei der Durchführung der Aufgaben aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums des Bedienteils Probleme auftauchen. Es soll hier nicht darum gehen, Ihre Fähigkeiten im Umgang mit technischen Geräten zu testen. Nicht Sie, sondern das Produkt wird getestet. Sie können daher bei den Tests nichts falsch machen, aber **wichtig** ist es, dass Sie bei der Bearbeitung der Aufgaben **das Fahrzeug auf der Straße halten und dem Fahrzeug vor Ihnen weiter folgen**. Starten Sie bitte die von mir gestellten Aufgaben jeweils erst dann, wenn ich die jeweilige Aufgabenstellung vorgelesen habe und Sie sich beim Fahren sicher fühlen.

Während des Tests werden verschiedene Daten erhoben. Abgesehen von den Messdaten des Systems werden wir während der gesamten Fahrt Ihre Blickbewegungen mit Hilfe einer Brille messen. Sollte diese während des Tests drücken bzw. das Tragen unangenehm werden, fassen Sie bitte nicht an die Brille, sondern sagen Sie laut Bescheid, damit wir sie wieder richtig einstellen können. Alle Daten werden nur anonymisiert für die Studie verwendet werden.

Zudem sind wir sehr an Ihrer **persönlichen Meinung** bzgl. der Bedienbarkeit und Nützlichkeit dieses Bedienteils interessiert. Wir würden uns also freuen wenn Sie sich während der Aufgaben spontan zu der Bedienung äußern würden, aber denken Sie bitte auch daran, dass die Bedienzeit der Aufgaben eine Rolle spielt. Bitte vermeiden Sie daher längere Diskussionen da diese die Zeiten stark verfälschen würde. Sie haben am Ende einer Versuchsreihe ausreichend Zeit über Fragen oder Anregungen zu diskutieren.

Der Test umfasst insgesamt 6 unterschiedliche Aufgaben und behandelt verschiedene Aufgabentypen zur Bedienung eines Menüs im Fahrzeug. Der gesamte Test dauert ca. 90 Minuten.

Haben Sie sonst noch weitere Fragen zum Testablauf?

4. Erklärung Bedienteil und Interaktionsarten:

ToDo: Erklärung des haptischen Touchpads (HTP)

*Hardkeys erklären
Highlighten zeigen
Bedienlogik zeigen
Auswahl zeigen*

ToDo: Erklärung der Interaktionsarten

*Seitliche Slidertaste (SLT)
Multitouch-Gesten (MGE)
Handschrifteingabe (WRI)*

ToDo: Beispielaufgaben bedienen lassen – im Stand

ToDo: Dikablis-Brille aufsetzen und kalibrieren

ToDo: Eingewöhnungsfahrt

ToDo: Beispielaufgaben bedienen lassen – während der Fahrt

ToDo: Einführung zum Start der Aufgaben

Wir werden nun mit den Aufgaben starten. Dies ist meine Aufgabenübersicht, über die ich die jeweiligen Aufgaben aufrufe. Ich werde Ihnen die Aufgaben vorlesen und bitte Sie, die jeweilige Aufgabe erst dann zu starten, wenn ich alle Einstellungen vorgenommen und Ihnen Bescheid gegeben habe. Noch zur Info für Sie: Dies ist ein Testsystem und nur für diesen Zweck konzipiert. Sie können darin nichts kaputt machen oder irgendwelche Einstellungen verstellen. Also keine Sorge falls Sie sich mal „verkllicken“ sollten. Sie werden dann vom System informiert und können in den vorherigen Zustand zurückkehren.

Wenn Sie sich bei der Bearbeitung der Aufgaben unwohl fühlen, können Sie jederzeit den Test abbrechen. Die Sicherheit und Ihr Wohlbefinden stehen an erster Stelle und wir möchten dass sie möglichst Spaß und nicht Stress während des Tests empfinden.

ToDo: Screencam, Brillen-Aufnahme und Audioaufnahme starten

ToDo: Proband losfahren lassen und mit Testdurchführung beginnen

5. Testdurchführung:

Aufgabe A1.a: Auswahl von "Ingolstadt" aus der "Letzte Ziele"-Liste

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte wählen Sie das Ziel „Ingolstadt“ aus der Liste der letzten Ziele aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte wählen Sie das Ziel „Ingolstadt“ aus der Liste der letzten Ziele aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Bitte wählen Sie das Ziel „Ingolstadt“ aus der Liste der letzten Ziele aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig mit einem Druck auf die Taste START beginnen.

Aufgabe A1.b: Auswahl des Kontakts "Huber, Markus" aus dem Telefonbuch

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte wählen Sie den Kontakt "Huber, Markus" aus dem Telefonbuch aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte wählen Sie den Kontakt "Huber, Markus" aus dem Telefonbuch aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Bitte wählen Sie den Kontakt "Huber, Markus" aus dem Telefonbuch aus. Wenn Sie sich bereit fühlen können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

Aufgabe A1.a und A1.b: FRAGEN

SLT (Seitliche Slidertaste)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der seitlichen Slidertaste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der seitlichen Slidertaste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

MGE (Multitouch-Gesten)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der Multitouch-Geste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der Multitouch-Geste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels direkter Schrifteingabe bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der direkten Schrifteingabe?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Aufgabe A1.a und A1.b: RANGORDNUNG

Bitte geben Sie die Platzierung der verwendeten Interaktionsarten für den durchgeführten Aufgabentyp an (mit Begründung)!

Seitliche Slidertaste		
Multitouch-Geste		
Direkte Schrifteingabe		

Aufgabe A2.a: Hineinzoomen in die Karte auf die (maximal-2). Zoomstufe

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte zoomen Sie auf die (maximal-2). Zoomstufe in die Karte hinein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte zoomen Sie auf die (maximal-2). Zoomstufe in die Karte hinein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

Aufgabe A2.b: Herauszoomen aus dem Foto auf die (minimal-2). Zoomstufe

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte zoomen Sie auf die (minimal-2). Zoomstufe aus dem Foto heraus. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte zoomen Sie auf die (minimal-2). Zoomstufe aus dem Foto heraus. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

Aufgabe A2.a und A2.b: FRAGEN

SLT (Seitliche Slidertaste)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der seitlichen Slidertaste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der seitlichen Slidertaste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

MGE (Multitouch-Gesten)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der Multitouch-Geste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der Multitouch-Geste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Aufgabe A2.a und A2.b: RANGORDNUNG

Bitte geben Sie die Platzierung der verwendeten Interaktionsarten für den durchgeführten Aufgabentyp an (mit Begründung)!

Seitliche Slidertaste		
Multitouch-Geste		

Aufgabe A3.a: Einstellen der Lautstärke der Navi-Ansagen auf den Wert "2"

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte stellen Sie die Lautstärke der Navi-Ansagen auf den Wert "2" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte stellen Sie die Lautstärke der Navi-Ansagen auf den Wert "2" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Bitte stellen Sie die Lautstärke der Navi-Ansagen auf den Wert "2" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

Aufgabe A3.b: Einstellen der Tonhöhe des Park-Assistenten auf den Wert "8"

SLT (Seitliche Slidertaste)

Bitte stellen Sie die Tonhöhe des Park-Assistenten auf den Wert "8" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

MGE (Multitouch-Gesten)

Bitte stellen Sie die Tonhöhe des Park-Assistenten auf den Wert "8" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Bitte stellen Sie die Tonhöhe des Park-Assistenten auf den Wert "8" ein. Wenn Sie sich bereit fühlen, können Sie die Aufgabe selbstständig durch Drücken der Taste START beginnen.

Aufgabe A3.a und A3.b: FRAGEN

SLT (Seitliche Slidertaste)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der seitlichen Slidertaste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der seitlichen Slidertaste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

MGE (Multitouch-Gesten)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels der Multitouch-Geste bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der Multitouch-Geste?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

WRI (Direkte Schrifteingabe)

Wie einfach empfanden Sie die Bedienung mittels direkter Schrifteingabe bei den durchgeführten Aufgaben?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Wie stark ablenkend von der eigentlichen Fahraufgabe empfanden Sie die Bedienung mit Hilfe der direkten Schrifteingabe?

<input type="checkbox"/> +++	<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --	<input type="checkbox"/> ---	???
------------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----

Aufgabe A3.a und A3.b: RANGORDNUNG

Bitte geben Sie die Platzierung der verwendeten Interaktionsarten für den durchgeführten Aufgabentyp an (mit Begründung)!

Seitliche Slidertaste		
Multitouch-Geste		
Direkte Schrifteingabe		

6. Daten sichern, Unterlagen sichten und ablegen:

ToDo: Videodatei (Brille) sichern

ToDo: Videodatei (Screencam) sichern

ToDo: Audioaufnahme sichern

ToDo: Fahrdaten sichern

ToDo: Notizen mit TP-Name und Datum versehen und ablegen

ToDo: Testgeräte auf den Ausgangszustand zurücksetzen

Vorabfragebogen

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Liebe/r Versuchsteilnehmer/-in,
vielen Dank, dass Sie an unserer Studie teilnehmen. Bevor wir mit der Durchführung
starten bitte ich Sie, die folgenden Fragen zu beantworten:

In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 _____

Welchen Beruf üben Sie aus? _____

Geschlecht: männlich weiblich
Sind Sie: Linkshänder Rechtshänder beides

An wie vielen Tagen pro Woche nutzen Sie Ihr Fahrzeug?

5-7 Tage / Woche 3-4 Tage / Woche
1-2 Tage / Woche weniger als 1 Tag / Woche

Wie viele km fahren Sie in etwa pro Jahr?

Weniger als 5.000 5.000 – 10.000
10.000 – 20.000 mehr als 20.000

Wann bedienen Sie das Infotainment-System?

hauptsächlich vor der Fahrt
hauptsächlich während der Fahrt
gleichermaßen vor und während der Fahrt

Gibt es Ihrerseits Verbesserungsvorschläge / Wünsche bzgl. der Bedienung?

ANHANG

Besitzen / Verwenden Sie eines oder mehrere der folgenden Geräte und wie häufig nutzen Sie diese/s?

Nie		sehr selten	selten	oft	sehr oft
<input type="checkbox"/>	PC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Betriebssystem: _____

<input type="checkbox"/>	Handy / Smartphone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Welches? _____

<input type="checkbox"/>	iPod/MP3-Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	-----------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Welchen? _____

<input type="checkbox"/>	PDA / Organizer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Stereoanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	DVD-Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	mobiles Navigerät (z. B. TomTom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welches? _____

<input type="checkbox"/>	Acrobate Reader	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	MS Office Produkte (z. B. Outlook, Word)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Privates Home-Netzwerk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Touchpad am Laptop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Touchpad mit Gesten-Eingabe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang D: Checklisten zur Entwicklung des Menü-Konzepts

Checkliste A - „8 golden rules of UI-design“ (Shneiderman & Plaisant, 2010)

<i>Regeln</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
1. Nach Konsistenz streben	<input type="checkbox"/>
2. Für eine breite Usability sorgen / Shortcuts bereitstellen	<input type="checkbox"/>
3. Informative Systemrückmeldungen anbieten	<input type="checkbox"/>
4. Beendigungen von Interaktionen dem Nutzer bewusst machen	<input type="checkbox"/>
5. (Folgen von) Fehlbedienungen verhindern	<input type="checkbox"/>
6. Bedienvorgänge einfach wiederrufbar machen	<input type="checkbox"/>
7. Überzeugung des Nutzers unterstützen, die Kontrolle zu besitzen	<input type="checkbox"/>
8. Beanspruchungen auf das Kurzzeitgedächtnis minimieren	<input type="checkbox"/>

Checkliste B - Gestaltungsprinzipien basierend auf der DIN EN ISO 9241-110, nach Sarodnick & Brau (2006)

<i>Gestaltungsprinzipien</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aufgabenangemessenheit	<input type="checkbox"/>
Alle benötigten Funktionen für anstehende Aufgaben im System müssen vorhanden und hinreichend so gestaltet sein, dass sie den Nutzer unterstützen und bei Routineaufgaben entlasten.	
Prozessangemessenheit	<input type="checkbox"/>
Das System sollte für die Erfüllung realer Arbeitsaufgaben in typischen Einsatzfeldern optimiert sein, einen Bezug zum übergeordneten realen Prozessziel haben und auf Qualifikationen und Erfahrungen der realen Nutzer abgestimmt sein.	
Selbstbeschreibungsfähigkeit	<input type="checkbox"/>
Einheitliche und unmittelbare Anzeige des Systemstatus. Der Benutzer sollte die Detaillierung der Information über den Systemstatus selbst bestimmen können.	
Steuerbarkeit	<input type="checkbox"/>
Beinhaltet die Kontrolle des Nutzers über den Dialog sowie die Möglichkeit, verschiedene Eingabehilfen zu nutzen oder das System ohne Datenverlust zu beenden.	
Erwartungskonformität	<input type="checkbox"/>
Die Informationsdarstellung sollte systemimmanent und zu plattform-spezifischen Konzepten konsistent sein. Bei ähnlichen Aufgaben sollten Dialoge vergleichbar und an erwarteter Position dargestellt sein.	

ANHANG

Fehlertoleranz	<input type="checkbox"/>
Fehlermeldungen sollten deutlich sein und Hinweise beispielsweise über Art und Handlungszusammenhang enthalten. Der Nutzer muss über irreversible Handlungen informiert werden.	
System- und Datensicherheit	<input type="checkbox"/>
Das System sollte auch bei fehlerhaften Eingaben des Nutzers und unter hoher Ressourcenbelastung stabil und ohne Datenverluste arbeiten.	
Individualisierbarkeit	<input type="checkbox"/>
Das Dialogsystem sollte sich individuell an die Präferenzen der Nutzer anpassen lassen, solange dies der Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung dient und nicht im Widerspruch zu notwendigen technischen oder sicherheitsrelevanten Begrenzungen steht.	
Lernförderlichkeit	<input type="checkbox"/>
Lernstrategien wie „Learning by Doing“ sollten durch schrittweise Anleitungen oder Navigationshilfen unterstützt werden.	
Wahrnehmungssteuerung	<input type="checkbox"/>
Das Layout sollte minimalistisch gehalten werden. Gruppierungen, Farbgestaltungen und sinnvolle Informationsreduktion etc. sollten so verwendet werden, dass die Aufmerksamkeit des Nutzers hin zu relevanten Informationen gelenkt wird.	
Joy of Use	<input type="checkbox"/>
Arbeitsabläufe und grafische Gestaltung des Systems sollten bei notwendiger Konsistenz Monotonie vermeiden und zeitgemäß wirken. Metaphern sollten adäquat und auf den Nutzungskontext abgestimmt verwendet werden.	
Interkulturelle Aspekte	<input type="checkbox"/>
Das System sollte auf einen definierten Nutzerkreis und dessen funktionale organisatorische und nationale Kultur abgestimmt sein.	

Checkliste C - Checkliste für eine ergonomische Menükonzeption auf Basis theoretischer Erkenntnisse (Mischler, 2013)

<i>Softwareseitige Auslegungshinweise</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
Multimodale Auslegung des Systems (visuell, haptisch, auditiv)	<input type="checkbox"/>
Farbkodierungen nutzen	<input type="checkbox"/>
Formkodierungen nutzen	<input type="checkbox"/>
Chunking der Inhalte	<input type="checkbox"/>
Anzahl und Komplexität von Vernetzungen begrenzen	<input type="checkbox"/>
Potenzielle Nutzerprofile erstellen	<input type="checkbox"/>
Benutzernahe mentale Modelle verwenden	<input type="checkbox"/>

ANHANG

Verbreitete Metaphern nutzen	<input type="checkbox"/>
Eine einheitliche Bedienlogik definieren	<input type="checkbox"/>
Anerkannte Guidelines und Normen nutzen	<input type="checkbox"/>
„Joy of Use“ mit einbeziehen	<input type="checkbox"/>
Technische Randbedingungen einhalten	<input type="checkbox"/>

Checkliste D - Checkliste für eine ergonomische Menükonzeption auf Basis der hardwareseitigen Randbedingungen des haptischen Touchpads (Mischler, 2013)

<i>Hardwareseitige Einschränkungen</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die Multitouchfähigkeit des Touchpads ist auf 1-3 Fingergesten beschränkt.	<input type="checkbox"/>
Die Geometrie der Haptikelemente ermöglicht vorwiegend rechteckige Formen.	<input type="checkbox"/>
Die minimale Steuerelementgröße für Buttons beträgt 9x9 mm.	<input type="checkbox"/>
Die maximale Anzahl an haptisch darstellbaren Zeilen beträgt 5.	<input type="checkbox"/>
Jede Änderung der haptischen Matrix auf dem Touchpad bedingt eine erneute Kalibrierung des Touchpads, welche zu vermeiden ist.	<input type="checkbox"/>
Durch die begrenzte Größe des Displays von 8" und die sicherheitskritische Dual-Task Umgebung sollte sich die Informationsdarstellung auf dem Display auf ein Minimum beschränken.	<input type="checkbox"/>
Das Display besitzt eine hohe Auflösung, Kontrast sowie Farbumfang. Somit ist eine Farbkodierung etc. möglich. Dabei ist jedoch auf die Minimierung der visuellen Ablenkung und die Verwendung von Optimalkontrasten zu achten.	<input type="checkbox"/>

Anhang E: Leitfaden, Vorabfragebogen, ISONORM 10 und MiniAttrakdiff 2 für die Fahrstudie „Evaluation des Gesamtbedienkonzepts“

Studienleitfaden

Versuchsleiter: _____

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

1. Technikcheck:

- ToDo:** Testumgebung vorbereiten
- Fahrsimulator hochfahren
- Test der beiden Systeme
- Rückstellung von System-Einstellungen
- Telefonbuch synchronisieren
- Menü-Voreinstellungen für Usecases vorbereiten

2. Begrüßung der Testperson:

ToDo: Erklärung des „Vorlesens“ zwecks Vergleichbarkeit der Ergebnisse

ToDo: Begrüßung der Testperson

„Guten Tag Herr/Frau! Vielen Dank dafür, dass Sie sich bereit erklärt haben bei unserer Simulatorstudie mitzumachen. Ich wünsche Ihnen schon einmal viel Spaß bei der Bedienung der verschiedenen Systeme. Zu Beginn füllen Sie doch bitte diesen Vorabfragebogen aus. Er dient dazu, Sie einer Nutzergruppe zuordnen zu können. Alle Angaben die Sie machen und Daten die wir erheben sind anonymisiert und werden nicht an Dritte weitergegeben. Außerdem dienen diese nicht dazu Sie zu bewerten, sondern ausschließlich das Produkt!“

ToDo: Vorabfragebogen ausfüllen lassen

3. Vorstellung der Studie:

ToDo: Vorstellung der Studie

In der Simulatorstudie, die wir heute mit Ihnen durchführen, werden wir zwei unterschiedliche Fahrerinformationssystem-Konzepte mit Ihnen untersuchen. Dabei vergleichen wir die Benutzerfreundlichkeit und Bediensicherheit der jeweiligen Bedienteile in Kombination mit deren Menükonzepten.

Ziel der Studie ist die Evaluation eines Prototypen mit neuartigem Bedienkonzept, dem sogenannten haptischen Touchpad „HTP“. Dieses funktioniert ähnlich zu handelsüblichen Touchpads. Allerdings verfügt das HTP gegenüber herkömmlichen Touchpads über eine formveränderliche Oberfläche, die es dem Nutzer ermöglicht Display-Menüinhalte auch ohne Sichtkontakt zu ertasten.

Ihre Aufgabe wird es nun sein, während einer simulierten Autofahrt eine vorgegebene Strecke entlang zu fahren und dabei mit einem konstanten Abstand von 60 m (bzw. 1,5 - 2 Leitposten) einem Führungsfahrzeug zu folgen. Während dieser Fahraufgabe werde ich Ihnen mehrere Aufgaben stellen, die Sie mit dem Fahrerinformationssystem zeitgleich zur Fahraufgabe bearbeiten sollen.

Es soll bei den Aufgaben nicht darum gehen, Ihre Fähigkeiten im Umgang mit technischen Geräten zu testen. Nicht Sie, sondern das Produkt wird getestet.

Bitte achten Sie allerdings während der Bearbeitung stets auf die Einhaltung des Abstands zum Vordermann, auf ihre Geschwindigkeit und die Spur!

Während der Bearbeitung der Aufgaben werden wir verschiedene Fahrdaten messen und Ihre Blickbewegungen aufzeichnen. Sollte die Brille während der Fahrt verrutschen oder unangenehm drücken, fassen Sie bitte nicht an die Brille, sondern sagen uns einfach laut Bescheid, damit wir sie neu justieren können.

Wir würden uns freuen, wenn Sie uns im Anschluss an jeden Anwendungsfall Ihre Gedanken zur Bedienung der Aufgabe mitteilen würden. Zusätzlich werden wir Ihnen nach jeder Aufgabe einige wenige Fragen stellen. Abschließend bitten wir Sie, zwei Fragebögen zur Benutzerfreundlichkeit des Systems auszufüllen.

Die Studie wird etwa 120 min in Anspruch nehmen. Haben Sie ansonsten noch Fragen zum Ablauf? Ansonsten starten wir nun mit der Einführung in die Grundfunktionen des ersten Systems.

4. Erklärung Bediensystem:

ToDo: Erklärung des ersten Systems (in diesem Permutationsfall das HTP-Gesamtbedienkonzept)

Bedienelement erläutern
Menüaufbau erklären
Bedienmöglichkeiten aufzeigen

Haben Sie sonst noch Fragen zur Bedienung?

ToDo: Dikablis-Brille aufsetzen und kalibrieren

ToDo: Eingewöhnungsfahrt

ToDo: Einführung zum Start der Aufgaben

Lassen Sie uns nun mit den Aufgaben beginnen. Ich werde Ihnen nun die Aufgabenstellung vorlesen und demonstrieren. Sollten Sie der Meinung sein, die Aufgabe und deren Bedienung verstanden zu haben, werden Sie dieselbe Aufgabe zuerst als Übungslauf und darauffolgend als Messungs-Fahrt selbst ausführen. Dies geschieht alles während der Fahrt.

Für die eigentliche Messung der Testaufgabe ist es wichtig, dass Sie erst mit der Aufgabe beginnen, nachdem ich alle Einstellungen getätigt habe und Ihnen das Startsignal „JETZT“ gegeben habe!

Haben Sie keine Angst vor Fehleingaben. Sie können nichts kaputt machen und alle Ihre Eingaben lassen sich rückgängig machen. Wir möchten, dass Sie Spaß an dem Test haben. Sollten Sie sich dennoch zu einem Zeitpunkt unwohl fühlen, können Sie jederzeit den Test abbrechen.

ToDo: Screencam und Brillen-Aufnahme starten

ToDo: Proband losfahren lassen und mit Testdurchführung beginnen

5. Testdurchführung:

Usecase 1: Das Operationsmenü

Szenario:

Sie wollen wissen, wo Sie sich gerade mit Ihrem Auto befinden und starten daher die Map-Ansicht. Sie wollen einen Freund besuchen. Spontan suchen Sie den Ort im Adressbuch, um dorthin zu fahren.

Startpunkt des Usecases: Hauptmenü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Öffne die Hauptkategorie „MAP“
2. Gehe in die Adresslistenansicht (des „NAV“-Menüs)
3. Suche den Ort „Jena“ (*mithilfe der Handschrifteingabe; Ausschreiben von „Jena“, auch wenn es bereits da steht; nur Großbuchstaben verwenden*)
4. Starte die Zielführung

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--

Usecase 2: Das Bearbeiten-Menü

Szenario:

Sie möchten Platz im Adressbuch schaffen und löschen daher einen Kontakt. Dann fällt Ihnen ein, dass Sie einen Freund anrufen wollten. Spontan suchen Sie ihn im Adressbuch und rufen ihn an.

Startpunkt des Usecases: Telefon-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Lösche den Kontakt „Anders“
2. Suche nun den Kontakt „Brauer“ (*ohne Handschrifteingabe*)
3. Rufe den Kontakt „Brauer“ an
4. Lege auf

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--

Usecase 3: Gesten-Interaktion

Szenario:

Sie fahren von der Arbeit in Ingolstadt heim und würden gerne etwas zum Essen mitnehmen. Im Umkreis sind einige Restaurants. Daher möchten sie ein nahegelegenes Restaurant aufsuchen.

Startpunkt des Usecases: MAP-Ansicht (Ingolstadt Zentrum)

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Aktiviere in „Sonderziele“ ► „Standortumkreis“
2. Zoome auf „Maximum“
3. Wähle eine sichtbare Restaurant-POI an

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--

Usecase 4: Basiselemente und Einstellungen

Szenario:

Sie wollen im Radio ein anderes Frequenzband hören sowie den Verkehrsfunk ändern und stellen dies ein. Zudem stört Sie der Klang der Bässe. Daher ändern Sie diese im Anschluss.

Startpunkt des Usecases: Radio-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Ändere das Frequenzband „Band“ auf den nächsten Zustand
2. Stelle den Verkehrsfunk auf den nächsten Zustand
3. Öffne nun die „Tone“-Einstellungen
4. Ändere dort die „EQ“-Einstellung „Bass“ auf den gegenüberliegenden Extremwert
5. Bestätige die Eingabe

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 5: Vernetzung

Szenario:

Sie hören Musik beim Fahren. Der nächste Song ist Ihr Lieblingssong. Also starten Sie ihn. Da ihr Sitz verstellt ist wechseln Sie in das CAR-Menü. Dort fällt Ihnen jedoch ein, dass Sie noch einen kurz zuvor verpassten Anrufer zurückrufen wollten. Daraufhin rufen Sie ihn spontan zurück.

Startpunkt des Usecases: Media-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Wechsle zum nächsten Song im „MEDIA“-Menü
2. Öffne das „CAR-Menü“
3. Gehe in die Listenansicht des „TEL“-Menü und öffne im Seitenmenü „Verpasste Anrufe“
4. Rufe nun den zweitobersten Anrufer an

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 6: Favoritenfunktionen und tiefe Menüs

Szenario:

Sie hören Musik beim Fahren. Der nächste Song ist Ihr Lieblingssong. Also starten Sie ihn. Da ihr Sitz verstellt ist wechseln Sie in das CAR-Menü. Dort fällt Ihnen jedoch ein, dass Sie noch einen kurz zuvor verpassten Anrufer zurückrufen wollten. Daraufhin rufen Sie ihn spontan zurück.

Startpunkt des Usecases: Hauptmenü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Wähle unter Hauptkategorie „NAV“ die „Heimatadresse“ an
2. Ändere nun im „NAV“-Menü die Kategorie „Karten-Einstellungen“ ► “Kartenfarben“ auf den nächsten Zustand

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--

ToDo: Fragbogen ISONORM 10 ausfüllen lassen

ToDo: Fragbogen Attrakdiff ausfüllen lassen

ToDo: Überleitung von Versuchsteil 1 zu 2

ToDo: Umbau Bedienteil 1 zu 2

ToDo: Erklärung des zweiten Systems (*in diesem Permutationsfall das Dreh-Drück-Steller Serienbedienkonzept*)

Usecase 1: Das Operationsmenü

Szenario:

Sie wollen wissen, wo Sie sich gerade mit Ihrem Auto befinden und starten daher die Map-Ansicht. Sie wollen einen Freund besuchen. Spontan suchen Sie den Ort im Adressbuch, um dorthin zu fahren.

Startpunkt des Usecases: Hauptmenü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Öffne die MAP-Ansicht über den „NAV“-Hardkey
2. Gehe in die „Zielführung“ und wähle die Funktion „Adresse“
3. Suche den Ort „Jena“ (*mithilfe der Handschrifteingabe; Ausschreiben von „Jena“, auch wenn es bereits da steht; nur Großbuchstaben verwenden*)
4. Starte die Zielführung

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 2: Das Bearbeiten-Menü

Szenario:

Sie möchten Platz im Adressbuch schaffen und löschen daher einen Kontakt. Dann fällt Ihnen ein, dass Sie einen Freund anrufen wollten. Spontan suchen Sie ihn im Adressbuch und rufen ihn an.

Startpunkt des Usecases: Telefon-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Gehe ins Adressbuch und lösche den Kontakt „Anders“
2. Suche nun den Kontakt „Brauer“ (*ohne Handschrifteingabe*)
3. Rufe den Kontakt „Brauer“ an“
4. Lege auf

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 3: Gesten-Interaktion

Szenario:

Sie fahren von der Arbeit in Ingolstadt heim und würden gerne etwas zum Essen mitnehmen. Im Umkreis sind einige Restaurants. Daher möchten sie ein nahegelegenes Restaurant aufsuchen.

Startpunkt des Usecases: MAP-Ansicht (Ingolstadt Zentrum)

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Aktiviere in der „Zielführung“ die Funktion „Sonderziele“ und wähle den „Suchbereich“ ► „Standortumkreis“
2. Gehe zurück in die MAP-Ansicht (über „NAV“-Hardkey) und zoome auf „Maximum“
3. Wähle eine sichtbare Restaurant-POI aus (Drücken des DDS und Auswahl mittels Fadenkreuz)

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.									
<input type="checkbox"/>	++	<input type="checkbox"/>	+	<input type="checkbox"/>	+ / -	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	--

Usecase 4: Basiselemente und Einstellungen

Szenario:

Sie wollen im Radio ein anderes Frequenzband hören sowie den Verkehrsfunk ändern und stellen dies ein. Zudem stört Sie der Klang der Bässe. Daher ändern Sie diese im Anschluss.

Startpunkt des Usecases: Radio-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Ändere das Frequenzband „Band“ auf den nächsten Zustand (gehe auf „Einstellungen“ ► „Durchsagen“)
2. Stelle den Verkehrsfunk auf den nächsten Zustand
3. Öffne nun die „Tone“-Einstellungen
4. Ändere dort die „EQ“-Einstellung „Bass“ auf den gegenüberliegenden Extremwert
5. Bestätige die Eingabe

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

ANHANG

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 5: Vernetzung

Szenario:

Sie hören Musik beim Fahren. Der nächste Song ist Ihr Lieblingssong. Also starten Sie ihn. Da ihr Sitz verstellt ist wechseln Sie in das CAR-Menü. Dort fällt Ihnen jedoch ein, dass Sie noch einen kurz zuvor verpassten Anrufer zurückrufen wollten. Daraufhin rufen Sie ihn spontan zurück.

Startpunkt des Usecases: Media-Menü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Wechsle zum nächsten Song im „MEDIA“-Menü
2. Öffne das „CAR-Menü“
3. Gehe in das „TEL“-Menü (über TEL-Hardkey) und wähle die Option „Anrufliste“ aus
4. Rufe nun den zweitobersten Anrufer an

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

Usecase 6: Favoritenfunktionen und tiefe Menüs

Szenario:

Sie hören Musik beim Fahren. Der nächste Song ist Ihr Lieblingssong. Also starten Sie ihn. Da ihr Sitz verstellt ist wechseln Sie in das CAR-Menü. Dort fällt Ihnen jedoch ein, dass Sie noch einen kurz zuvor verpassten Anrufer zurückrufen wollten. Daraufhin rufen Sie ihn spontan zurück.

Startpunkt des Usecases: Hauptmenü

Aufgabenstellung/Bedienschritte:

1. Wähle unter Hauptkategorie „NAV“ ► „Zielführung“ ► „Favoriten“ das Ziel „Heimatadresse“ an
2. Ändere nun im „NAV“-Menü die Kategorie „Einstellungen“ ► „Kartenfarben“ auf den nächsten Zustand

Beobachtungen:

Bewertung der Aussagen:

Die Bedienung der Aufgabe habe ich als einfach empfunden.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --
Alle benötigten Funktionen waren dort zu finden, wo ich sie erwartet hätte.				
<input type="checkbox"/> ++	<input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> +/-	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> --

ToDo: Dikablis-Brille abnehmen

ToDo: Fragbogen ISONORM 10 ausfüllen lassen

ToDo: Fragbogen Attrakdiff ausfüllen lassen

Vielen Dank! Ich hoffe, dass Ihnen die Studie gefallen hat. Abschließend möchte ich Sie nun noch bitten uns ihren Gesamteindruck mittels dieser kurzen Abschlussbewertung mitzuteilen.

ToDo: Abschlussbewertung erfragen

Welches der beiden Systeme würden Sie bevorzugen?	
<input type="checkbox"/> HTP-Gesamtbedienkonzept	<input type="checkbox"/> DDS-Serienbedienkonzept
Grund:	

6. Unterlagen sichten und ablegen:

ToDo: Videodatei (Brille) sichern

ToDo: Videodatei (Screencam) sichern

ToDo: Notizen mit TP-Name und Datum versehen und ablegen

ToDo: Testgeräte auf den Ausgangszustand zurücksetzen

Vorabfragebogen

TP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Liebe(r) Versuchsteilnehmer(in),
vielen Dank, dass Sie an dieser Fahrsimulatorstudie teilnehmen. Zu Beginn benötigen wir noch einige wenige anonyme Angaben über Sie. Die von Ihnen gemachten Angaben werden vertraulich behandelt.

In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 _____

Welchen Beruf üben Sie aus? _____

Geschlecht: männlich weiblich
Sind Sie: Linkshänder Rechtshänder beides

Besitzen Sie ein Fahrzeug mit Fahrerinformationssystem? (z.B. AUDI MMI, BMW iDrive, Mercedes Comand)

Ja Nein

Falls ja, welches: _____

In welcher Situation bedienen Sie das Fahrerinformationssystem vorwiegend?

hauptsächlich vor der Fahrt
hauptsächlich während der Fahrt
gleichermaßen vor und während der Fahrt

Sind Sie voll zufrieden mit der Bedienung Ihres Fahrerinformationssystems?

Voll zufrieden Nicht zufrieden

Grund (freiwillig): _____

ANHANG

Welche Funktionen würden Sie tendenziell am häufigsten in einem Fahrerinformationssystem nutzen bzw. nutzen Sie im Alltagsgebrauch? Ordnen Sie dazu bitte folgende Begriffe nach ihrer Wichtigkeit. (Rang 1 = Am Häufigsten, Rang 6 = Am Seltensten bzw. nie)

- | | |
|------------------------------------|-------------|
| Navigation | Rang: |
| System (Klima, Infoanzeigen, etc.) | Rang: |
| Media (CD, mp3, Video, etc.) | Rang: |
| Telefon | Rang: |
| Radio | Rang: |
| Internet (www, e-mail, Apps, etc.) | Rang: |

Ordnen Sie folgende Systeme nach der Häufigkeit Ihrer Nutzung durch Sie. (Rang 1 Am Häufigsten, Rang 2 = Mittel, Rang 3 = Am Seltensten bzw. nie)

- | | |
|--------------------------------------|-------------|
| Desktop-PC, Laptop | Rang: |
| Automobiles Fahrerinformationssystem | Rang: |
| Smartphone, Tablet-PC | Rang: |

Welche Eingabemethode empfinden Sie als am angenehmsten zur Bedienung elektronischer Consumer-Geräte?

- | | |
|--|--------------------------|
| Mechanische Hebel, Knöpfe, Schalter etc. | <input type="checkbox"/> |
| Touch-Oberflächen & Gesten-Steuerung | <input type="checkbox"/> |
| Maus & Tastatursteuerung | <input type="checkbox"/> |

Welche Erwartungen sollte ein neues Fahrerinformationssystem für Sie erfüllen? Ordnen Sie die folgenden vier Begriffe dabei nach Ihrer Wichtigkeit.

- | | |
|------------------------|-------------|
| Benutzerfreundlichkeit | Rang: |
| Hoher Funktionsumfang | Rang: |
| Bedienfreude | Rang: |
| Edles Design | Rang: |

ISONORM 10 Fragebogen

Beurteilen Sie bitte das eben getestete System anhand folgender Kriterien:					
Legende:					
++	stimme voll zu				
+	stimme eher zu				
+/-	stimme teilweise zu				
-	stimme eher nicht zu				
--	stimme gar nicht zu				
Das Gesamtbedienkonzept ...	++ (voll)	+	+/-	-	-- (gar nicht)
ist unkompliziert zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bietet alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu bewältigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bietet einen guten Überblick über ihr Funktionsangebot.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verwendet gut verständliche Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen oder Symbole in Masken und Menüs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erleichtert die Orientierung, durch eine einheitliche Gestaltung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
lässt sich durchgehend nach einem einheitlichen Prinzip bedienen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erfordert wenig Zeit zum Erlernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erfordert nicht, dass man sich viele Details merken muss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bietet die Möglichkeit die Arbeit an jedem Punkt zu unterbrechen und dort später ohne Verluste wieder weiterzumachen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ermöglicht einen leichten Wechsel zwischen einzelnen Menüs oder Masken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ist so gestaltet, dass kleine Fehler keine schwerwiegenden Folgen haben können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erfordert bei Fehlern im großen und ganzen einen geringen Korrekturaufwand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
lässt sich von mir gut an meine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eignet sich für Anfänger und Experten gleichermaßen, weil ich es leicht an meinen Kenntnisstand anpassen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

MiniAttrakdiff 2 Fragebogen

Bediensystem:	HTP-Gesamtbedienkonzept oder DDS-Serienkonzept
VPN-Nr.:	
Datum:	

Nachfolgend finden Sie Wortpaare, mit deren Hilfe Sie eine Beurteilung des soeben bedienten Produktes vornehmen können. Sie stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen eine Abstufung möglich ist.

Denken Sie nicht lange über die Wortpaare nach, sondern geben Sie bitte die Einschätzung ab, die Ihnen spontan in den Sinn kommt. Vielleicht passen einige Wortpaare nicht so gut auf das Produkt, kreuzen Sie aber trotzdem bitte immer eine Antwort an. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Adjektivpaare								
	1	2	3	4	5	6	7	
einfach	<input type="checkbox"/>	kompliziert						
praktisch	<input type="checkbox"/>	unpraktisch						
voraussagbar	<input type="checkbox"/>	unberechenbar						
übersichtlich	<input type="checkbox"/>	verwirrend						
innovativ	<input type="checkbox"/>	konservativ						
fesselnd	<input type="checkbox"/>	lahm						
stilvoll	<input type="checkbox"/>	stillos						
wertvoll	<input type="checkbox"/>	minderwertig						
schön	<input type="checkbox"/>	hässlich						
gut	<input type="checkbox"/>	schlecht						