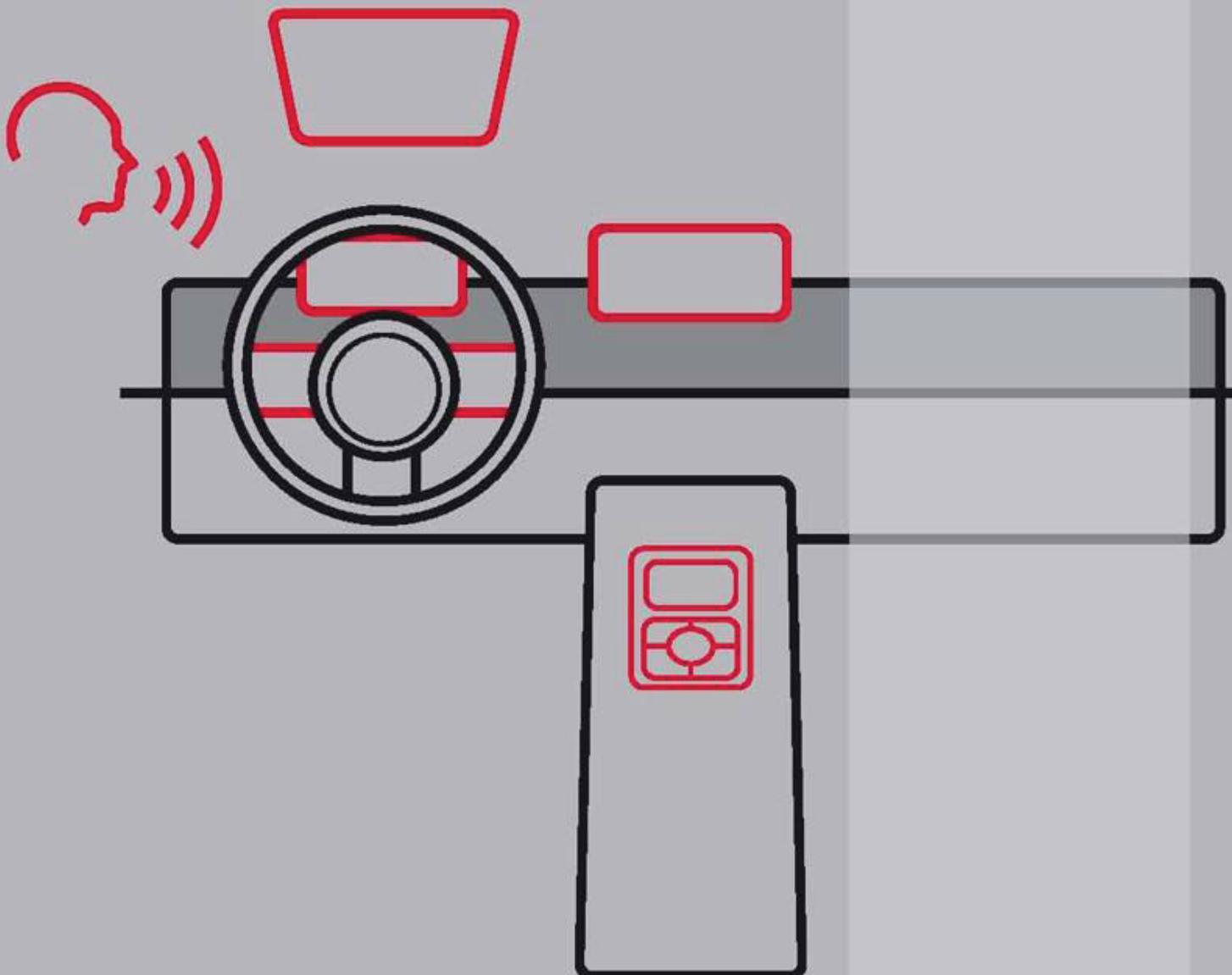




# Multimodale Bedien- konzepte im Dualtask – ein Ansatz für komplexe Bedienaufgaben im Fahrzeug

Michael Mischke



# **Multimodale Bedienkonzepte im Dualtask**

## **- ein Ansatz für komplexe Bedienungsaufgaben im Fahrzeug**

Von der Fakultät für Maschinenbau der  
Technischen Universität Chemnitz

Genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

Dr.-Ing.

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Michael Mischke

geboren am 28.03.1978 in Oldenburg (in Oldenburg)

eingereicht am 12.08.2008

Gutachter:

Prof. Dr.phil.habil. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer  
Univ.-Prof. Dr. rer.nat. i.R. Heiner Bubb  
Dr.-Ing. Werner Hamberger

Chemnitz, den 12.08.2008

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2009  
Zugl.: (TU) Chemnitz, Univ., 2008

978-3-86955-133-3

Audi Dissertationsreihe, Band 22

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2009

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2009

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-133-3

---

# Vorwort

Zum Gelingen dieser Arbeit haben viele Menschen beigetragen, ich möchte Ihnen allen danken. Für die Arbeit, die Zeit und die Dinge die ich über mich und meine Arbeit gelernt habe. Sie wäre ohne das Doktorandenprogramm der AUDI AG nicht möglich gewesen und ich möchte mich für die damit verbundenen Möglichkeiten bedanken. Stellvertretend für viele möchte ich hier Christian Allmann, für seine Doktorandensprechertätigkeit und Alfred Quenzler im Personalmarketing für den Einsatz und das offene Ohr für die Belange der Doktoranden danken.

Ganz besonderer Dank gilt den beiden Menschen, die mir konkret diese Aufgabe zugetraut haben und mich unterstützt, gefordert und auf Augenhöhe beraten haben: Frau Prof. Spanner-Ulmer von der TU-Chemnitz und Werner Hamberger von der AUDI AG.

Als externer Doktorand an der TU Chemnitz und als halber Mitarbeiter der Bedienkonzeptentwicklung der AUDI AG möchte ich auch beiden Teams herzlich für die Aufnahme und die vielen guten Gespräche, Abende und Kaffeepausen danken. Ganz besonders danke ich Tahar Bouaziz, Stefan Christ, Kristin Dettmer, Philipp Deutler, Günter Horna, Wouter Kets, Philip Rigley und Christine Ullmann. Ohne Euch wäre ich heute nicht der, der ich bin und diese Arbeit auch nicht.

Der Fahrsimulator in Ingolstadt wäre ohne die vielen Ideen, die Ausdauer und die Kreativität von Stephan Hummel, Christian Leberfinger, Günter Knorr, Silvio Lange, Andreas Sachs, Marcus Wessel und Stefan Zettl nicht nutzbar gewesen und auch nicht ohne die pragmatische Hilfe von BFFT beim Aufbau von Simulator und Testfahrzeugen, besonders Andreas Dornhof und Dimitri Hirsch gebührt an dieser Stelle Dank. Auch Andreas Baur, Birgit Krutwig, Christian Härtle und Elke Rößler vom Spiegel Institut Mannheim möchte ich für die Unterstützung bei den Simulatorstudien danken. Das Doktorandennetzwerk in Ingolstadt und die unkomplizierte Kultur bei Audi überhaupt haben die letzten Jahre zu einer tollen Zeit gemacht. Großer Dank gebührt auch den Diplomanden und Praktikanten, die mir bei der Arbeit mit viel Motivation und Kompetenz geholfen haben: Nikolaus Bride, Manuel Kainer, Peter Keilhacker, Tobias Kiefer, Maurice Peine, Frank Piesche, Roland Spies und Swen Steinmann. Ich hoffe, Ihr habt die Zeit und die Zusammenarbeit auch geschätzt.

Persönlich möchte ich meiner Familie, Johanna Kuch, meinen Freunden und meiner Frau Jana für alles danken, was aus mir einen ausgeglichenen und glücklichen Menschen gemacht hat - durch das Verständnis für schöne Audis, gute Musik, gutes Essen und die Fahrt

Danke!

Michael Mischke, Hannover, 10.08.2008



---

# Abstract

## Deutsches Abstract

Verbesserungen der Bediensicherheit bei der Fahrer - Fahrzeug - Interaktion stellen den Fokus der Arbeiten am Audi Fahrsimulator dar. Mit den hier vorgestellten Studien wurde untersucht, ob bekannte positive Effekte multimodaler Bedienkonzepte aus dem Computer Bereich in die Dualtask Umgebung (Fahraufgabe und Nebenaufgabe) automobiler Infotainmentbedienkonzepte übertragen werden können. In experimentellen Studien wurden Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz von neuen Konzepten zur Navigationszieleingabe untersucht. Eine wesentliche Rolle hierbei spielen die integrierten neuen Modalitäten Sprache und Handschrifterkennung. Im Ergebnis wünschen sich Nutzer redundante Möglichkeiten der Eingabe, nutzen vermehrt die Sprachbedienung und nehmen auch die Möglichkeit des Wechsels in andere Eingabemöglichkeiten innerhalb einer Navigationszieleingabe in Anspruch.

## English Abstract

Improving the operational safety of mobile operating concepts is the main task of the work at the Audi driving simulator. Two studies were set up to evaluate acceptance and usability of new concepts for destination input. Five different input modalities were integrated into a simulation environment using the software GUIDE Studio from EB. The Audi serial solution for infotainment operation was extended to three displays with a headup display and a display in the cluster instrument. All three displays showed the same graphical user interface. In the two studies, different combinations of input and output modalities were tested for acceptance and distraction potential. 49 subjects were asked to follow a pace car on curvy course at 90km/h in the driving simulator, while entering navigation destinations. The studies sought to confirm whether research on multimodal interfaces from the PC interface research can be transferred to the Dualtask environment of automotive infotainment operating concepts while still retaining its published advantages. In different domains and test setups the combination of modalities led to gains in efficiency and larger failure robustness, ultimately resulting in high user acceptance. Users appreciated and used various combinations within the redundant input modes. The test persons in the conducted studies accept multiple destination entry possibilities also in dualtask situations, make greater use of the speech-dialogue-system and take advantage of the possible switch to other operating modes within the destination entry task.

---

## **French Abstract**

Le principal objectif des travaux réalisés sur le simulateur de conduite Audi est d'apporter des améliorations au niveau de l'interaction entre conducteur et véhicule. Dans le cadre des études présentées ici, il s'agissait de savoir si les effets positifs des concepts d'utilisation multimodaux, connus dans le domaine informatique, pouvaient être transférés dans l'environnement interactif des concepts d'infotainment utilisés dans le secteur automobile (mission de conduite et mission annexe). La convivialité et la disposition des conducteurs à accepter d'utiliser de nouveaux concepts pour la saisie des destinations dans les systèmes de navigation ont fait l'objet de deux études. Les résultats ont mis en évidence le fait que les utilisateurs souhaitent pouvoir saisir les informations de différentes manières, qu'ils font de plus en plus appel à la commande vocale et qu'ils profitent des possibilités de changement de mode de saisie pour une même destination.

---

# Inhaltsverzeichnis

Deutsches Abstract . . . . .	5
English Abstract . . . . .	5
French Abstract . . . . .	5
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>1 Problemstellung und Motivation</b>	<b>13</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	13
1.2 Stand der Technik automobiler Infotainmentsysteme bei Audi . . . . .	14
1.3 Lösungsansatz: Multimodalität . . . . .	15
1.4 Motivation und Ziele . . . . .	16
1.5 Vorgehensweise - empirische Untersuchungen . . . . .	19
<b>2 Mensch-Fahrzeug-Interaktion</b>	<b>21</b>
2.1 Mensch-Maschine-Systeme . . . . .	22
2.1.1 Grundlagen zur Ergonomie von Mensch-Maschine-Systemen . . . . .	22
2.1.2 Gütekriterien ergonomischer Mensch-Maschine-Systeme . . . . .	23
2.1.3 Besonderheiten der Mensch-Fahrzeug-Interaktion . . . . .	26
2.2 Das System "Mensch" - Kognitive Psychologie . . . . .	32
2.2.1 Konzept der Selektiven Aufmerksamkeit . . . . .	34
2.2.2 Single Ressource Theorien . . . . .	35
2.2.3 Theorie multipler Ressourcen . . . . .	36
2.2.4 Prozess Theorien . . . . .	37
2.2.5 Theorie der Mentalen Modelle . . . . .	38
2.2.6 Handlungsregulationstheorie . . . . .	39
2.3 Das System Fahrzeug - Eingabemodalitäten . . . . .	41
2.3.1 Spracheingabe . . . . .	42
2.3.2 Drehdrücksteller, Lenkradbedienung und Touchscreen - Haptische Be- dientenelemente . . . . .	48
2.3.3 Touchpad - Handschrifterkennung . . . . .	50
2.3.4 Weitere Eingabemodalitäten und -elemente . . . . .	52
2.4 Das System Fahrzeug - Ausgabemodalitäten . . . . .	54
2.4.1 Optische Ausgabemodalitäten . . . . .	54

2.4.2	Akustische Ausgabemodalitäten . . . . .	55
2.4.3	Weitere Ausgabemöglichkeiten . . . . .	57
2.5	Multimodalität - ein Ansatz für die zukünftige Mensch-Maschine-Interaktion . . . . .	58
2.5.1	Definition und Kategorien multimodaler Systeme . . . . .	59
2.5.2	Potenziale und Risiken multimodaler Systeme . . . . .	60
2.5.3	Multimodalität im Dualtask . . . . .	64
2.6	Ansätze zur Verbesserung der Mensch-Fahrzeug-Interaktion . . . . .	67
<b>3</b>	<b>Hypothesen</b>	<b>71</b>
3.1	Hypothesen zum Touchpad . . . . .	71
3.1.1	Integration des Touchpads ins Fahrzeug . . . . .	71
3.1.2	Bedienung des Touchpads im Dualtask . . . . .	72
3.2	Hypothesen zu Sprachdialogsystemen . . . . .	72
3.2.1	Dualtask Überlegenheit des Sprachdialogsystems . . . . .	72
3.2.2	Haptische Disambiguierung . . . . .	72
3.2.3	Visuelle Ausgabemodalität für das Sprachdialogsystem . . . . .	73
3.3	Hypothesen zur Multimodalität im Fahrzeug . . . . .	73
3.3.1	Vor- und Nachteile von Multimodalität im Dualtask . . . . .	73
3.3.2	Nutzung von Multimodalität im Dualtask . . . . .	74
3.3.3	Erleichterung durch Multimodalität . . . . .	74
3.3.4	Sprache als zentraler Bestandteil von Multimodalität. . . . .	75
3.3.5	Akzeptanz des Touchpads . . . . .	75
3.3.6	Akzeptanz von Multimodalität . . . . .	75
3.3.7	Multimodalität und Fahrsicherheit . . . . .	76
<b>4</b>	<b>Untersuchungsumgebung</b>	<b>77</b>
4.1	Der Fahrsimulator als Gesamtsystem . . . . .	79
4.2	Die Bedienkonzeptsimulation . . . . .	83
4.3	Datenerhebung . . . . .	85
4.3.1	Objektive Daten . . . . .	85
4.3.2	Subjektive Daten . . . . .	87
4.4	Probanden . . . . .	88
<b>5</b>	<b>Methodik - empirische Studien</b>	<b>91</b>
5.1	Technische und konzeptionelle Vorbereitungen . . . . .	92
5.1.1	Entwicklung eines multimodalen Bedienkonzepts am Beispiel der Navigationszieleingabe . . . . .	92
5.1.2	Cockpit Integration - Hard-/Software . . . . .	94
5.1.3	Touchscreen Bedienkonzept - Entwicklung . . . . .	96
5.1.4	Entwicklung eines multimodalen Sprachdialogsystems . . . . .	97

---

5.2	Vorstudien . . . . .	100
5.2.1	Touchpad Bedienkonzept - Entwicklung und Vorstudie 1 . . . . .	100
5.2.2	Vergleichende Untersuchung zur Buchstabeneingabe - Vorstudie 2 . . . . .	104
5.3	Methodik der empirischen Studien . . . . .	105
5.3.1	Gestaltung der Versuchsabfolge . . . . .	105
5.3.2	Wahl der Bedienaufgabe . . . . .	106
5.3.3	Grundlagen . . . . .	107
5.3.4	Baseline . . . . .	108
5.3.5	Kontrollmechanismen . . . . .	109
5.3.6	Befragung . . . . .	110
5.3.7	Datenerhebung . . . . .	110
5.3.8	Aufbau der empirischen Studien im Vergleich . . . . .	111
5.4	Auswertungsverfahren und kritische Würdigung . . . . .	115
5.4.1	Empirische Untersuchungen im Fahrsimulator . . . . .	115
5.4.2	Kodierung der erhobenen Daten . . . . .	116
5.4.3	Zusammenfassung der erhobenen Daten . . . . .	120
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>121</b>
6.1	Vorstudie 1: Evaluation des Touchpads . . . . .	122
6.1.1	Objektive Daten . . . . .	122
6.1.2	Subjektive Daten . . . . .	126
6.1.3	Fazit aus Vorstudie 1 . . . . .	129
6.2	Vorstudie 2: Vergleich Touchscreen, Touchpad und Drehdrücksteller . . . . .	131
6.2.1	Objektive Daten . . . . .	131
6.2.2	Subjektive Daten . . . . .	134
6.2.3	Fazit aus Vorstudie 2 . . . . .	134
6.3	Empirische Studie 1 zu multimodalen Bedienkonzepten . . . . .	136
6.3.1	Objektive Daten . . . . .	136
6.3.2	Subjektive Daten . . . . .	139
6.3.3	Fazit aus Studie 1 . . . . .	143
6.4	Empirische Studie 2 zu multimodalen Bedienkonzepten . . . . .	144
6.4.1	Objektive Daten . . . . .	144
6.4.2	Subjektive Daten . . . . .	152
6.4.3	Fazit aus Studie 2 . . . . .	157
6.5	Akzeptanz von Multimodalität in beiden Studien im Vergleich . . . . .	158
6.6	Ergebnisse zu den Hypothesen . . . . .	160
6.6.1	Ergebnisse zum Touchpad . . . . .	160
6.6.2	Ergebnisse zu Sprachdialogsystemen . . . . .	161
6.6.3	Ergebnisse zur Multimodalität im Fahrzeug . . . . .	162

---

<b>7 Zusammenfassung der Ergebnisse, Diskussion und Ausblick</b>	<b>165</b>
7.1 Diskussion der durchgeführten Studien . . . . .	166
7.1.1 Untersuchung eines Systems mit Fehlern . . . . .	166
7.1.2 Einschränkungen . . . . .	166
7.1.3 Diskussion des Versuchsdesigns und der Durchführung . . . . .	167
7.2 Empfehlungen für eine Umsetzung der evaluierten Konzepte . . . . .	168
7.2.1 Anforderungen an ein Sprachdialogsystem für den Einsatz in einem multimo- dalen Gesamtsystem . . . . .	168
7.2.2 Anforderungen an das Touchpad und den Drehdrücksteller für den Einsatz in einem multimodalen Gesamtsystem . . . . .	170
7.2.3 Anforderungen an multimodale Bedienkonzepte . . . . .	170
7.3 Weiterer Forschungsbedarf . . . . .	170
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>173</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>179</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>183</b>
<b>8 Anhang</b>	<b>187</b>
8.1 Daten zu den Probanden . . . . .	187
8.2 Datentabellen und weitere Auswertegrafiken . . . . .	188
8.2.1 Vorstudie 1 . . . . .	188
8.2.2 Vorstudie 2 . . . . .	189
8.2.3 Studie 1 . . . . .	191
8.2.4 Studie 2 . . . . .	193
8.2.5 Akzeptanzbewertung in Studie 1 und Studie 2 . . . . .	202
8.3 Fragebögen . . . . .	202
8.3.1 Fragebogen der ersten empirischen Multimodalitätsstudie - Studie 1 . . . . .	202
8.3.2 Fragebogen der zweiten empirischen Multimodalitätsstudie - Studie 2 . . . . .	236

---

# Abkürzungsverzeichnis

**DDS** Drehdrücksteller, Bedienelement mit zwei Freiheitsgraden

**DIN** Deutsches Institut für Normung

**ESoP** European Statement of Principles - ein Dokument zur freiwilligen Selbstverpflichtung der europäischen Automobilhersteller zur einheitlichen Gestaltung von Fahrzeug-Fahrer Schnittstellen anhand eines Code of Practice.

**FAS** Fahrerassistenzsysteme - Systeme, die den Fahrer beim Fahren unterstützen und aktiv in Teile der Fahraufgaben eingreifen.

**FIS** Fahrerinformationssystem - herkömmlich als Bordcomputer bekanntes System, welches aus einem Display und einem Bedienelement (Multifunktionslenkrad oder Lenkstockhebel) besteht und sich von einem Bordcomputer durch eine größere Funktionsvielfalt, wie z.B. der Bedienung des Radios unterscheidet. In dieser Arbeit wird FIS auch als Bezeichnung für das Display im Kombiinstrument verwendet.

**GUI** Graphical User Interface - grafische Benutzerschnittstelle. Der Begriff bezeichnet sowohl einzelne Elemente als auch Strukturen der grafischen Benutzeroberfläche - hier das Design der auf dem Display erscheinenden Komponenten des Mensch-Maschine-Dialogs, wie Symbole, Einteilungen, Animationen, etc.

**HMI** Human Machine Interface - die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine

**HMM** Hidden-Markow-Modelle - Modelle von Worten, die aus einer Reihenfolge von Phonemen (Lauten) bestehen und durch statistischen Vergleich mit aufgezeichneten Sprachsignalen ein Verfahren zur Spracherkennung bilden.

**HUD** Headup Display - ein in die Windschutzscheibe gespiegeltes oder projiziertes Display.

**MFL** Multifunktionslenkrad - Lenkrad mit Tasten und/oder Walzen, die als Bedienelemente u.a. für das Fahrerinformationssystem genutzt werden können.

**MMI** Das Multimedia Interface - das Anzeige- und Bedienkonzept von AUDI für Infotainment, in dieser Arbeit wird MMI auch als Abkürzung für das Display in der oberen Mittelkonsole verwendet.

---

**MW** Mittelwert, statistisches Maß

**OEM** Original Equipment Manufacturer - Begriff, der in der Automobilindustrie Unternehmen bezeichnet, die unter eigenem Namen fertige Produkte auf dem Markt verkaufen, in dieser Arbeit hauptsächlich synonym zu Automobilhersteller verwendet.

**PDA** Personal Digital Assistant - Klein PC mit Touchscreen Interface, welches auch mit einem Stylus bedient werden kann und über eine Art Handschrifterkennung verfügt.

**SA** Standardabweichung, statistisches Maß

**SDS** Sprachdialogsystem

**PTT** Push-to-talk - Taste, die zum Aktivieren des Sprachdialogsystems gedrückt werden muss.

**TP** Touchpad - koordinatenbasiertes Eingabeelement, wie von Notebooks bekannt.

**TS** Touchscreen - koordinatenbasiertes Eingabeelement, das Anzeige- und Eingabeelement verknüpft und die Elemente der Anzeige, des GUI, als Interaktionsflächen berührbar macht, wodurch die grafisch visualisierte Funktion ausgelöst wird.

**UML** Unified modeling language - eine von der Object Management Group entwickelte und standardisierte Beschreibungssprache für Softwareverhalten. Zustände werden mit Aktionen und Bedingungen zu Abläufen grafisch verknüpft. Es handelt sich um eine objektorientierte Beschreibungssprache für Software.

**VPN** Versuchspersonen

**VUI** Voice User Interface - ein Sprachdialogsystem.

---

# 1 Problemstellung und Motivation

*“Elektronikflut im Fahrzeug erstickt Fahrkomfort und Sicherheit.”*

aus Lochmeier (2007)

## 1.1 Problemstellung

Radios mit wenigen Tasten und Funktionen stehen am Beginn einer rasanten und vielfältigen Entwicklung von Bedienelementen im Fahrzeug. Heutzutage bietet die technische Entwicklung zur Unterhaltung und Information des Fahrers integrierte Infotainmentsysteme mit Radio, Medienspieler, Navigationssystem, Telefon und vielen weiteren Funktionen. Zur Bedienung dieser funktionsreichen Systeme sind Drehdrücksteller, Tasten und Touchscreens bekannt, Sprachdialogsysteme halten Einzug und aktuelle Entwicklungen in der Technik automotiver Infotainment-Systeme bieten zudem neue Funktionen an, welche zuvor nur bei Mobiltelefonen, PCs oder Home-Entertainment-Systemen zur Verfügung standen und in Zukunft auch während der Fahrt im Fahrzeug bedient werden können und sollen. Mit dem Umfang der Bedienoptionen steigen allerdings auch die Anforderungen an den Fahrer, im Ernstfall bis zum von Lochmeier befürchteten Ersticken von Komfort und Sicherheit (siehe oben), denn obwohl neue Funktionen den erwünschten Sicherheitsgewinn und den Komfort fördern sollen, können sie auf Grund ihrer komplexen Bedienung überfordern. Viele neue Funktionen erfordern nicht mehr nur eine klassische Listenbedienung zur Auswahl verschiedener Optionen, wie es für Radios und Klimaanlage üblich war, sondern beinhalten die Eingabe von ganzen Worten, Eigennamen und das Suchen von langen Begriffen in großen Datenmengen. Aus diesen Entwicklungen ergeben sich zwei Problemstellungen:

1. Die Bedienung integrierter Infotainmentsysteme kann auf Grund von Bedienumfang und Funktionenvielfalt zur Beeinträchtigung der Fahrleistung führen.
2. Die Fülle der integrierten Infotainmentsysteme und der Bedienumfang einzelner Systeme werden steigen.

Während der erste Punkt vor allem die kognitiven Fähigkeiten des Nutzers fokussiert, stehen beim zweiten Wirtschaftlichkeit, Innovation und nicht zuletzt die Bedürfnisse des Nutzers im Zentrum. Die parallele Bearbeitung von Bedien- und Fahraufgaben, welche den oben genannten Konflikt auslösen, wird im Folgenden unter dem Begriff Dualtask zusammengefasst. Der Forschungsbedarf dieser

Arbeit resultiert maßgeblich aus der Diskrepanz zwischen dem Stand der Forschung im Bereich der Bedienkonzepte für PC sowie Unterhaltungselektronik und dem Stand der Technik automobiler Infotainmentsysteme.

## 1.2 Stand der Technik automobiler Infotainmentsysteme bei Audi

Diese Arbeit wurde im Kontext der zur Zeit (2005-2008) bei der AUDI AG verfügbaren Systeme erstellt und setzt damit an Herausforderungen an, die mit den derzeitigen technischen Lösungen der oben beschriebenen Problemstellungen auftreten. Grundlage dieser Arbeit stellt das Infotainment System (mit u.a. Radio, Media, Telefon und Navigationssystem) "Audi Multi Media Interface" (MMI) aus den Baureihen Audi A8, Audi A6, Audi Q7 und Audi A4 dar. In den anderen Baureihen (A3, TT, R8) wird dieselbe Bedienlogik, adaptiert auf ein Doppel-DIN-Schacht Gerät mit dem Namen Navigation Plus, vertrieben, auf die die Ergebnisse dieser Arbeit auch anwendbar sind.

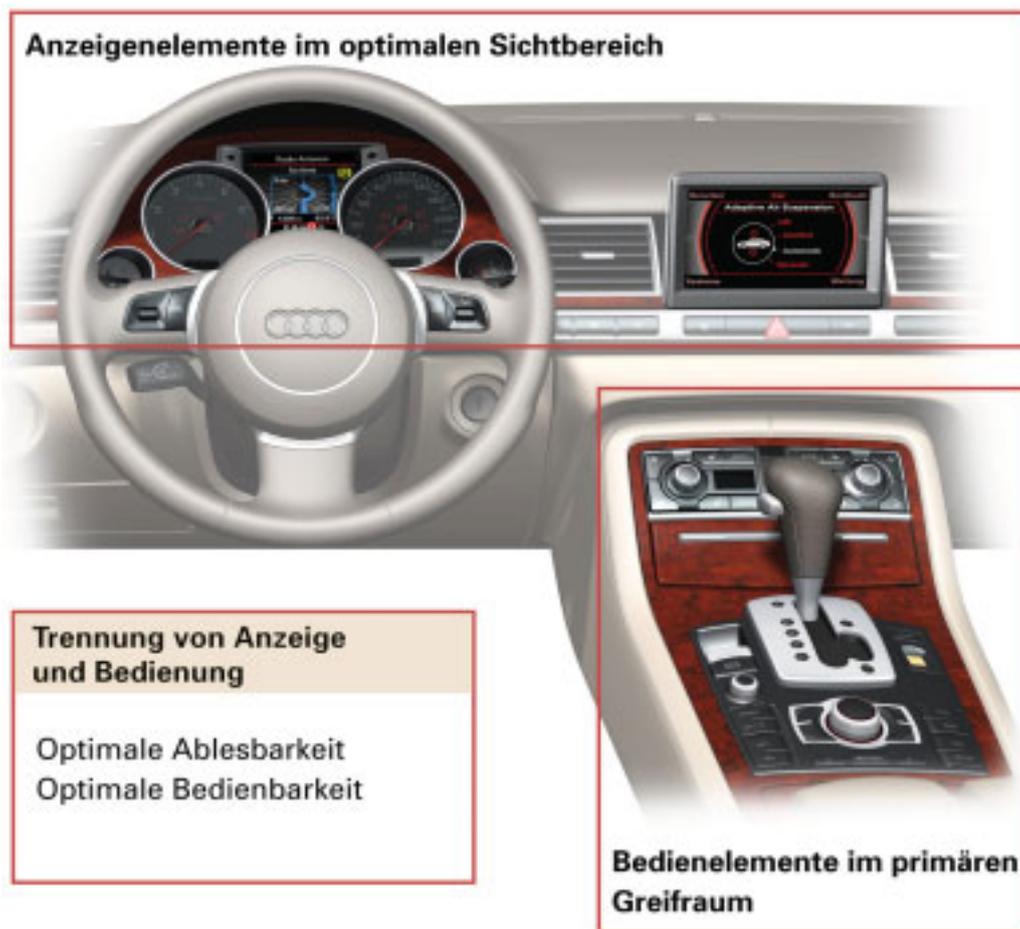


Abbildung 1.1: Das Audi Multi Media Interface

Das MMI besteht aus verschiedenen Ein- und Ausgabemodalitäten, die in ihrem räumlichen Zusammenhang im Cockpit des A8 in Abb. 1.1 dargestellt sind. Es handelt sich um den Drehdrücksteller (DDS), der von 15 Tasten und einem zweiten Drehregler umgeben und vor dem Schalthebel angeord-

net ist. Diese Gruppe von Bedienelementen dient zur Bedienung des Displays in der Mittelkonsole. Ein weiteres Display ist im Kombiinstrument zwischen Tachometer und Drehzahlmesser zu erkennen, es wird mit den Bedienelementen auf der linken Speiche des Lenkrades bedient. Auf der rechten Seite des Lenkrads befindet sich ein zusätzlicher Lautstärkeregler und die *“Push-to-Talk - Taste”* (PTT) zur Aktivierung des *“Sprachdialogsystems”* (SDS). Mit dem Ziel, komplexe Bedienschritte in diesen Systemen zu vereinfachen und den Herausforderungen künftiger Funktionen und Kundenbedürfnissen Rechnung zu tragen, wurde exemplarisch die Navigationszieleingabe während der Fahrt im MMI untersucht. Das System verfügt derzeit zur Eingabe von Navigationszielen über den Drehdrücksteller sowie über ein Sprachdialogsystem (SDS). Das SDS nutzt das Display zur Anzeige von Auswahllisten ähnlich wahrscheinlicher Erkennungsergebnisse - so genannter Disambiguierungslisten. Diese Listen sind ausschließlich sprachbedienbar, in dem die Zeile mit dem gewünschten Begriff per Sprache, z.B. mit dem Kommando *“Zeile X”* ausgewählt wird. Das SDS muss zur Eingabe eines Navigationszieles mit festen Kommandos in einer immer gleichen Reihenfolge definierter Schritte bedient werden. Eine solche Eingabe muss immer mit dem Kommando *“Navigation”* (eine geringe Menge von Synonymen ist bei jedem Dialogschritt hinterlegt) begonnen werden. Wird dieses Kommando erfolgreich eingegeben, kann das Kommando *“Ziel eingeben”* folgen und ein Dialog mit Disambiguierungsschritten beginnt. Wird eine Taste des MMI Systems, der DDS oder das Multifunktionslenkrad (MFL) bedient, bricht dieser Dialog ab und kann nur erneut von vorne begonnen werden. Dieser komplizierte und unflexible Dialog, verknüpft mit den technischen Einschränkungen des SDS selbst, welches nicht in jeder Fahrsituation, nicht von jedem Nutzer (Tonlage, Akzent, Dialekt, etc.) und immer nur mit einer begrenzten Erkennungleistung bedient werden kann, führt zu einer wenig akzeptierten Bediengüte (Details, siehe Abschnitt 2.3.1). Nichts desto trotz werden die Fahrzeuge der AUDI AG zu einem hohen Grad mit Navigationssystemen gekauft und der Wunsch, diese während der Fahrt bedienen zu können, wird sowohl von Kunden als auch von Entwicklern vertreten. Die Bedienung des Systems während der Fahrt kann aus verschiedenen Gründen und unter bestimmten Umständen die Sicherheit im Verkehr beeinträchtigen. (Daher erfolgt aus Gründen der Fahrzeitorientierung oft nur eine grobe Eingabe vor Fahrtantritt (Annahme des Autors), eine Verfeinerung wird während der Fahrt durchgeführt.) Nutzer, die eine Vielzahl ihnen unbekannter Ziele an einem Tag geschäftlich anfahren, gehören zu den Kunden der AUDI AG. Eine komfortable Bedienung des Navigationssystems und auch anderer Teilsysteme des MMI bilden damit eine Herausforderung in der Weiterentwicklung der Mensch-Maschine-Kommunikation, zu der diese Arbeit beitragen soll. Der Lösungsansatz, der in dieser Arbeit vorgestellt, diskutiert und untersucht wird, beschreibt einen multimodalen Umgang mit den angebotenen Eingabemodalitäten.

### 1.3 Lösungsansatz: Multimodalität

Der Begriff Multimodalität steht im Zentrum dieser Arbeit und beschreibt einen Trend in der Bedienkonzeptentwicklung, ein Attribut der Mensch-Maschine-Interaktion. Es beschreibt die Mensch-Maschine-Interaktion unter Verwendung verschiedener Sinneskanäle wie zum Beispiel Sprache, eine

visuell haptische Schnittstelle mit einer Anzeige oder einer Tastatur u.ä.. Die Forschung unterschiedlicher Disziplinen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion geht davon aus, dass Schnittstellen durch die Nutzung von verschiedenen Sinnen und Sinneskanälen bei der Interaktion natürlicher, fehlerrobuster und effizienter werden. Solche multimodalen Schnittstellen führen zu einem an Situation, Vorlieben und Fehler anpassbaren Gebrauch, der dem Nutzer mehr Freiraum und Akzeptanz bietet (Krämer & Nitschke, 2001; Minker, Bühler & Dybkjaer, 2005; Totzke, 2001; Oviatt & Cohen, 1994; Oviatt, 2002; Sharma, Pavlovic & Huang, 1998). Abseits der in dieser Arbeit vorgestellten Dualtask-Problematik hat eine Erforschung und Bearbeitung dieser Herausforderungen in anderen Domänen stattgefunden. Multimodalität als mögliche Antwort auf die Anforderungen neuer Funktionen wird beispielweise in Bereichen der Militärplanung, der Medizintechnik, der Computersoftware seit einigen Jahren untersucht und eingesetzt (Neuss, 2001). Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Übertragung dieser Konzepte ins Fahrzeug und bewertet anhand von Untersuchungen multimodaler Systeme im Dualtask die Vorteile einer Verknüpfung neuer Modalitäten mit den bisher im Fahrzeug verwendeten. Aus den oben beschriebenen Überlegungen und Erläuterungen bestimmen folgende Punkte zusammenfassend das Erkenntnisinteresse dieser Arbeit:

- Grad der Akzeptanz der Multimodalität,
- Präferenzen bei der Nutzung von Modalitätskombinationen,
- Auswirkung der Sprachbedienung auf die Fahraufgabe,
- Auswirkung multimodaler Bedienung auf die Fahraufgabe,
- Grad der Akzeptanz und Usability des Touchpads und der verschiedenen Bedienmodalitäten im Dualtask,
- Grad der Akzeptanz und Effektivität der Handschrifterkennung,
- Gestaltung des intuitiven Umgangs mit einem redundanten System,
- Lerneffekte im Umgang mit Multimodalität,
- Grad der Akzeptanz und Nutzungsprobleme bei der Sprachbedienung.

Anhand dieser Punkte werden Hypothesen formuliert, auf welche die empirischen Studien aufbauen, die mit dieser Arbeit vorgestellt werden.

### **1.4 Motivation und Ziele**

Die in Abschnitt 1.3 beschriebenen Punkte können eine Verbesserung der Bedienung zukünftiger Infotainmentsysteme im Fahrzeug bewirken. Diesem Ziel soll sich durch die (weitere) Integration neuer

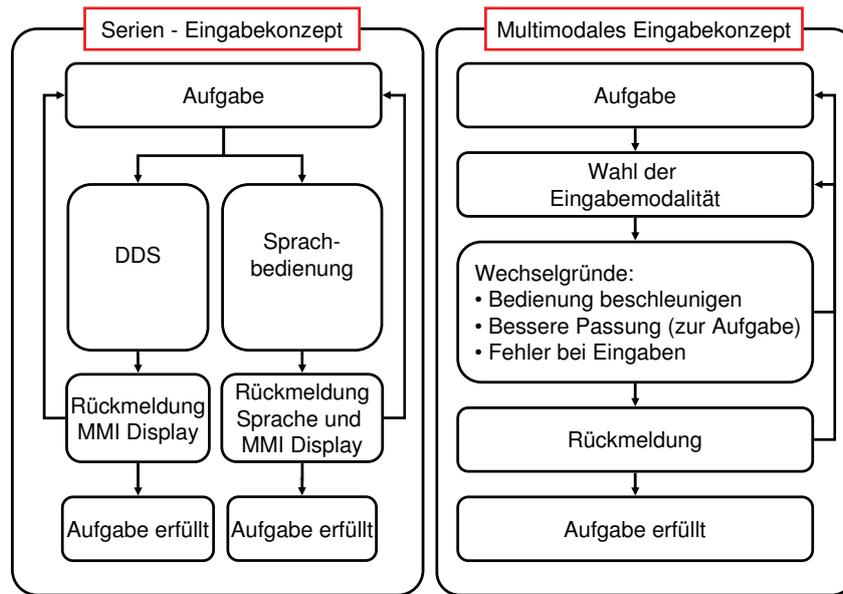


Abbildung 1.2: Ausgangszustand links: Bedienablauf bei zwei Modalitäten (DDS und Sprache) zwischen denen nicht gewechselt werden kann - Ziel rechts: Multimodale Eingabe: Beliebig häufige Wechsel zwischen Eingabemodalitäten innerhalb einer Aufgabe

Eingabemodalitäten wie Handschrifterkennung oder Spracherkennung und deren Kombination zu sogenannten *Multimodalen Bedienkonzepten* ins Fahrzeug genähert werden. Diese Integration erfolgt unter Anpassung des Bedienkonzepts sowie dessen benutzerfreundlichen Gestaltung, um einer Erhöhung der kognitiven Belastung des Fahrers entgegenzuwirken. Dabei werden auch Möglichkeiten der technischen Entwicklung der Einzelsysteme nicht ausgeschlossen. Da sich die Problematik im Spannungsfeld der Mensch-Maschine-Kommunikation bewegt, werden als Analogie und Vorbild die natürlichen Kommunikationsmerkmale und

-gewohnheiten des Menschen herangezogen, da in der direkten Mensch-Mensch-Interaktion automatisch und intuitiv multimodal kommuniziert wird. Dies spiegelt sich unter anderem bei der visuellen Unterstützung einer auditiv wahrgenommenen Information durch Mimik und Gestik oder dem Lesen von Lippenbewegungen wider. Bleibt dieses Zusammenspiel nicht eindeutig, kann auf Schrift oder Skizzen als weiteren Kommunikationskanal ausgewichen werden. Bei Missverständnissen in der multimodalen Mensch-Mensch-Interaktion ist es möglich, nur den Teil der Interaktion zu korrigieren, der zur fehlerhaften oder eingeschränkten Informationsübertragung geführt hat. Die Wiederholung einer bereits erfolgreichen Informationsvermittlung innerhalb des Kontextes ist nicht erforderlich. Das in 1.2 beschriebene SDS des aktuellen Audi MMI illustriert den technischen Stand und den Unterschied zur Mensch-Maschine-Kommunikation: Ein Wechsel vom Drehdrücksteller zum Sprachdialogsystem erfordert einen Neustart der haptisch begonnenen Eingabe. Eine erfolgreich eingegebene Information wird vom Sprachdialogsystem nicht übernommen - ein Informationsverlust, der bei einem "aktiven Beifahrer" nicht zu erwarten wäre. Wie in Abb. 1.2 zu erkennen ist, ist eine Erfüllung der Aufgabe nur mit jeweils einer Modalität und ohne Wechsel möglich. Die Anzeige für Navigationszieleingaben ist immer das MMI Display. Zwei Aspekte der Multimodalität natürlicher Mensch-Mensch-

Kommunikation finden in der Mensch-Maschine-Kommunikation keine Entsprechung: Der visuelle Kanal mit dem Fokus auf Mimik und Gestik wird von der Maschine nicht zur Disambiguierung der menschlichen Eingaben genutzt und beliebige Wechsel der Modalitäten in Bezug auf Reihenfolge und Hierarchie an wiederum beliebigen Punkten einer Eingabe ist nicht möglich. Diese beiden Aspekte werden in dieser Arbeit als mögliche Ursache für Probleme und Missverständnisse diskutiert. Diesen natürlichen Kommunikationsmerkmalen auch in der Mensch-Maschine-Kommunikation gerecht zu werden, ist Ziel der in dieser Arbeit angeführten Ansätze und Überlegungen. Intuitivere Interaktionsformen sollen die Eingabe komplexer Funktionen ermöglichen und die daraus resultierenden Probleme und Kommunikationshürden sollen durch Wechsel zu eindeutigen Bedienformen umgangen oder behoben werden können. Es wird vom Autor angenommen, dass dieses Verhalten Nutzern eine effektive, effiziente und akzeptierte Art der Interaktion mit den sogenannten tertiären (nicht für das Fahren direkt oder mittelbar erforderlichen) Funktionen im Fahrzeug ermöglichen kann. Multimodal wäre eine Eingabe im Sinne des Autors, wenn eine Eingabe entsprechend der Abb. 1.2 mit beliebig vielen Wechseln zwischen mehreren Eingabemodalitäten auf Grund unterschiedlicher Gründe stattfinden könnte und das Feedback nicht auf ein Display beschränkt bliebe. Neben der Entwicklung, Umsetzung und Integration neuer Bedienelemente liegt ein weiterer Fokus auf der teilweisen Anpassung des Bedienkonzeptes an den multimodalen Charakter der natürlichen Kommunikation. Die Erkennung von Handgesten und Mimik sowie eine Emotions- oder Fahrerzustandserkennung wird aus technischen Gründen und zu Gunsten einer zeitnahen Realisierung des untersuchten Konzeptes in dieser Arbeit nicht betrachtet. Eine wichtige Rolle spielt dagegen die Handschrifterkennung sowie die Untersuchung von Zeichengesten für Bestätigung und Korrektur einer Eingabe auf einem Touchpad. Bei der Integration von Sprache in ein multimodales Gesamtbedienkonzept wird in dieser Arbeit eine mögliche Dialogstrategie diskutiert. Da voraussichtlich auch in Zukunft die Erkennung von Spracheingaben im Fahrzeug nicht fehlerfrei bleibt, liegt ein zusätzlicher Schwerpunkt dieser Arbeit in der Untersuchung des Umgangs mit Erkennungsfehlern. Daher wurde für die Untersuchungen ein authentisches System mit systematischem Fehler und kein "Wizard-of-Oz" System verwendet (in dem ein menschlicher Operator ein technisches System spielt). Für die optische Rückmeldung der Interaktion existieren drei verschiedene Anzeigevarianten: das zentrale Display in der Mittelkonsole und zwei bisher für diese Interaktionen nicht genutzte Anzeigen: Das Display im Kombiinstrument und ein Headup-Display, das bei Audi nicht angeboten wird. Der vorliegende Entwurf eines Gesamtkonzeptes für multimodale Eingaben integriert auch die Displayauswahl in die Betrachtung. Das System Mensch-Fahrzeug ist ein relevantes Forschungsgebiet, nicht zuletzt, weil es auf Grund des hohen Problembewusstseins auf politischer Ebene Finanzmittel für Forschung und Entwicklung gibt. Auf Grund der rasanten Entwicklung in Bereichen wie Mobilfunk, Medienwiedergabe oder Navigation sind die Automobilhersteller darauf angewiesen, mit eigenen Konzepten, neuen Funktionen und vor allem einer sicheren und komfortablen Bedienung während der Fahrt in diesem Wettbewerb mitzuhalten und daher an Innovationen zur Verbesserung der Funktionsvielfalt und Bedienung interessiert (Meroth & Tolg, 2008).

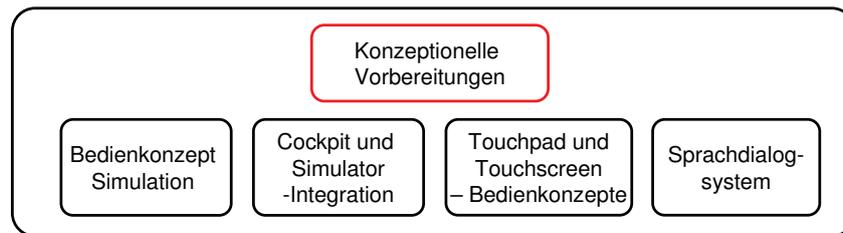


Abbildung 1.3: Arbeitsschritte zur Vorbereitung der Studien

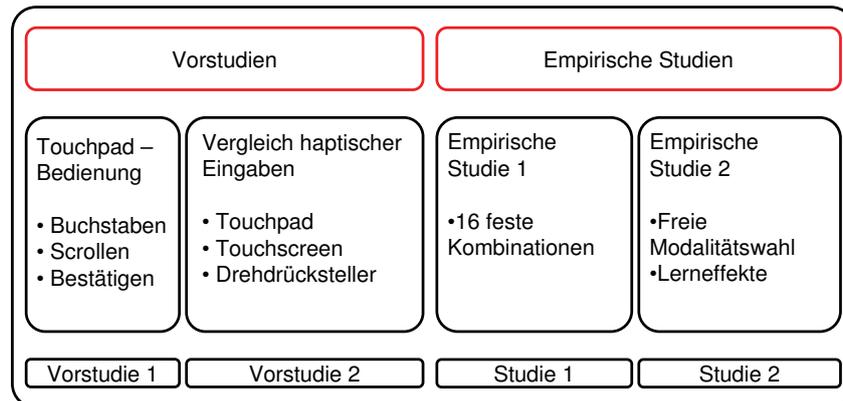


Abbildung 1.4: Abfolge und Inhalte der durchgeführten Studien

## 1.5 Vorgehensweise - empirische Untersuchungen

In dieser Arbeit liegt neben konzeptionellen Überlegungen (siehe Abb. 1.3) und Vorstudien zur Multimodalität (siehe Abb. 1.4) der Fokus auf empirischen Untersuchungen eines multimodalen Bedienkonzeptes im Dualtask. Die Vielfalt der Ausprägungen erfordert die Konzeption, Durchführung und Auswertung verschiedener empirischer Studien zur technischen Umsetzung einer repräsentativen Navigationszeileingabe in einer Bedienkonzeptsimulation mit fünf Eingabe- und vier Ausgabemodalitäten. In der vorliegenden Arbeit wird auf eine Studie mit einem fahrbaren Prototyp und auf drei Fahrsimulatorstudien eingegangen. Die intuitive Modalitätswahl der Probanden stand im Mittelpunkt der Untersuchungen, verzichtet wurde dagegen auf den Vergleich aller denkbaren Kombinationen und Abfolgen dieser Modalitäten. Das entwickelte Versuchsdesign für den Fahrsimulator bietet die Möglichkeit, Lerneffekte zu untersuchen sowie Auskunft über die Rolle der einzelnen Modalitäten im Gesamtkonzept zu geben. Die Übertragbarkeit von Vorteilen der Multimodalität, wie sie in Abschnitt 2.5 dargelegt wird, wird anhand von zwei empirischen Experimenten im Fahrsimulator untersucht. Dafür wurde ein experimentelles, multimodales Bedienkonzept entsprechend den theoretischen Konzepten der Ergonomie und der Kognitionspsychologie entworfen. Vorteile für die Dualtask Bedienung werden durch eine möglichst flexible Einbindung eines Sprachdialogsystems erwartet, da dies bezogen auf die Kompatibilität verfügbarer Schemata und mentaler Ressourcen haptisch visuellen Bedienkonzepten überlegen sein sollte. Die Notwendigkeit einer Einbindung in ein multimodales Bedienkonzept besteht aufgrund häufig erfolgloser oder als fehlerbehaftet eingeschätzten Bedienvorgänge der derzei-

tigen Sprachbedienung. Zugrunde gelegt wurde die Annahme, dass die damit verbundenen Nachteile ungenügend von den Nutzern akzeptiert werden (siehe 2.3.1). Für die beiden Studien wurde ein multimodales Bedienkonzept in der Simulationsumgebung EB Guide Studio basierend auf dem Audi MMI implementiert und sowohl mit seriennahen Bedienelementen (DDS und MFL) als auch mit einem Touchscreen bedienbar gestaltet. Zusätzlich wurde das neu entwickelte Konzept um ein Touchpad mit Handschrifterkennung erweitert. Auch hier wird - wie bei der Sprachbedienung - ein Vorteil gegenüber traditionellen haptisch visuellen Bedienkonzepten auf Grund höherer Kompatibilität und eindeutiger Schemata für die Buchstabeneingabe erwartet. Abschließend wurde das optische Feedback auf den drei verfügbaren Anzeigeorten dargestellt. Für die konzeptionelle Vorbereitung wurde eine Studie mit dem Touchpad (Vorstudie 1) und eine vergleichende Studie zur Buchstabeneingabe mit Touchscreen, Touchpad und Drehdrücksteller (Vorstudie 2) durchgeführt. In beiden Studien zur Multimodalität (siehe Abb. 1.4) wurden zusätzlich Befragungen durchgeführt und ausgewertet. Ausgezählte Bedienungshäufigkeiten geben zusätzlich einen Anhaltspunkt für die Ausgestaltung multimodaler Systeme im Fahrzeug. Fahrdaten wurden nur in der zweiten Studie und beim Direktvergleich zwischen Touchpad, Drehdrücksteller und Touchscreen erhoben. Zur Auswertung der Fahrdaten war es notwendig das intuitive Verhalten der Probanden in der zweiten Studie anhand verschiedener Kategorien zu kodieren um diese mit der Serienbedienung vergleichen zu können. Nach einer Darstellung der theoretischen Grundlagen und der Formulierung von Hypothesen zur Multimodalität im Dualtask folgt eine Beschreibung der Untersuchungsumgebung und der verwendeten methodischen Konzepte. Die erarbeiteten Ergebnisse werden anschließend erläutert und interpretiert, den Hypothesen gegenübergestellt und in diesem Kontext diskutiert. Abgerundet wird diese Arbeit durch einen Forschungsausblick, welcher Themen beleuchtet, die in dieser Arbeit nur am Rand erwähnt bleiben können oder aus den Ergebnissen und Erkenntnissen der hier vorgestellten Studien resultieren.



Abschließend werden die möglichen Ansätze für Verbesserungen der Mensch-Fahrzeug-Systeme zusammengefasst.

## 2.1 Mensch-Maschine-Systeme

### 2.1.1 Grundlagen zur Ergonomie von Mensch-Maschine-Systemen

Die Ergonomie kann entsprechend der Ursprünge des Kunstwortes aus den griechischen Worten *ergon* (=Arbeit) und *nomos* (=Gesetz; Gesetzmäßigkeit) als die Lehre von der menschlichen Arbeit bezeichnet werden (Spanner-Ulmer, 2007). Die Beschreibung und Gestaltung von Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine für technische Systeme ist ein Teilgebiet der Ergonomie und basiert auf dem Wissen um das Optimierungspotenzial dieses vielseitigen Gestaltungsbereiches. Alle Teilsysteme der Mensch-Maschine-Interaktion (vergleiche Abb. 2.1) bieten Potenzial für Verbesserungen und werden von der Ergonomie betrachtet. Für die zielführende Interaktion zwischen Mensch und Maschine hat Bubb (1993) drei Gestaltungsmaxime aufgestellt, die den Arbeitsbereich verdeutlichen:

1. *“Funktion: Was will der Operateur bezwecken und inwieweit kommt ihm das technische Arbeitsmittel dabei entgegen?”*
2. *Rückmeldung: Kann der Operateur erkennen, ob er etwas bewirkt hat und welchen Erfolg er hatte?”*
3. *Kompatibilität: Wie groß ist der Umkodieraufwand zwischen verschiedenen technischen Informationskanälen?”*

Wichtige Gestaltungsfragen sind demnach die Eignung eines technischen Systems zur Erfüllung der Aufgabe sowie Systembestandteile, die dem Menschen Rückmeldung darüber geben, ob er seine Ziele erreicht. Kompatibilität beschreibt den Erfolg einer technischen Gestaltung, die Informationen, welche zwischen der Maschine und dem Menschen ausgetauscht werden müssen, derart zu kodieren, dass der Lernaufwand des Menschen möglichst gering ausfällt. Dies ist durch die Gestaltung von Ein- und Ausgabemodalitäten zu optimieren, aber auch durch die Anpassung der Information an die Aufgabe und die Situation des Menschen.

### Belastungs- und Beanspruchungsmodell

Mit einem weiterführenden Modell der Arbeitswissenschaft, dem Belastungs- und Beanspruchungsmodell von Bullinger (1994), Hoyos und Frey (1999), weiter modifiziert durch Johannsen (1993), dargestellt in Abb. 2.2, lassen sich unterschiedliche subjektive Auswirkungen derselben Mensch-Maschine-Interaktion auf unterschiedliche Menschen erklären. Im Zentrum des Modells steht der Mensch, der durch eine Aufgabe oder eine Menge an Aufgaben belastet wird. Entsprechend seinen

Vorkenntnissen, seiner momentanen Situation sowie der mentalen oder körperlichen Verfassung reagiert er auf die Aufgabenkonstellation mit einer subjektiven Beanspruchung. Diese lässt sich nicht objektiv messen, lediglich die objektiv erbrachte Leistung bzw. die Effizienz. Diese sind operationalisierbar, in dem der Erfüllungsgrad der Aufgaben gemessen bzw. eine Fehler- und Zeitanalyse durchgeführt werden.

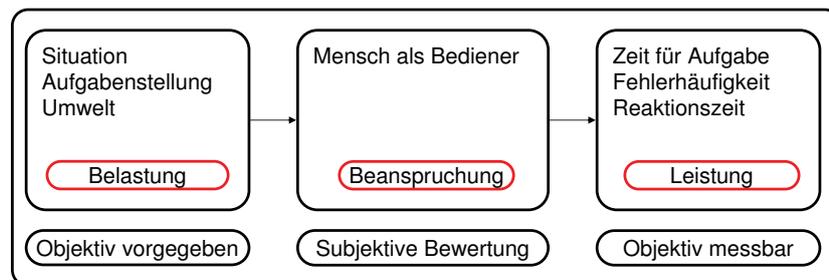


Abbildung 2.2: Belastungs- Beanspruchungsmodell der Bedienung von Maschinen nach Johannsen (1993)

Eine Befragung zum subjektiven Beanspruchungsniveau ist in der Ergonomie eine akzeptierte Methode um über die Gestaltung von Aufgabe und Maschine Auskunft zu erlangen. Für verwertbare Ergebnisse einer Befragung sind konstante Umgebungsfaktoren und eine reproduzierbare Aufgabe notwendig. Dann eignet sich dieses Modell zur Konzeption und Interpretation von sog. "Usability" Untersuchungen.

## 2.1.2 Gütekriterien ergonomischer Mensch-Maschine-Systeme

### Normen und Standardschriften

Im Entwicklungsprozess zu einer Nutzer-zentrierten Gestaltung von technischen Systemen zum Vorteil der Arbeitseffizienz und der Zufriedenheit des Menschen haben sich Gütekriterien durchgesetzt, die zum Teil auch in der Normenreihe DIN ISO 9241 DIN EN ISO 9241 - Teil 110 (2006) verbindlich festgelegt sind (weitere Quellen: Prüfhandbuch der DATech 2 (2004), Literatur zu Nutzer-freundlicher Produktgestaltung und der Verankerung von Usability Techniken und Tests in der Produktentwicklung (Green & Jordan, 1999; Jordan, 1998; Landau, 2002; Thomas & Bevan, 1996; Neuss, 2001; Heinsen & Vogt, 2003)). Die Normenreihe DIN ISO 9241 *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten* DIN EN ISO 9241 - Teil 110 (2006) ist ein wichtiger Leitfaden für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen auch außerhalb des Bürokontextes. Besonders hervorzuheben sind die Teile 9241 -110 (Grundsätze der Dialoggestaltung) und 9241 - 11 (Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit). In der Norm 9241-110 wird auch der Begriff Usability definiert, und zwar als "das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen." (DIN

EN ISO 9241 - Teil 110, 2006). Damit sind die ersten drei Kriterien für eine erfolgreiche Mensch-Maschine-Kommunikation in einem definierten Nutzungskontext benannt:

- **Effektivität** Effektivität wird als *“die Genauigkeit und Vollständigkeit mit der Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen”* (DIN EN ISO 9241 - Teil 110, 2006) können, beschrieben und damit gemeint ist die Funktionalität eines Systems.
- **Effizienz** Mit dem zweiten Kriterium Effizienz wird diese Funktionalität mit dem zur Zielerreichung notwendigen Aufwand in Verhältnis gesetzt. Nämlich *“der im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen”* (DIN EN ISO 9241 - Teil 110, 2006) können.
- **Zufriedenheit** Ergänzt werden diese beiden messbaren und so gesehen objektiven Kriterien mit einem subjektiven. Durch die *“Freiheit von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produkts”* wird Zufriedenheit der Nutzer beschrieben.

Um diese drei eher globalen Ziele zu erreichen, wurde mit dem Teil 110 derselben Normenreihe ein Satz weitergehender Kriterien als Grundlage für die Arbeit an Mensch-Maschine-Schnittstellen formuliert. Auf diese Kriterien soll hier kurz eingegangen werden. Sie sind sowohl im Teil 110 der DIN EN ISO 9241 (DIN EN ISO 9241 - Teil 110, 2006), aber auch in (Herczeg, 1994) beschrieben.

**Aufgabenangemessenheit** Damit ein System geeignet ist, seine Nutzer effizient und effektiv zu unterstützen, muss das Arbeitsziel ohne Umwege erreicht werden; das System sollte nicht komplizierter als notwendig, sondern aufgabenangemessen sein.

**Selbstbeschreibungsfähigkeit** Systeme sind dann ergonomisch gestaltet, wenn, wie Bente (in (Bente, Mangold & Vorderer, 2004)) beschreibt, *“der Benutzer/die Benutzerin ohne zusätzliche Beschriftung, Erklärungen, Hilfen, Legenden und Ähnliches erkennen kann, worum es sich bei einer Anzeige, einem Interaktions-Element, einer Meldung, einer Eingabeaufforderung und so weiter handelt.”* Dafür ist es erforderlich, dass bei vorausgesetzter Bedienabsicht notwendige Arbeitsschritte und die Schrittfolge im System leicht erkennbar gestaltet und Rückmeldungen oder andere systemseitige Gestaltungsfreiräume (wie GUI; VUI, etc.) genutzt werden, um die Funktionsweise zu erklären.

**Steuerbarkeit** Steuerbar wird ein System dann, wenn der Nutzer im Dialog in der Lage ist, den Rhythmus und die Reihenfolge von Eingaben zu beeinflussen, Unterbrechungen möglich sind, die Rücknahme von Eingaben ohne weitere Verluste und auch ein Wechsel der Eingabemodalität bei redundanten Eingabemöglichkeiten ohne Informationsverlust erlaubt sind. Zeitkritische Abfragen sind zudem im Fahrzeugkontext zusätzlich durch das European Statement of Principles (ESoP) untersagt (mehr zu ESoP unter 2.1.3).

**Erwartungskonformität** Unter anderen Begriffen wie Mapping (Norman, 2002; Jettkant, Clasbrummel & Orłowski, 2003) oder Kompatibilität (Schmidtke, 1993) bekannt, definiert der Normungsausschuß die Eigenschaft von Systemen als Erwartungskonformität, die die Erfahrungen der Nutzer und deren mentale Schemata (siehe auch 2.2.5) berücksichtigt und eine leichtere Bedienung dadurch ermöglicht, dass Vergleiche mit anderen Repräsentationen der Funktion oder ähnlichen Funktionen dem Nutzer helfen, schnell neue mentale Modelle aufzubauen, die eine reibungslose Verwendung des neuen Produkts ermöglichen. Wichtig hierbei ist die Berücksichtigung der Zielgruppen, sowohl im Hinblick auf demografische Faktoren wie Alter, als auch kulturelle Spezifika, wie sie durch Lokalisierung der Produkte für bestimmte Märkte oder Kulturkreise umgesetzt werden können.

**Fehlerrobustheit** Treten bei der Bedienung dennoch Fehler auf, so sollte das System dadurch nicht in instabile oder intransparente Zustände geraten, sondern dem Nutzer eine handlungsanweisende Fehlermeldung präsentieren, oder ggf. eine automatische Fehlerkorrektur anbieten, die dann jedoch auch revidierbar sein sollte. Das Ziel eines fehlerrobusten Systems ist es, dass der Nutzer *“trotz unvollständiger oder fehlerhafter Eingaben mit minimalem (oder sogar ganz ohne) Korrekturaufwand sein Ziel erreicht”* (Bente et al., 2004)

**Individualisierbarkeit** Weiterhin ermöglichen ergonomische Systeme ein gewisses Maß an Möglichkeiten zur Personalisierung von Eigenschaften und Funktionsumfang. Derjenige Teil eines Systems, der zur Wiedererkennung einer Funktion notwendig ist, sollte nicht individualisierbar sein. Diese Eingrenzung der Individualisierbarkeit lässt sich auch durch ein berechtigtes Mißtrauen gegenüber Nutzern rechtfertigen, wie es in einem Grundlagenbuch zur Softwareergonomie mit den folgenden Worten beschrieben wird: *“Unabhängig davon ist zu beobachten, dass Benutzer nur selten in der Lage sind, ihre Systeme zu ihrem Vorteil zu individualisieren. Oftmals sind es nur ästhetische Manipulationen, die nicht zwangsläufig wichtige Kriterien wie Effizienz, Erwartungskonformität/Konsistenz und Selbstbeschreibungsfähigkeit positiv beeinflussen.”* (Herczeg, 1994)

**Lernförderlichkeit** Lernförderlich ist ein System, wenn es dem Nutzer beim Erwerb von Fähigkeiten für die Nutzung behilflich ist, wie dies z.B. durch Wiedererkennbarkeit von Grafikelementen oder Interaktionsmustern möglich ist. Lernförderlich kann ein System auch dadurch werden, dass nicht alle Funktionen auf gleicher Ebene verfügbar sind und damit einfache Funktionen leicht, Expertenfunktionen mit geringem Aufwand nutzbar sind. Beispiele, die die Anwendung dieser Kriterien bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen verdeutlichen, werden in Tabelle 2.1 beschrieben.