

**Lehrstuhl für Ergonomie  
der Technischen Universität München**

**Entwicklung und Evaluierungen eines  
Touchpadbedienkonzepts mit adaptiv haptisch  
veränderlicher Oberfläche zur  
Menübedienung im Fahrzeug**

**Dipl.-Ing. Univ. Roland Spies**

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

Vorsitzender: Univ. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Prüfer der Dissertation:

1. Univ. Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb (i.R.)

2. Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr. phil. habil. Birgit Spanner-Ulmer

Die Dissertation wurde am 01.08.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 18.07.2013 angenommen.

---

# *Meinen Eltern*



## Danksagung

An dieser Stelle gilt es Danke zu sagen bei Personen, die diesen Lebensabschnitt begleitet und mitgeprägt haben und so Ihren Anteil an dieser Arbeit haben.

An erster Stelle ist Herr Prof. Heiner Bubb zu nennen, der mir als Doktorvater immer mit Rat und guten Ideen zur Seite stand. Besonders positiv wird mir dabei seine stets offene Tür für lange Absprachen, Fragen und Diskussionen in Erinnerung bleiben.

Ein weiterer besonderer Dank gilt Herrn Dr. Werner Hamberger, der als Leiter der Bedienkonzeptentwicklung dieses Projekt seitens der Audi AG ermöglicht und betreut hat. An dieser Stelle herzlichen Dank für die Möglichkeit, Freiheit und die Unterstützung einen derart weiten Blick in die Zukunft wagen zu dürfen.

Weiterhin gilt mein Dank Frau Prof. Birgit Spanner-Ulmer und Herrn Prof. Bengler für die Übernahme der Zweitkorrektur und den Prüfungsvorsitz, sowie die guten Tipps zum Gelingen dieser Arbeit.

Ein großer Dank gilt Herrn Claude Toussaint von der Firma designaffairs, der durch seinen kreativen Denkansatz und den gewagten Blick über den Tellerrand einen Grundstein für diese Arbeit gelegt hat. Vielen Dank an dieser Stelle auch Herrn David Fuxen und Herrn Alexander Peters von designaffairs, welche als Projektpartner von Anfang an das Projekt begleitet haben und so einen maßgeblichen Anteil an der Existenz des haptischen Touchpads haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei den zahlreichen Helfern und Wegbegleitern für die Hilfe bei der Realisierung des Guidemenüs, die Vorbereitung des Fahrsimulators sowie den methodischen Input bedanken. Hierzu zählen Marek Piorkowski, Stefan Zettl, Günter Horna, Dr. Stefan Hummel und Dr. Michael Mischke.

Zu guter Letzt sind zahlreiche fleißige Studenten zu nennen, die mitgearbeitet und zum Gelingen beigetragen haben. Hierzu zählen Johannes Güllich, Heidi von Bychowski, Susanne Weber, Andreas Borchardt, Jacob Kathes, Florian Dauth sowie Andreas Betzl. Zuletzt ist noch Andreas Blattner zu nennen. Er hat die Arbeit mit all seinen Studienarbeiten und Praktika von Anfang bis Ende mit begleitet und so ist es eine logische Konsequenz, dass er offen gebliebene Fragen im Rahmen seiner Doktorarbeit nun beantworten wird. Hierfür mein Dank und meine besten Wünsche....

München, 29.05.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XVI</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1    GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG VON KOMFORTFUNKTIONEN FÜR PKW .....	2
1.2    HEUTIGER STAND DER TECHNIK ZENTRALER INFOTAINMENTSYSTEME .....	5
1.3    MOTIVATION UND ZIELSETZUNG .....	7
1.4    VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DER ARBEIT .....	8
<b>2 THEORETISCHE ERMITTLUNG DES HANDLUNGS-BEDARFS</b> .....	<b>10</b>
2.1    MENÜBEDIENUNG IM FAHRZEUGKONTEXT .....	10
2.2    BETRACHTUNG MENSCHLICHER VORAUSSETZUNGEN .....	13
2.2.1    Informationsaufnahme .....	14
2.2.2    Informationsverarbeitung .....	16
2.2.3    Informationsumsetzung .....	22
2.3    ANALYSE DER AUFGABE MENÜBEDIENUNG .....	23
2.3.1    Systemergonomische Grundmaxime .....	24
2.3.2    Analyse der Aufgabentypen einer Menübedienung im Dualtask .....	28
2.4    BEWERTUNG VON STELLEILEN UND INTERAKTIONSFORMEN .....	30
2.5    ZUSAMMENFASSUNG .....	32
<b>3 KONZEPTENTWICKLUNG BEDIENELEMENT</b> .....	<b>35</b>
3.1    BEWERTUNG DERZEITIGER INFOTAINMENTBEDIENTEILE .....	35
3.2    KONZEPT HAPTISCHES TOUCHPAD .....	38
3.2.1    Technischer Hardwareaufbau .....	39
3.2.2    Interaktionskonzepte .....	42
3.2.3    Rückmeldestrategien und Bedienlogik.....	46
3.3    UNTERSUCHUNGSBEDARF .....	47

---

<b>4</b>	<b>METHODISCHES VORGEHEN .....</b>	<b>49</b>
4.1	HYPOTHESENGENERIERUNG.....	49
4.2	KENNWERTE ZUR HYPOTHESENPRÜFUNG.....	50
4.2.1	Objektive Kennwerte.....	51
4.2.2	Subjektive Beurteilung .....	53
4.3	EXPERIMENTAUSWAHL .....	54
4.4	HYPOTHESENPRÜFUNG.....	55
4.4.1	Deskriptive Statistik.....	56
4.4.2	Inferenzstatistik.....	57
4.4.3	Prüfung.....	58
4.5	FAZIT.....	59
<b>5</b>	<b>HYPOTHESEN UND VERSUCHSDESIGN .....</b>	<b>61</b>
5.1	HYPOTHESENFORMULIERUNG .....	61
5.1.1	Hypothesen zur Bedienung mit Touchpad .....	61
5.1.2	Hypothesen zu Menübedienung im Dual Task.....	66
5.2	VERSUCHSDESIGN .....	69
5.2.1	Experimentelles Vorgehen .....	69
5.2.2	Versuchsumgebung.....	70
5.2.3	Versuchsdurchführung.....	75
5.3	ERGEBNISDARSTELLUNG.....	76
<b>6</b>	<b>SIMULATORUNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>78</b>
6.1	FAHRSIMULATORSTUDIE ZUR AUSLEGUNG EINER TOUCHPADINTERAKTION TEIL 1 .....	79
6.1.1	Versuchsdesign.....	79
6.1.2	Ergebnisdarstellung.....	84
6.1.3	Zusammenfassung.....	106
6.2	FAHRSIMULATORSTUDIE ZUR AUSLEGUNG EINER TOUCHPADINTERAKTION TEIL 2 .....	107
6.2.1	Versuchsdesign.....	107
6.2.2	Ergebnisdarstellung.....	111
6.2.3	Zusammenfassung.....	121
6.3	FAHRSIMULATORSTUDIE ZUM VERGLEICH VON BEDIENVARIANTEN.....	122
6.3.1	Versuchsdesign.....	122
6.3.2	Ergebnisse .....	128
6.3.3	Zusammenfassung.....	138
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG .....</b>	<b>140</b>

7.1	DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....	140
7.1.1	Interaktionsformen .....	140
7.1.2	Orientierungshilfen .....	143
7.1.3	Bedienlogik.....	145
7.1.4	Menübedienung im Dual Task.....	146
7.2	ALLGEMEINE EMPFEHLUNGEN ZUR GESTALTUNG DER INFOTAINMENTBEDIENUNG .....	148
7.3	KRITISCHE BELEUCHTUNG UND AUSBLICK .....	149
	<b>LITERATUR .....</b>	<b>152</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>162</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Lenkradfernbedienung "AS5" (Tunze, 2007) .....	2
Abbildung 1-2: Nachrüstbarer Plattenspieler "Automignon" von Philips (Tunze, 2007) .....	3
Abbildung 1-3: Infotainmentbedienung über Touchscreen bei VW und Lexus .....	5
Abbildung 1-4: Abgesetzte Dreh- Drück- und Dreh- Drück- Schiebe- Steller zur Infotainmentbedienung von BMW, Mercedes und Audi .....	6
Abbildung 1-5: Abgesetzte Bedienelemente Audi MMI 3G+ und Lexus Remote Touch.....	7
Abbildung 2-1: Fahrer- Fahrzeug Regelkreis ergänzt nach Bubb & Seiffert (1992) .....	11
Abbildung 2-2: Hierarchie der verschachtelten Regelkreise bei der Fahrzeugbedienung (Bernotat, 1970).....	12
Abbildung 2-3: Informationsverarbeitendes Modell nach Bubb (1993a) .....	13
Abbildung 2-4: Anatomischer Aufbau des Auges.....	14
Abbildung 2-5: Menschliche Informationsübertragungsprozesse und Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen nach Wickens (1984) .....	17
Abbildung 2-6: Das Modell multipler Ressourcen (Wickens & Hollands, 2000) .....	19
Abbildung 2-7: Vereinfachte Darstellung des Drei- Ebenenmodells menschlichen Handelns nach Rasmussen (Rasmussen, 1986).....	22
Abbildung 2-8: Systemergonomische Grundmaxime nach Bubb (1993) .....	24
Abbildung 3-1: Bewertender Vergleich der derzeit auf dem Markt existierenden Bedienvarianten; Nummern in Klammern beziehen sich auf die in Kapitel 2.5 aufgestellten Rahmenbedingungen .....	37
Abbildung 3-2: Konzeptidee des haptischen Touchpads. Oben: Menüanzeige; Unten: Haptische Touchpadoberfläche.....	38
Abbildung 3-3: Platinensteckprinzip der Metec- Braille Module (Peters, 2008) .....	40
Abbildung 3-4: Braille-, IR-,FSR-Einheit (Peters, 2008).....	41
Abbildung 3-5: Prototyp Haptisches Touchpad 1; links: Innenleben; rechts: außen .....	41
Abbildung 3-6: Prototyp Haptisches Touchpad 2; links: Innenleben; rechts: außen .....	42
Abbildung 3-7: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen .....	44
Abbildung 3-8: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Auswahlaufgaben > 9 Optionen .....	44

Abbildung 3-9: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional .....	45
Abbildung 3-10: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional .....	46
Abbildung 4-1: In den Fahrsimulatorstudien zur Hypothesenprüfung erhobene Kennwerte .....	51
Abbildung 5-1: Untersuchungsvorgehen – Aufteilung der Fragestellungen auf drei aufeinander folgende Simulatorstudien .....	70
Abbildung 5-2: Statischer Fahrsimulator der Audi AG (Quelle: Audi AG) .....	71
Abbildung 5-3: Mittelkonsole des Fahrsimulators .....	71
Abbildung 5-4: Exemplarische Darstellung der Aufgabeneckpunkte und Bewertungsskala am Armaturenbrett auf der Beifahrerseite .....	72
Abbildung 5-5: Folgefahrt im statischen Fahrsimulator.....	72
Abbildung 5-6: Versuchsstrecke bestehend aus sich abwechselnden gleichmäßigen Rechts- und Linkskurven.....	73
Abbildung 5-7: Head-Unit des kopfbasierten Blickerfassungssystems Dikablis.....	73
Abbildung 5-8: AOI-basierte automatische Auswertung von Kennwerten basierend auf Blickdauern in vordefinierte AOIs. Links: Aufnahme des Blickfilms mit der Head Unit von Dikablis; Rechts: Automatisierte Auswertung in D-Lab durch Einzeichnung von AOIs .....	74
Abbildung 5-9: Aufbau der Simulatorstudien in fünf Versuchsphasen.....	76
Abbildung 5-10: Beispieltabelle mit den deskriptiven und inferenzstatistischen Ergebnissen für einen erhobenen Kennwert.....	77
Abbildung 5-11: Beispiel für die Beschriftung der Ergebnisdiagramme .....	77
Abbildung 6-1: Einbau haptisches Touchpad als Beispiel eines zentralen Infotainmentbedienteils in die Mittelkonsole des statischen Fahrsimulators.....	78
Abbildung 6-2: Altersverteilung der in Studie 1 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts.....	79
Abbildung 6-3: Zellenplan zum Vergleich der zwei Interaktionsformen für Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen.....	80
Abbildung 6-4: Zellenplan zum Vergleich der vier Interaktionsformen für Auswahlaufgaben > 9 Optionen.....	80
Abbildung 6-5: Zellenplan zum Vergleich der vier Interaktionsformen für Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	81
Abbildung 6-6: Zellenpläne zur Untersuchung der Orientierungshilfe durch Formkodierung .....	81
Abbildung 6-7: Exemplarische Darstellung von Aufgabe 1 - Aufgabentyp Auswahlaufgabe > 9.....	82

Abbildung 6-8: Exemplarische Darstellung von Aufgabe 2 - Aufgabentyp Auswahlaufgabe $\leq 9$ sowie Einstellaufgabe 1-dimensional .....	83
Abbildung 6-9: Permutationsplan der in Studie 1 verglichenen Varianten .....	84
Abbildung 6-10: Bearbeitungsdauer bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen .....	85
Abbildung 6-11: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie mittlere Bewertung der Einzelblicke (rechts) bei der Bearbeitung einer Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad .....	86
Abbildung 6-12: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen .....	87
Abbildung 6-13: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	88
Abbildung 6-14: Bearbeitungsdauer bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen .....	89
Abbildung 6-15: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad .....	90
Abbildung 6-16: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen .....	91
Abbildung 6-17: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	92
Abbildung 6-18: Bearbeitungsdauern bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	93
Abbildung 6-19: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad .....	94
Abbildung 6-20: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	95
Abbildung 6-21: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	96
Abbildung 6-22: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten .....	97
Abbildung 6-23: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung der Bedienung einer Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten .....	98

Abbildung 6-24: Standardabweichungen der Spurhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte(n) Tasten.....	99
Abbildung 6-25: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte(n) Tasten (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	100
Abbildung 6-26: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Tasten.....	100
Abbildung 6-27: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Tasten ..	101
Abbildung 6-28: Standardabweichungen der Spurhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Tasten ..	102
Abbildung 6-29: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Tasten (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend).....	103
Abbildung 6-30: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Schiebern .....	103
Abbildung 6-31: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Schiebern .....	104
Abbildung 6-32: Standardabweichungen der Spurhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Schiebern .....	105
Abbildung 6-33: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte(n) Schiebern (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend).....	105
Abbildung 6-34: Altersverteilung der in Studie 2 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts.....	107
Abbildung 6-35: Zellenplan zum Vergleich der drei Interaktionsformen für Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	108
Abbildung 6-36: Exemplarische Darstellung der Versuchsaufgabe. Variiert werden die Interaktionsformen, die Art der Orientierungshilfen sowie die Bedienlogik .....	110
Abbildung 6-37: Permutationsplan der in Studie 2 verglichenen Varianten .....	111
Abbildung 6-38: Bearbeitungsdauern bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	112

Abbildung 6-39: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad .....	113
Abbildung 6-40: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	114
Abbildung 6-41: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	115
Abbildung 6-42: Vergleich der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik.....	116
Abbildung 6-43: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik .....	117
Abbildung 6-44: Vergleich der Spurabweichung bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik.....	118
Abbildung 6-45: Vergleich der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik.....	119
Abbildung 6-46: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik.....	120
Abbildung 6-47: Vergleich der Spurabweichung bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik.....	120
Abbildung 6-48: Altersverteilung der in Studie 3 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts.....	122
Abbildung 6-49: Bedienelement der Kategorie „Verteilte Bedienung“ .....	123
Abbildung 6-50: Zellenplan der zwei zu vergleichenden Bedienelemente .....	123
Abbildung 6-51: Zellenpläne zum Vergleich der Bedienung einer „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional“, einer „Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen“ und einer Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen mit den Bedienelementen Dreh- Drück- Steller und haptisches Touchpad.....	124
Abbildung 6-52: Aufgabe Teil 1 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh- Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen .....	125
Abbildung 6-53: Aufgabe Teil 2 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh- Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen .....	126
Abbildung 6-54: Aufgabe Teil 3 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh- Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen .....	127

---

Abbildung 6-55: Vergleich zwischen verteilter Bedienung und haptischem Touchpad der Blickrate und der durchschnittlichen Blickanzahl auf das Bedienelement bei Aufgaben mit nötigem Bedienelementwechsel .....	129
Abbildung 6-56: Vergleich der subjektiven Bewertung der verteilten Bedienung mit der Bedienung des haptischen Touchpads auf einer fünfstufigen Skala (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend) .....	130
Abbildung 6-57: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Bewertung der subjektiv empfundenen Attraktivität für die Bedienung mittels verteiltem Bedienelement und haptischem Touchpad (7 = positiv; 1 = negativ).....	131
Abbildung 6-58: Freie subjektive Aussagen der Probanden zu Vor- und Nachteilen des haptischen Touchpads.....	131
Abbildung 6-59: Freie subjektive Aussagen der Probanden zu Vor- und Nachteilen der verteilten Bedienung.....	132
Abbildung 6-60: Vergleich der Bedienzeiten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq$ 9 Optionen, Auswahlaufgabe $>$ 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad.....	134
Abbildung 6-61: Vergleich des aggregierten Blickverhalten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq$ 9 Optionen, Auswahlaufgabe $>$ 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad.....	136
Abbildung 6-62: Vergleich der mittleren Einzelblickverhalten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq$ 9 Optionen, Auswahlaufgabe $>$ 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad.....	137
Abbildung 6-63: Vergleich der Spurabweichung bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq$ 9 Optionen, Auswahlaufgabe $>$ 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad.....	138

---

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Klassifizierung von Bedienelementen (Boff & Lincoln, 1988) .....	31
Tabelle 2-2: Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer Infotainmentbedieneinheit und deren Interaktionsformen.....	33
Tabelle 4-1: Zahlenniveaus und deren charakteristische Merkmale (Bortz, 2005) .....	56
Tabelle 4-2: Effektgrößen (Bortz, 2005) .....	58
Tabelle 4-3: Matrix möglicher Fehler bei der statistischen Hypothesenprüfung (Bortz, 2005).....	59
Tabelle 6-1: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bearbeitungsdauer bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen.....	85
Tabelle 6-2: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen .....	86
Tabelle 6-3: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurhaltung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen .....	87
Tabelle 6-4: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Aussagen bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen.....	87
Tabelle 6-5: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen .....	89
Tabelle 6-6: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen .....	90
Tabelle 6-7: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurhaltung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen .....	91
Tabelle 6-8: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen.....	92
Tabelle 6-9: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional.....	94
Tabelle 6-10: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	95
Tabelle 6-11: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurabweichung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	95

Tabelle 6-12: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional .....	96
Tabelle 6-13: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten .	98
Tabelle 6-14: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten.....	99
Tabelle 6-15: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Fahrperformance bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten.....	99
Tabelle 6-16: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten .....	100
Tabelle 6-17: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Buttons .....	101
Tabelle 6-18: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Buttons.....	101
Tabelle 6-19: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Fahrperformance einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Buttons	102
Tabelle 6-20: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der subjektiven Einschätzung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Buttons .....	102
Tabelle 6-21: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern .....	104
Tabelle 6-22: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern .....	104
Tabelle 6-23: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der subjektiven Beurteilung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern .....	106
Tabelle 6-24: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	112
Tabelle 6-25: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	113
Tabelle 6-26: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurabweichung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	114

Tabelle 6-27: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der absoluten subjektiven Beurteilung zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional .....	115
Tabelle 6-28: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik	116
Tabelle 6-29: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik.....	117
Tabelle 6-30: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Spurahaltung bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik .....	118
Tabelle 6-31: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik .....	119
Tabelle 6-32: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik .....	120
Tabelle 6-33: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Spurahabweichung bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik .....	121
Tabelle 6-34: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken des Vergleichs der Aufgabendauern für die Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq 9$ Optionen, Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad.....	135
Tabelle 6-35: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die Anzahl der Blicke und kumulierte Blickdauer bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq 9$ Optionen, Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad .....	136
Tabelle 6-36: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die mittlere und die maximale Blickdauer bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq 9$ Optionen, Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad .....	137
Tabelle 6-37: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die Spurahabweichung bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben $\leq 9$ Optionen, Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad .....	138

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AOI</b>	Area of Interest
<b>DDS</b>	Dreh-Drücksteller
<b>HMI</b>	Human-Machine Interface
<b>HTP</b>	Haptisches Touchpad
<b>MMI</b>	Multimedia Interface
<b>FSR</b>	Force- Sensing- Resistive

## Zusammenfassung

Seit dem Einzug der Elektronik ins Fahrzeug wird der Umfang an Unterhaltungs- und Komfortfunktionen ständig größer. Das Automobil stellt mittlerweile einen mobilen Unterhaltungsraum und Arbeitsplatz dar. All diese Funktionalitäten sind in menügeführten Infotainmentsystemen zusammengefasst, welche durch Bedieneinheiten wie Dreh-Drück- oder Dreh-Drück-Schiebe-Steller mit zusätzlichen Menütasten in der Mittelkonsole oder mittels Touchscreen zentral bedient werden können. Die dafür derzeit auf dem Markt befindlichen Bedienteile weisen allesamt Vorteile jedoch auch Schwächen auf.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Touchpad mit einer haptisch anpassbaren Oberfläche als Alternativlösung vorgestellt. Idee ist es, alle Menüaufgaben zentral mit einem Touchpad in der Mittelkonsole bedienen zu können. Dabei sollen alle auf dem Bildschirm dargestellten manipulierbaren Inhalte, wie beispielsweise Tasten auf der Touchpadoberfläche, haptisch erfühlbar sein und betätigt werden können. Die Touchoberfläche passt sich jeweils dem aktuellen Bildschirminhalt an. Somit kann eine direkte Manipulation wie beim Touchscreen gewährleistet werden und dennoch das Bedienelement im idealen Greifraum in der Mittelkonsole positioniert sein.

In Probandenstudien im statischen Fahrsimulator werden zunächst Interaktionsformen für eine solche Bedientechnologie ermittelt. Des Weiteren wird der positive Effekt der haptisch konturierten Oberfläche im Vergleich zu einem glatten Touchpad ohne Haptik nachgewiesen. Der Vergleich des haptischen Touchpads mit einem Serienbedienteil lässt das Potenzial einer solchen Bedientechnologie erkennen. Als Vergleichsgegenstand dient ein abgesetztes Bedienelement mit einem Dreh-Drück-Steller, vier Menütasten und einem separaten Touchpad zur Manipulation einer Navigationskarte. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Verwendung des haptischen Touchpads Kontrollblicke zum Bedienelement vermieden werden können. Die Probanden sehen dies als einen großen Vorteil des haptischen Touchpads.

# 1 Einleitung

Der Anspruch an das Automobil unterliegt von Beginn an einem stetigen Wandel. Während das ursprüngliche Ziel einzig dem Transport galt, stellen moderne Personenkraftwagen mehr und mehr einen mobilen Unterhaltungsraum bzw. Arbeitsplatz dar. Dieser Trend schlägt sich in einem stetigen Wachstum an Komfort- und Unterhaltungsfunktionen nieder, welcher Entwickler heutzutage vor komplett neue Herausforderungen stellt. Waren vor kurzem Innovationen im Kraftfahrzeug noch weitestgehend durch die Technik getrieben, so ist mittlerweile der Umsetzung von neuen mechatronischen Systemen aus technischer Sicht nahezu keine Grenze mehr gesetzt. Der Flaschenhals liegt vielmehr in der intuitiven, sicheren Bedienbarkeit dieser Systeme. Automobilhersteller begegnen dem immensen Zuwachs an Bedien- und Anzeigeelementen seit einem knappen Jahrzehnt mit menügeführten zentralen Infotainmentsystemen, welche all diese Komfort- und Unterhaltungsfunktionen über eine zentrale Einheit bedienbar machen. Das Wort *Infotainment* ist dabei ein Kunstwort zusammengesetzt aus den Wörtern *Information* und *Entertainment*. Für die Bedienung solcher Systeme gibt es derzeit verschiedenste Lösungen auf dem Markt, welche allesamt ihre Berechtigung haben, jedoch auch Nachteile aufweisen.

Zudem ist ein Wandel in der Art der Interaktion mit menügeführten Systemen auch in anderen Branchen wie beispielsweise dem Mobilfunk- aber auch dem PC- Bereich zu erkennen. Die Interaktion mittels Touchscreens findet mittlerweile nahezu in allen Bereichen Anwendung und verdrängt zunehmend klassische Bedienelemente wie Drehsteller oder Tasten. Interaktionsformen mit Fingergesten sowie Mehrfingerbedienung auf sensorischen Eingabeflächen, bekannt als Multitouch, sollen zudem eine natürliche und intuitive Bedienung fördern. Die redundante Nutzung zusätzlicher Sinneskanäle, als Multimodalität bekannt, ergänzt diese Bedienkonzepte. So geben Mobiltelefone mit Touchscreen, teils zusätzlich, noch haptische Rückmeldung über getätigte Eingaben mittels Vibration. Laut einem Bericht der Süddeutschen Zeitung vom April 2009, wird dieser Trend noch fortgesetzt werden, indem Toucheingabeflächen zukünftig dreidimensional ihre Oberfläche an Bedienkontexte anpassen können (Hochrinner, 2009).

Im Folgenden sollen zunächst die Ursprünge und die geschichtliche Entwicklung der Unterhaltungsfunktionen im Automobil sowie der Wandel in deren Bedienung bis hin zum momentanen Stand der Technik beleuchtet werden. Daraus lässt sich sodann die Motivation

dieser Arbeit begründen. Die Beschreibung des Aufbaus der hier vorliegenden Arbeit rundet dieses Einleitungskapitel ab.

### 1.1 Geschichtliche Entwicklung von Komfortfunktionen für PKW

*„Nur wer die Vergangenheit kennt, hat eine Zukunft“  
(Wilhelm von Humboldt)*

Die Idee, Unterhaltung im Fahrzeug anzubieten, wird schon sehr früh geboren. Zunächst beschränkt sich die automotiv Unterhaltung auf den Empfang des Radios. Während die Fließbandfertigung und somit die massenhafte Verbreitung des Automobils mit dem *Modell T* der Firma Ford im Jahr 1913 beginnt, erfolgt der erste Einbau eines Autoradios in ein Fahrzeug schon 9 Jahre später 1922 (Kilimann, 2007). 1924 ist bei Chevrolet bereits das erste werksseitig eingebaute Autoradio erhältlich. Mangels heutiger Mikroelektronik, sind diese Geräte vergleichsweise groß und schwer, was einen Einbau in das Armaturenbrett verhindert. Schon 1932 wird deshalb eine Lösung erdacht, um eine Bedienung dieser Geräte während der Fahrt zu ermöglichen. Dabei handelt es sich um das erste europäische Gerät von der Firma Blaupunkt mit der Modellbezeichnung *AS5*, welches mittels Bowdenzügen eine Fernbedienung der Lautstärke und der Empfangsfrequenz vom Lenkrad aus ermöglicht (siehe Abbildung 1-1).



*Abbildung 1-1: Lenkradfernbedienung "AS5" (Tunze, 2007)*

Somit war ein erster Entwurf des sogenannten heutigen Multifunktionslenkrads schon im Jahre 1932 geboren (Tunze, 2007). Der erste Serien- PKW mit Dieselmotor wird im Vergleich dazu von Mercedes Benz erst vier Jahre später vorgestellt (Mercedes, 2009). Die ersten Radioempfangsteile, welche ins Armaturenbrett eingebaut werden können, erscheinen 1949 und drei Jahre später erreichen die ersten UKW Radios den Markt, welche die Empfangsqualität entscheidend verbessern.

Zwei weitere Meilensteine der automobilen Unterhaltungselektronik, welche vor Allem die Handhabung des Autoradios entscheidend beeinflussen, erscheinen 1953. Blaupunkt bringt ein System namens *Omnimat* auf den Markt, welches die Speicherung von Sendern ermöglicht und Becker führt mit dem Modell *Mexico* den automatischen Sendersuchlauf ein. Dieser funktioniert 1953 noch elektromechanisch.

Im Jahre 1958 wird das Angebot an Unterhaltung im Fahrzeug um eine Komponente erweitert. Die Firma Philips stellt in diesem Jahr einen nachrüstbaren Plattenspieler für PKW namens *Automignon* vor (siehe Abbildung 1-2). Dies ist die erste Möglichkeit im Fahrzeug seinem individuellen Unterhaltungswunsch nachzugehen.



*Abbildung 1-2: Nachrüstbarer Plattenspieler "Automignon" von Philips (Tunze, 2007)*

Eine entscheidende Qualitätsverbesserung für das individuelle Unterhaltungsprogramm im Fahrzeug liefert die Einführung des Autoradios mit integriertem Kassettenlaufwerk durch Philips 1969. Im Jahre 1985 hält letztlich auch die CD Einzug ins Automobil.

Seit 1973 dient das Radio nicht mehr einzig der Unterhaltung, sondern bekommt ebenfalls einen informativen Charakter, indem automatisch auf einen Sender umgeschaltet werden kann, sobald Verkehrsinformationen gesendet werden. Ein Jahr später wird auf Anraten des ADAC eine zusätzliche Kontrolllampe eingeführt, welche durch Aufleuchten das Senden von Verkehrsinformationen signalisiert. Diese Neuerungen rechtfertigen somit zum ersten Mal den Begriff *Infotainment*.

Ca. 20 Jahre später wird das Unterhaltungsangebot, was bis dato auf den auditiven Kanal beschränkt war, mit der Einführung des TV-Empfangs 1994 im BMW 7er auf visuelle Unterhaltung erweitert.

1981 werden erste Lösungen vorgeschlagen, welche das Infotainmentangebot im Fahrzeug um ein zusätzliches System erweitern soll. So liefert Honda erste Ansätze für ein

Navigationsgerät, allerdings ohne GPS- Daten. Über einen Drehwinkelsensor wird die Trajektorie des eigenen Fahrzeugs bestimmt und auf einem Display dargestellt. Da es jedoch zu diesem Zeitpunkt noch kein digitales Kartenmaterial gibt, muss der Fahrer eine transparente Landkarte vor das Display spannen und kann so zumindest den Streckenverlauf nachvollziehen. Weitere Verbesserungen dieses Systems in den darauffolgenden Jahren lassen eine Bestimmung der Bewegung des Fahrzeugs über Drehzahlmessung der Räder zu. Mit dem ersten Navigationssystem, welches GPS- Daten zur Positionsbestimmung nutzt, erfolgt jedoch erst 1990 der erfolgreiche kommerzielle Durchbruch.

Mit der Einführung des C-Netzes, welche das sogenannte *Handover*, also den Wechsel des genutzten Mobilfunkmasts während einem laufenden Telefongespräch, ermöglicht, beginnt 1986 die kommerzielle Einführung der Telefonie im Fahrzeug. Dies erweitert das Spektrum des automotiven Infotainmentangebots um eine dritte Komponente.

Mit der wachsenden Funktionalität reift zunehmend der Bedarf nach ablenkungsarmen und komfortablen Bedienkonzepten. So folgt ein Meilenstein, was die Interaktion mit solchen Systemen betrifft, durch Blaupunkt 1983 mit einer synthetischen Sprachausgabe als Rückmeldung über erfolgte Eingaben (DRM, 2009).

Mercedes Benz bringt 1996 mit dem *Linguatronic* eine Weltneuheit auf den Markt und revolutioniert damit die Bedienphilosophie. Erstmals ist es möglich per Sprachkommandos Eingaben zu tätigen. Die Systementwickler erhoffen sich dadurch vor Allem einen immensen Sicherheitsgewinn bei der Bedienung während der Fahrt (Peltason, 2006).

Eine Art Generationenwechsel im Bereich der Bedienung erfolgt 1998. Mit der Einführung des Mercedes COMAND Systems beginnt das Zeitalter der zentralen Infotainmentsysteme. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass all die bisher genannten Einzelkomponenten nun auf einem zentralen Display über ein Menü gesteuert werden können. Über Tasten und Drehknöpfe um das Display herum angeordnet, lassen sich die Menüinhalte bedienen.

Diese Bedienphilosophie wird in einem weiteren Generationenwechsel durch die Einführung des I-Drive durch BMW im Jahre 2001 fortgesetzt. Ab diesem Zeitpunkt kann die Menübedienung zentral über ein Bedienelement erfolgen, welches abgesetzt von der Anzeige an einem für den Fahrer ergonomisch günstigen Ort platziert ist. Kurz darauf folgen Audi mit der Einführung des MMI (Multi Media Interface) sowie Mercedes mit einer Neuentwicklung des COMAND- Systems. Diese menügeführten zentralen Infotainmentsysteme unterliegen seitdem einem ständigen Wandel.

Das Funktionsangebot wächst dabei ebenfalls stetig. So ist seit der Einführung der neuen 7er Serie von BMW 2008 auch ein Internetzugang im Fahrzeug möglich, was das Funktionsspektrum um ein Vielfaches erweitert.

Der geschichtliche Überblick über die Entwicklung des Angebots an Komfortfunktionen in PKWs und deren Bedienung zeigt, dass der Bedarf an Unterhaltung und Information fast gleichzeitig mit dem Wunsch nach Mobilität begonnen hat. Schon früh wurde dabei auch dem Bedarf nach einer sicheren und ablenkungsarmen Bedienung während der Fahrt nachgegangen. Mit dem Einzug der Elektronik ins Automobil eröffneten sich vielfältige Möglichkeiten, die Bedienung und Anzeige des Infotainmentangebots zu gestalten.

In den letzten Jahren haben Hersteller für die Bedienung solcher Systeme mehrere unterschiedliche Lösungen auf den Markt gebracht. Ein einheitlicher Standard lässt sich dabei noch nicht erkennen. Vielmehr wird die Thematik kontrovers unter Experten diskutiert.

Einen Überblick über die derzeitige Marktsituation und das vielseitige Angebot an Bedienkonzepten für diese Systeme soll das folgende Kapitel liefern.

## 1.2 Heutiger Stand der Technik zentraler Infotainmentsysteme

Derzeitige Systeme auf dem Markt lassen sich hinsichtlich ihrer Bedienkonzepte in zwei Kategorien einteilen. Solche mit einer von der Anzeige abgesetzten Bedienung und solche mit einer Kombination aus Anzeige und Bedienung.

Letztere werden durch Touchscreens am Markt angeboten. VW und Lexus sind klassische Vertreter dieser Lösung (siehe Abbildung 1-3).



*Abbildung 1-3: Infotainmentbedienung über Touchscreen bei VW und Lexus*

Zur Kategorie der separierten Anzeige und Bedienung lassen sich mehrere Lösungsalternativen auf dem Markt finden. Die von den deutschen Premiumherstellern angebotenen Varianten basieren auf einem zentralen Dreh- Drück- Steller, wie er im Audi MMI verbaut ist bzw. einem Dreh- Drück- Schiebesteller wie es beim Mercedes COMAND und dem BMW I-Drive der Fall ist (Distler et al., 2008; Mercedes, 2009). Gemeinsam haben

diese Varianten, dass die Bedieneinheit in der Mittelkonsole im ergonomisch günstigen Greifraum des Fahrers verbaut ist (siehe Abbildung 1-4).



Abbildung 1-4: Abgesetzte Dreh- Drück- und Dreh- Drück- Schiebe- Steller zur Infotainmentbedienung von BMW, Mercedes und Audi

Mercedes als auch BMW bieten darüber hinaus noch einen Dreh- Drück- Steller mit adaptiver Haptik an, welcher Rastabstände, Anschlagpunkte und Widerstände situativ an die jeweiligen Menüinhalte anpasst. Diese Bedienelemente sind als sogenannte Force-Feedback- Stellteile bekannt (vgl. Zeller et al., 2001).

Das Audi MMI verfügt zusätzlich über vier, vom Menükontext abhängige Menütasten, welche um den Dreh- Drücksteller platziert sind, sowie Hauptmenütasten, die den Direktzugriff in die jeweiligen Hauptmenügruppen ermöglichen. Die vier Menütasten ermöglichen innerhalb der Hauptmenüs einen Direktzugriff in parallele Menüzweige (siehe Hamberger, 2007). Auf dem Dreh- Drücksteller ist ein Joystick für Aufgaben, welche Bewegungen mit zwei Freiheitsgraden benötigen wie beispielsweise das Verschieben der Navigationskarte.

Neuester Stand der Technik bei Audi ist ein zusätzliches freies Eingabefeld, welches die Eingabe von alphanumerischen Zeichen durch direktes Schreiben auf die Touchoberfläche ermöglicht (siehe Abbildung 1-5), welche sodann über eine Schrifterkennungssoftware identifiziert werden. Des Weiteren können Eingaben, welche zwei Freiheitsgrade benötigen, direkt vorgenommen werden, wie beispielsweise das Verschieben der Navigationskarte oder die Einstellung von *Fader* und *Balance*. Diese neuen Eingabemöglichkeiten der Menübedienung durch ein Touchpad führen zu einer verminderten visuellen Ablenkung bei den zuvor genannten Aufgaben und sind somit ein Fortschritt in punkto Sicherheit (Hamberger & Gößmann, 2009).

Eine weitere Variante der abgesetzten Bedienung hat Lexus mit dem *Remote Touch System* kürzlich auf dem Markt eingeführt. Dabei handelt es sich um eine Art haptische Maus. Mittels eines Aktuators werden nicht mögliche Bedienwege gesperrt. Abbildung 1-5 zeigt die beiden Bedienelementeinheiten in der Mittelkonsole von Audi und Lexus.



*Abbildung 1-5: Abgesetzte Bedienelemente Audi MMI 3G+ und Lexus Remote Touch*

Bezüglich des Menüaufbaus sowie der Darstellung und Bildschirmaufteilung, lässt sich ebenfalls kein einheitlicher Standard feststellen. Während Audi im neuen MMI in den jeweiligen Auswahlmenüs auf kreisförmig angeordnete Menüs mit entsprechenden Icons setzt, basiert beispielsweise das aktuelle I-Drive System maßgeblich auf Listen. Im Bereich aktueller Forschungsaktivitäten wird über diese konventionellen Darstellungsarten hinaus über weitere zwei- und dreidimensionale Darstellungsvarianten nachgedacht (vgl. Broy, 2007). Dies erfordert neue Interaktionskonzepte und dafür geeignete Bedienelemente.

Ergänzend werden durchgehend redundante Sprachdialogsysteme angeboten, welche jedoch eine haptische Eingabe bestenfalls nur unterstützen können. Dies liegt maßgeblich am derzeitigen Stand der Technik. Hinzu kommen Störfaktoren im Fahrzeugumfeld wie beispielsweise Umweltgeräusche oder Beifahrer. Im Bereich dieser multimodalen Interaktion existiert bereits ein sehr breites Forschungsfeld, auf das an dieser Stelle verwiesen wird (vgl. Mischke & Hamberger 2007; Neuss, 2001; Oviatt, 2002; Schuler et al., 2006; Bengler, 2001; Hummel, 2008).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich bezüglich der Bedienung von zentralen Fahrzeuginfotainmentsystemen noch keine einheitliche Lösung auf dem Markt abzeichnet. Sowohl Verteilung und Positionierung von Anzeige und Bedieneinheit als auch Art und Anzahl der Bedienelemente stellen auf dem Markt über alle Hersteller hinweg ein sehr heterogenes Angebot dar. Im Folgenden soll daraus hervorgehend die Motivation und das Ziel dieser Arbeit beschrieben werden.

### **1.3 Motivation und Zielsetzung**

Der bereits aus den Ursprüngen des Automobils erkennbare Trend wachsender Funktionalität im Unterhaltungs-, Informations- und Kommunikationsbereich wird sich zukünftig fortsetzen. Die Bedienung solcher Systeme wird mehr und mehr markenprägend und trägt zur Kaufentscheidung bei. Darüber hinaus müssen zukünftig Bedienbarkeit und Ablenkungsgrad solcher Systeme durch Untersuchungen während der Fahrt nachgewiesen

werden. Dies fordern Richtlinien wie die *European Statements of Principles* (ESoP, 1999), die amerikanischen Pendanten *Alliance of Automobile Manufacturers* (AAM, 2006) oder die japanischen Vertreter der *Japan Automobile Manufacturers Association* (JAMA, 2004).

Hinzu kommt die Herausforderung, dass neue Funktionalitäten im Bereich von Multimedia oder auch Internet neue Interaktionskonzepte verlangen, welche mit herkömmlichen Dreh-Drück- Stellern nicht mehr bedienbar sind. Beispiele hierfür sind die Handhabung von großen Datenmengen, wie Online- Radio, MP3- Listen und Online- Suchanfragen. Fahrzeughersteller reagieren bereits auf solche Herausforderungen wie die zuvor genannten Beispiele des Touchpads im *Audi MMI* oder dem *Remote Touch* System von Lexus zeigen. Auch Touchscreens bieten durch Ihre Eingabefläche mit zwei Freiheitsgraden ein höheres Maß an Gestaltungsspielraum. Forschungsansätze zeigen darüber hinaus weitere alternative Ansätze zur Bedienung von Infotainmentmenüs während der Fahrt. Es stellt sich zunehmend die Frage welches Bedienelement bzw. welche Kombination von Bedienelementen den Herausforderungen im Fahrzeug am ehesten gerecht wird.

Somit lässt sich die zentrale Fragestellung wie folgt formulieren:

- Welche Bedienlogik und somit welche Bedienelemente sind für eine Fahrzeuginfotainmentmenübedienung während der Fahrt geeignet?

Im Rahmen dieser Arbeit werden einzig haptische Eingabemöglichkeiten betrachtet. Andere Modalitäten wie beispielsweise Sprache oder auch Gestik werden aus den bereits im vorherigen Abschnitt aufgeführten Gründen lediglich als mögliche Ergänzung oder Erweiterung des Bediensystems berücksichtigt.

Wie an die dargestellte Fragestellung im Rahmen dieser Arbeit herangegangen wird, stellt der letzte Abschnitt dieses Kapitels dar.

### **1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit**

Zur Bearbeitung der in 1.3 dargestellten Fragestellung, wird zunächst das Thema Menübedienung im Fahrzeugkontext während der Fahrt in Kapitel 2 einer systemergonomischen Betrachtung unter Einbeziehung physiologischer und psychologischer menschlicher Voraussetzungen unterzogen.

In Kapitel 3 wird, basierend auf einer Analyse der derzeitigen Marktsituation, ein Konzeptvorschlag für ein haptisches Touchpad als alleiniges abgesetztes Bedienelement zur Menübedienung während der Fahrt vorgestellt und der damit verbundene Untersuchungsbedarf aufgedeckt.

Kapitel 4 leitet die verwendete Untersuchungsmethodik für die darauffolgenden Experimente her. Dabei wird darauf eingegangen, wie die Fragestellungen aus Kapitel 3 in wissenschaftliche Hypothesen überführt werden und wie diese durch ein geeignetes Experiment untersucht werden können.

In Kapitel 5 werden die Hypothesen schließlich formuliert und das verwendete Versuchsdesign dargestellt.

Abschnitt 6 beschreibt die spezifischen Versuchsdurchführungen der Studien und deren Ergebnisse.

In Abschnitt 7 werden die Ergebnisse letztlich diskutiert und in allgemeingültige Gestaltungsvorschläge verpackt. Ein Ausblick rundet diese Arbeit ab.

## **2 Theoretische Ermittlung des Handlungsbedarfs**

Zunächst wird die Aufgabe der Menübedienung im Fahrzeugkontext theoretisch beleuchtet, um daraus gestalterische Konsequenzen sowie den Handlungsbedarf abzuleiten. Ziel einer ergonomischen Entwicklung ist die nutzergerechte Gestaltung. Somit ist es zweckmäßig relevante psychologische und physiologische, menschliche Faktoren als Grundlage heran zu ziehen. In Verbindung mit der darauffolgenden systemergonomischen Analyse der Aufgabe „Menübedienung“ sowie einem Überblick über den derzeitigen Forschungsstand, hinsichtlich verschiedener Stellteile und Interaktionsmöglichkeiten, lassen sich Anforderungen an ein Infotainmentbedienkonzept ableiten. Eine abschließende Herleitung von Leitlinien und Rahmenbedingungen für eine Infotainmentbedienkonzeptentwicklung komplettiert die theoretische Betrachtung.

### **2.1 Menübedienung im Fahrzeugkontext**

Produkte ergonomisch zu gestalten bedeutet, die Schnittstelle an der Maschine zum Menschen so zu konzipieren, dass die Belastung auf den Menschen, welche durch die Interaktion verursacht wird, möglichst gering ist. Dabei setzt sich die Belastung aus mehreren Komponenten zusammen und ist maßgeblich davon beeinflusst, in welchem Kontext die Interaktion stattfindet. Es handelt sich dabei zum Einen um die Belastung aus der Umwelt und zum Anderen um die Belastung durch die Aufgabe selbst sowie die Belastung durch die Maschine. Das Ziel dieser Arbeit ist, letztere durch eine ergonomische Gestaltung der Benutzerschnittstelle möglichst gering zu halten. Die Belastungen aus der Umwelt beeinflusst die Fahrzeugführung vor Allem durch externe Einflüsse wie z.B. Witterung, Verkehrsaufkommen oder unterschiedliche Straßenverhältnisse. Die Belastung durch die Aufgabe muss im jeweiligen Aufgabenkontext analysiert und bei der Schnittstellengestaltung berücksichtigt werden. Zunächst ist es daher zweckmäßig, das Umfeld, in dem die Interaktion stattfindet, zu beleuchten. Hierzu eignet sich in Anlehnung an die Regelungstechnik das Konstrukt aus Mensch und Maschine in einem Mensch-Maschine-Regelkreis darzustellen (Bubb & Seiffert, 1992). Als Maschine können in diesem

Zusammenhang nach Johannsen (1993) technische Systeme aller Art bezeichnet werden. Im hier vorliegenden Fall handelt es sich um die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug und einem menügeführten System. Abbildung 2-1 visualisiert den Regelkreis für den speziellen Fall dieser Fahrzeuginteraktion.

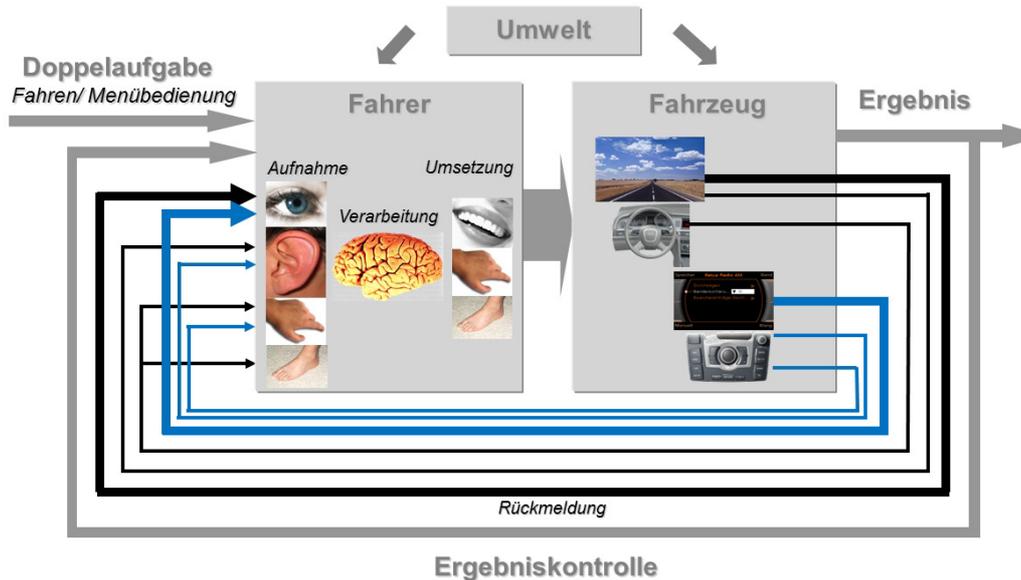


Abbildung 2-1: Fahrer- Fahrzeug Regelkreis ergänzt nach Bubb & Seiffert (1992)

Es findet eine Wechselwirkung zwischen dem Fahrer und der Maschine an den Stellteilen des Fahrzeugs statt. Das Ergebnis der Interaktion wird dem Nutzer rückgemeldet und über dessen Sinneskanäle aufgenommen, durch einen permanenten Soll-/ Ist Vergleich kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert. Die Eingangsgröße des Regelkreises wird durch die Fahraufgabe dargestellt.

Nach Geiser (1985) lässt sich diese in primär, sekundär und tertiär einteilen. Die primäre Fahraufgabe beinhaltet dabei alles was dem Halten des Fahrzeugs auf der Straße dient. Bubb (2002) bringt dies mit der Forderung, „jede Berührung mit stehenden oder sich bewegendem Objekten im Verkehrsraum ist zu vermeiden“, auf den Punkt. Diese lässt sich weiter in die drei Ebenen Navigation, Führung und Stabilisierung, welche in Abbildung 2-2 dargestellt sind, unterteilen (Bernotat, 1970).

Die Navigationsaufgabe beinhaltet dabei die Planung der Route, die der Fahrer zum Erreichen seines Zieles vornehmen muss. Zur Führungsaufgabe gehört alles, was der Fahrer unternehmen muss, um das Fahren der jeweiligen Fahrsituation anzupassen, wie beispielsweise das Wechseln der Fahrspur. Die Stabilisierungsaufgabe besteht letztlich darin, das Fahrzeug in der Spur zu halten. Dies beinhaltet Lenken, Gas geben und Bremsen.

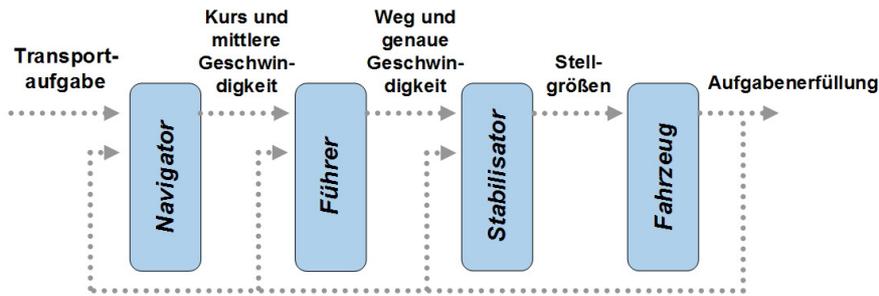


Abbildung 2-2: Hierarchie der verschachtelten Regelkreise bei der Fahrzeugbedienung (Bernotat, 1970)

Die sekundäre Aufgabe spielt ebenfalls beim Fahren eine Rolle, beinhaltet aber all diejenigen Funktionen, die für das eigentliche Fortbewegen des Fahrzeugs nicht zwingend notwendig sind. Hierzu gehören Schalten, Blinken, Hupen oder Scheibenwischen.

Die tertiären Aufgaben beinhalten letztlich alle, welche mit der eigentlichen Fahraufgabe nichts zu tun haben und lediglich dem Komfort bzw. der Unterhaltung dienen. Hier lässt sich die Bedienung eines Infotainmentsystems einordnen. Wobei hier eine Aufteilung der Funktionen, welche unter dem Begriff Infotainment zusammengefasst sind, nötig ist. Ein Radio, das Telefonieren oder auch eine Musiklistenverwaltung weisen die Eigenschaften klassischer tertiärer Funktionen auf. Das Navigationssystem wird in vielen wissenschaftlichen Betrachtungen aufgrund seiner technischen und örtlichen Kombination mit diesen integrierten Systemen ebenfalls zu den tertiären Funktionen gezählt. Wie die zuvor dargestellte Aufteilung der primären Fahraufgabe gezeigt hat, müsste ein Navigationssystem richtigerweise jedoch dieser zugeordnet werden, da es den Fahrer bei der Planung der Route unterstützt. Nach derzeitigem Stand der Technik, ist das Navigationssystem noch Bestandteil zentraler menügeführter Infotainmentsysteme und wird über deren Displays und Bedienelemente angezeigt und bedient.

Die Menübedienung während der Fahrt stellt somit eine Nebentätigkeit dar, welche parallel zur eigentlichen Fahraufgabe ausgeführt wird. Man spricht hierbei von einer Doppelaufgabe oder auch Dual Task Situation. Wie zahlreiche Studien bereits belegen, treten bei dieser parallelen Aufgabenbearbeitung Interferenzen auf, welche sich negativ auf die Fahraufgabe auswirken und somit eine Sicherheitsgefährdung darstellen können. So konnten Vollrath & Totzke (2001) beispielsweise nachweisen, dass vor Allem motorische Interaktionen aber auch die visuelle Informationsaufnahme Auswirkungen auf die Fahrgüte haben.

Um die Anforderungen für eine ergonomische Menügestaltung zu kennen und somit eine möglichst geringe Belastung für den Menschen durch die Menübedienung zu erzielen, ist es zweckmäßig, sich zunächst mit den physiologischen und psychologischen Grundlagen des Subsystems Mensch des Regelkreises zu befassen, um die Voraussetzungen für eine

nutzergerechte Gestaltung zu kennen. Diese werden nun im nächsten Schritt näher beleuchtet, um relevante Erkenntnisse über den Menschen und seine Eigenschaften zu gewinnen und mögliche psychologische und physiologische Grenzen des Menschen in die Bedienkonzeptgestaltung einfließen lassen zu können.

## 2.2 Betrachtung menschlicher Voraussetzungen

Die Belastung für den Menschen bei der Bedienung durch eine ergonomische Produktgestaltung zu minimieren, bedeutet den Informationsfluss zwischen der zu bedienenden Maschine und dem Subsystem „Mensch“ des Regelkreises zu optimieren. Dabei sollte die Gestaltung des Informationsflusses bestmöglich an die psychischen und physiologischen Voraussetzungen des Menschen angepasst sein. Der Informationsfluss durch den Menschen lässt sich nach Bubb (1993a) in die drei Phasen Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung unterteilen (siehe Abbildung 2-3).

Informationsaufnahme	Informationsverarbeitung	Informationsumsetzung
optisch	Fertigkeiten	Finger und Hand
akustisch	Nach Regeln handeln	Fuß
haptisch		
kinestetisch	Nach Wissen handeln	Sprache

Abbildung 2-3: Informationsverarbeitendes Modell nach Bubb (1993a)

Im Folgenden werden relevante menschliche Faktoren analysiert, welche es bei der Auslegung der Mensch-Maschine Schnittstelle, unter den zuvor dargestellten Gegebenheiten, zu berücksichtigen gilt. Den ersten Punkt stellt dabei in Anlehnung an Bubb (1993a) die Informationsaufnahme dar. Dabei wird zunächst auf Grund seiner Bedeutung auf den visuellen Kanal eingegangen. Des Weiteren wird die Haptik als zusätzlich möglicher Informationskanal analysiert, welcher eine redundante Informationsaufnahme zur Entlastung des visuellen Kanals ermöglichen kann. Der akustische Sinneskanal wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht. Das Potenzial der redundanten akustischen Rückmeldung hat Vilimek (2007) in seiner Arbeit bereits zeigen können. Im weiteren Verlauf wird auf die Phase der kognitiven Informationsverarbeitung zur Herausstellung von Konsequenzen für die Gestaltung von Bedien- und Menüsystemen eingegangen. Zuletzt wird noch die Phase der Informationsumsetzung für mögliche Konsequenzen der Interaktionsgestaltung behandelt.

### 2.2.1 Informationsaufnahme

Für die Aufnahme von Informationen zur Infotainmentmenübedienung muss nach heutigem Stand der Technik der Blick von der Fahrbahn auf das Mitteldisplay abgewendet werden. Somit muss eine gleichzeitige visuelle Informationsaufnahme von zwei örtlich voneinander getrennten Stellen geschehen. Dies führt zu einer permanenten Ablenkung von der Fahraufgabe, da nach Rockwell (1971) über den visuellen Kanal 90% der Information für die Fahrzeugführung aufgenommen werden.

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Problematik ist es zweckmäßig, die Physiologie des Auges etwas näher zu betrachten (siehe Abbildung 2-4).

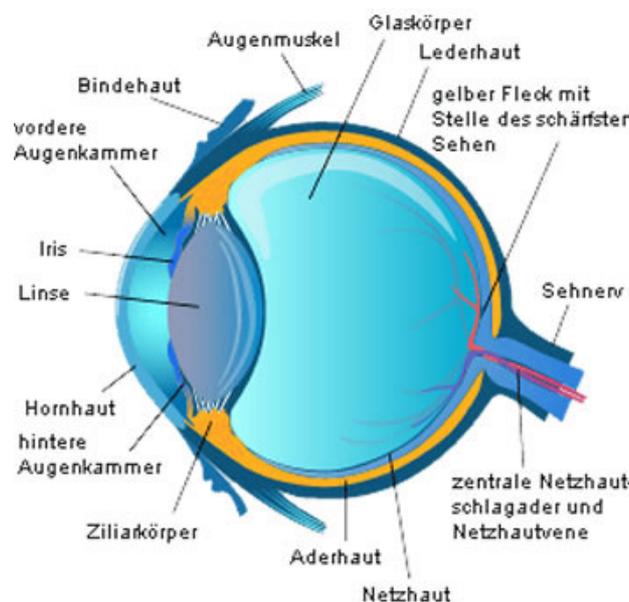


Abbildung 2-4: Anatomischer Aufbau des Auges

Das einfallende Licht wird mittels der beiden Brechungselemente Hornhaut und Linse des Auges gebrochen und auf der Netzhaut fokussiert. Befindet sich das fokussierte Objekt mehr als sechs Meter entfernt, fallen die Lichtstrahlen parallel ins Auge und werden auf der Netzhaut fokussiert. Lichtstrahlen von Objekten, die sich in einer geringeren Distanz befinden, fallen nicht mehr parallel ins Auge und werden hinter der Netzhaut fokussiert wodurch sie unscharf werden. Um Objekte in näheren Distanzen ebenfalls scharf zu sehen, wird die Linse durch Anspannen des Ziliarmuskels verformt. Somit wird das Licht anders gebrochen und auf die Netzhaut fokussiert. Dieser Vorgang wird Akkommodation genannt (vgl. Goldstein, 2002).

Bedient der Fahrer das Infotainmentmenü während der Fahrt, sollte er, um lange Blickabwendungen von der Fahrszenarie zu vermeiden, sich auf kurze häufigere Kontrollblicke beschränken. Dies bewirkt ein ständiges Umfokussieren zwischen der fernen

Fahrszenarie und dem nahen Mitteldisplay im Fahrzeuginnenraum, wodurch ein sehr hoher Akkommodationsaufwand entsteht. Ständiges Akkommodieren kann nach Müller-Limmroth (1981) belastend und sogar ermüdend wirken.

Deshalb ist grundsätzlich zu empfehlen, die Displaypositionierung in einem möglichst großen Abstand zum Fahrer vorzunehmen, um so den Akkommodationsaufwand zu minimieren. Neuartige Displaytechnologien, wie beispielsweise das Head-Up Display, bieten hierfür neue Möglichkeiten. Jüngste Ergebnisse nach Milicic et al. (2009) zeigen, dass eine Anzeige und Bedienung von Infotainmentinhalten im Head-Up Display, also im direkten Sichtfeld in einer größeren Distanz zum Fahrer, durchaus Potenzial aufweisen kann.

Eine weitere Möglichkeit diesem Problem entgegen zu treten ist, den visuellen Kanal zu entlasten, indem haptische Information über das Bedienelement gegeben wird und somit die Anzahl und Länge nötiger Kontrollblicke auf das Display verringert wird. Diese Idee wird bereits in einigen Forschungsarbeiten verfolgt. Götz (2007) beispielsweise beschäftigt sich in seiner Arbeit mit der Kommunikation der Funktionsweise durch Formgebung. In eine ähnliche Richtung geht eine Grundlagenuntersuchung von Petrov & Maier (2009) zu haptisch erkennbaren Unterschiedsschwellen. Michelitsch et al. (2004) beschreiben ein Konzept eines Bedienelements, welches Oberfläche und Form an den zu bedienenden Kontext anpassen kann. Sendler (2008) untersuchte in seiner Arbeit solch haptisch adaptive Stellteile in Fahrsimulatorversuchen. Er konnte jedoch hinsichtlich Bedienzeiten und Fehlerrobustheit keine entscheidenden Vorteile nachweisen. Während diese Systeme eher eine Weiterentwicklung heutiger klassischer Stellteile wie Dreh- Drück- bzw. Dreh- Drück- Schiebe- Steller darstellen, geht Doerrer (2003) mit einer haptisch konfigurierbaren zweidimensionalen Eingabefläche einen alternativen Weg. Hierzu existiert jedoch noch keine empirische Untersuchung mit Probanden zur Tauglichkeit in einer Dual Task- Situation. Um das Potenzial der bereits geleisteten Forschung und die Art der Verwendung in dieser Arbeit abzuschätzen, werden relevante Grundlagen der Haptik kurz erläutert.

Der haptische Sinneskanal umfasst mehrere Funktionsbereiche, welche in der Literatur teilweise mit etwas variierenden Begrifflichkeiten beschrieben werden. Einen Überblick über die Definitionsvielfalt beschreibt Bubb (2001). Demnach hat sich in der Literatur eine Betrachtungsweise der Wahrnehmung von mechanischen Krafteinwirkungen nach Kategorisierung der Sinnesorgane etabliert (vgl. Reisinger, 2006; Müller-Limmroth, 1981). Man spricht von den zwei Bereichen:

- Taktile Wahrnehmung
- Kinästhetische Wahrnehmung

Bubb (2001) spricht in diesem Zusammenhang den Nachteil dieser Betrachtungsweise an, dass die Empfindungsqualität nur unzureichend berücksichtigt wird. Die sinnliche

Wahrnehmung ergibt sich nach Bubb (2001) aus einer Zusammenführung von Informationen verschiedener Sinnesorgane. Daher schlägt er mit Hinblick auf die Sinnesqualität folgende Definition vor:

- Kinästhetische Wahrnehmung
- Tiefenwahrnehmung
- Haptische Wahrnehmung

Dabei ist die kinästhetische Wahrnehmung für die Erfassung von Eigenbewegungen des Körpers im Raum über das Vestibularorgan, die Maculaorgane, die Stellungsrezeptoren in Muskeln und Gelenken sowie über die Mechanorezeptoren in der Haut ausschlaggebend. Die Tiefenwahrnehmung ermöglicht es, über die Informationen aus den Muskelspindeln und den Gelenkrezeptoren, dem Vestibularorgan, den Macularorganen und den Berührrezeptoren unabhängig von äußeren Krafteinwirkungen die Körperhaltung zu erfassen. Verantwortlich für die haptische Wahrnehmung letztlich, sind die sogenannten Mechanorezeptoren der Haut aber auch die Thermorezeptoren in der Hautoberfläche, welche mit Informationen aus den Stellungsrezeptoren in Muskeln und Gelenken verrechnet werden. Diese informieren über Form, Größe, Konsistenz und Oberflächenbeschaffenheit (vgl. Goldstein, 2002; Müller-Limmroth, 1981).

Das taktile Auflösungsvermögen ist je nach Körperteil unterschiedlich. An der Fingerspitze können zwei Punkte separat im Abstand von ca. 2 mm wahrgenommen werden. Unterschiedsschwellen werden in Abhängigkeit der Druckfrequenz mit unterschiedlicher Empfindlichkeit wahrgenommen. Jedoch ist die Sensibilität diesbezüglich sehr hoch. In der Handinnenfläche können Hautdeformationen im Bereich von 0,01mm bereits als Berührung identifiziert werden, an den Fingerspitzen ist die Sensibilität noch deutlich höher (vgl. Schmidt, 1985).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Form- und Objekterkennung in mehreren Prozessen abläuft wobei sich die Wahrnehmung und Interpretation der Reize aus einem Zusammenspiel der Eindrücke unterschiedlicher Sinnesorgane ergibt.

Die Identifizierung und Erkennung läuft dann als nachgeschalteter kognitiver Prozess im Gehirn ab. Die für die vorliegende Arbeit notwendigen mentalen Vorgänge der Informationsverarbeitung werden im folgenden Abschnitt nun näher erörtert.

### **2.2.2 Informationsverarbeitung**

Die von den Sinnesorganen aufgenommenen Informationen unterschiedlicher Modalitäten an der Benutzerschnittstelle der Maschine, werden in nachgeschalteten Prozessen im Gehirn verarbeitet, bevor es zu einer Bedienreaktion des Nutzers kommt. Generell werden diese

Prozesse unter dem Begriff Kognition zusammengefasst. Die Grenzen, was dieser Begriff beinhaltet, werden auch in diesem Fall in der Literatur unterschiedlich gehandhabt. Dutke (1994) beispielsweise behauptet, dass Kognition häufig in einer Doppelbedeutung sowohl für die Beschreibung der internen, informationsverarbeitenden Prozesse des Menschen als auch für deren Produkte, das Wissen selbst, verwendet wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird im weiteren Verlauf unter kognitiven Prozessen alles verstanden, was mit der Verarbeitung von Informationen bis hin zu einer Handlungsreaktion im Gehirn zu tun hat. Anderson (2001) unterteilt kognitive Prozesse in zwei Klassen. Dies sind zum Einen kontrollierte Prozesse, welche dem Nutzer Aufmerksamkeit abverlangen und automatisierte Prozesse, die ohne jegliche Aufmerksamkeit durchgeführt werden. Für die komplexen Prozesse im menschlichen Gehirn existieren in der Literatur verschiedene Modellbeschreibungen und Schaubilder. Ein sehr anschauliches und im Rahmen ähnlicher Arbeiten oft verwendetes Überblicksmodell liefert Wickens (1984), wonach der Mensch für die komplexen kognitiven Prozesse gleichzeitig nur eine begrenzte Kapazität an Aufmerksamkeit zur Verfügung hat, die er auf die verschiedenen Tätigkeiten verteilen muss (siehe Abbildung 2-5).

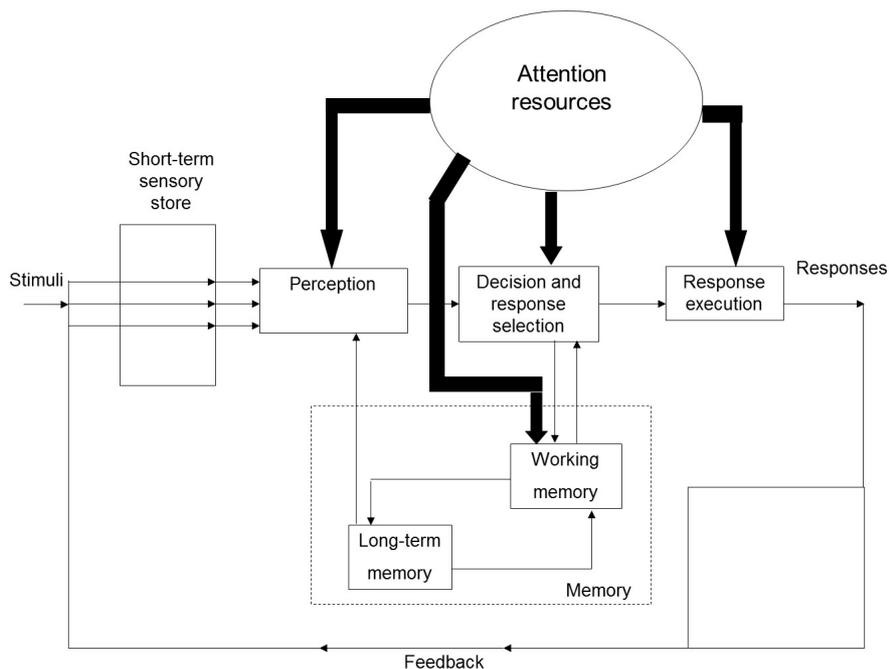


Abbildung 2-5: Menschliche Informationsübertragungsprozesse und Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen nach Wickens (1984)

Wie bereits in Kapitel 2.1 festgestellt, handelt es sich bei der Menübedienung während der Autofahrt um eine Doppelaufgabe, was Interferenzen und somit Negativeinflüsse auf die Fahraufgabe zur Folge haben kann (vgl. Koch, 2006; Pashler, 1994). Deshalb werden in den folgenden Unterkapiteln die menschlichen Voraussetzungen der informationsverarbeitenden Prozesse unter dem Gesichtspunkt einer ergonomischen Interaktionsgestaltung näher beleuchtet. Dabei wird zunächst unter Betrachtung verschiedener Aufmerksamkeitstheorien

behandelt, wie die Menge an Informationen zur Verarbeitung priorisiert wird bzw. welche Engpässe durch zwei parallel zu bearbeitende Aufgaben entstehen können. Anschließend wird mit der Betrachtung des Begriffs der mentalen Modellbildung auf Basis von Wissensstrukturen und Schemata ein möglicher Lösungsansatz für diese Problemstellung erörtert.

### **2.2.2.1 Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Ressourcenmodelle**

Der Mensch nimmt zunächst eine Flut von Informationen aus seiner Umwelt über die verschiedenen Sinneskanäle auf, welche dann in einer ersten Verarbeitung im sogenannten sensorischen Register unbewusst vorselektiert werden. Somit werden nur die für die jeweilige Situation wichtigen Informationen weiter verarbeitet. Broadbent (1958) beschreibt die Aufmerksamkeit als den Prozess, welcher aus der Fülle der Informationen diejenigen herausfiltert, die für den Wahrnehmenden von Bedeutung sind. Dies bedeutet, dass der Mensch die Informationen aufnimmt und verarbeitet, auf welche er seine Aufmerksamkeit gerichtet hat. In diesem Zusammenhang kann der Begriff des Situationsbewusstseins eingeführt werden, welcher die drei Komponenten „Wahrnehmung der verfügbaren Informationen in der gegenwärtigen Situation“, „Beurteilung und Interpretation dieser Information“ und „Projektion auf die Zukunft“ umfasst (Garland & Endsley, 2000; Endsley, 1995). Nach Adams et al. (1995) spielt das Situationsbewusstsein besonders bei Doppelaufgaben eine bedeutende Rolle, da hier verschiedene Aufgaben um die Aufmerksamkeit konkurrieren, die für ein übergeordnetes Ziel gemanagt werden müssen. Übertragen auf die Multitasking Aufgabe Autofahren ist solch ein Aufgabenmanagement sowie eine Priorisierung je nach Situation, wie beispielsweise ein vermehrtes Kontrollieren der Spurhaltung in kurvigen Streckenabschnitten, von besonderer Bedeutung (Rauch et al., 2007). Eine schlechte Schnittstellengestaltung für die Nebenaufgabe kann zu einem falschen Situationsbewusstsein und somit zu einer zu starken Aufmerksamkeitsbindung führen, was in einem Aufmerksamkeitsdefizit, auch als Ablenkung bekannt, von der Primäraufgabe resultiert (Wickens & Hollands, 2000).

Bezüglich der zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitskapazitäten gibt es verschiedene Theorien. Wickens & Hollands (2000) gehen von multiplen Ressourcen aus und unterscheiden dabei die Art der Information, die Modalität dieser, drei verschiedene Verarbeitungsstufen sowie die Art der Reaktion (siehe Abbildung 2-6). Sie postulieren, dass Aufgaben, welche sich an einer dieser genannten Stellen unterscheiden, sich nicht negativ beeinflussen.

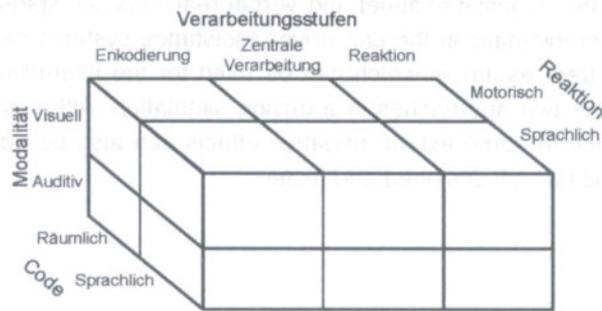


Abbildung 2-6: Das Modell multipler Ressourcen (Wickens & Hollands, 2000)

Gegenteilig zu dieser Theorie existiert die Single Ressource Theorie, welche beschreibt, dass alle Aufgaben auf einen einzigen Vorrat an zentralen Ressourcen zugreifen (vgl. Broadbent, 1958; Kahnemann, 1973). Interferenzen bei Doppelaufgaben entstehen, wenn zwei parallele Aufgaben mehr Ressourcen erfordern als aktuell zur Verfügung stehen. Dieses Phänomen ist auch als Flaschenhals- bzw. Bottleneck- Theorie bekannt. Eine dritte Theorie, welche die anderen beiden in sich vereint, beschreibt Baddeley (1992). Er postuliert, dass ein Mensch auch mehrere Aufgaben, welche die gleichen Kapazitäten beanspruchen gleichzeitig abarbeiten kann. Allerdings kann es auch bei Aufgaben, welche auf unterschiedliche Ressourcen zugreifen, zu Interferenzen kommen, wenn die Auslastung zu groß wird.

Festzuhalten ist, dass sich eine Überlastung der Aufmerksamkeitskapazitäten zu Problemen in der Bearbeitung der Aufgabe niederschlägt. Bei einem falschen Situationsbewusstsein und einer darauf basierenden falschen Aufmerksamkeitsfokussierung auf die Nebenaufgabe, kann dies erhebliche Auswirkungen auf die Fahraufgabe nach sich ziehen. Dies bedeutet, dass Konzeptideen für die Gestaltung der Nebenaufgabe nur in Dual Task Situationen getestet werden sollten. Ob die Informationsübermittlung über den zusätzlichen Sinneskanal Haptik zur Entlastung bzw. zur Erweiterung der zur Verfügung stehenden mentalen Ressourcen hilfreich ist, kann anhand dieser theoretischen Überlegungen noch nicht eindeutig vorausgesagt werden.

### 2.2.2.2 Wissensstruktur, Mentale Modelle und Schemata

Nach der Aufnahme der Informationen und deren Selektion kommt es nun zur Weiterverarbeitung bis hin zu einer Reaktion. Zum Verständnis über diese Verarbeitung ist das Modell von Langzeit- und Arbeitsgedächtnis nach Baddeley & Hitch (1974) sehr hilfreich. Im Arbeitsgedächtnis werden die selektierten wahrgenommenen Informationen mit bereits vorhandenem Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abgeglichen und mentale Modelle gebildet, welche zum Interpretieren der Situation und Transformation in eine Reaktionshandlung dienen (vgl. Dutke, 1994). Totzke et al. (2003a) postulieren nach deren

Versuchen, dass eine Mensch- Maschine- Interaktion so zu gestalten sei, dass es den Anforderungen und Fähigkeiten im Sinne der mentalen Modellbildung angepasst ist. Diese mentalen Modelle sind nach Johnson-Laird et al. (1998) psychologische Repräsentationen von realen, hypothetischen oder imaginären Situationen. Sie sind zumeist unvollständig, instabil, unwissenschaftlich, sparsam, relativ konkret und imaginationshaltig (Norman, 1983; Kluwe, 1992). Dutke (1994) bezeichnet mentale Modelle als „...*Ausdruck des Verstehens eines Ausschnitts der realen Welt*“ und führt als Erklärung ein Beispiel von Gentner & Gentner (1983) auf, welche herausfanden, dass sich viele Menschen den Stromkreis als Wasserkreislauf vorstellen. Dabei entsprechen die Kabel Rohren, in denen das Wasser in eine bestimmte Richtung fließt, ein elektrischer Verbraucher entspricht einer Wassermühle, einen Schalter kann man sich als Ventil vorstellen und ein Wasser Behälter entspricht der Batterie. Dies zeigt wie vorhandenes Wissen aus einem komplett anderen Sachverhalt helfen kann, ein korrektes, wenn gleich aber auch viel einfacheres, mentales Modell des Verstehens aufzubauen. Dutke (1994) spricht von einem Basis- und einem Zielbereich und behauptet, dass die Relationen zwischen den Elementen eines Basisbereichs zumindest teilweise den Relationen zwischen Elementen eines Zielbereiches gleichen müssen, ohne dass die Elemente selbst identisch wären. Übereinstimmung der Relationen zwischen Strom- und Wasserkreislauf werden als Analogien bezeichnet. Für den Fall der Menübedienung kann das beispielsweise bedeuten, dass ein Bedienelement im Fahrzeug dem Nutzer völlig unbekannt ist, er es aber aus einem völlig anderen Zusammenhang, wie beispielsweise dem PC- Bereich kennt und er es somit trotzdem auf Anhieb bedienen kann, da die Bedienung analog zu dieser erfolgt. In diesem Zusammenhang muss noch der Begriff der Schemata eingeführt werden. Dieser beschreibt eine Form, wie Wissen in unserem Gedächtnis gespeichert und organisiert wird. Schemata beschreiben Dinge in Form von Oberbegriffen, Teilen und anderen Zuweisungen von Ausprägungen zu Attributen (Anderson, 2001). Für den PC- Fall heißt das, dass beispielsweise das Bedienelement Touchpad beim Nutzer sofort eine Vorstellung über Bedienung, Größe, Anwendungsgebiete hervorrufen kann. Das Schema gibt der Sache Touchpad somit einen gewissen Rahmen. Findet der Nutzer nun ein Touchpad in einem vom Laptop abweichenden Kontext vor, so ist davon auszugehen, dass er sich ein Modell über die Bedienung aus dem ihm bekannten Schema bildet. Hier wird auch schon eine Problematik der mentalen Modellbildung deutlich. Werden vom Nutzer aufgrund von Informationen falsche Analogien gezogen, bzw. entsprechen wie in diesem Touchpadbeispiel Teile des Schemas aus dem Bereich Notebook nicht der Funktionsweise und Anwendung des Touchpads in einem neuen Kontext, wird das Modell nicht funktionieren und es zu Fehlbedienungen kommen.

Es muss noch geklärt werden, wie durch eine gestalterische Maßnahme eine Analogiebildung und somit die Auffindung eines geeigneten Schemas gefördert werden kann. Hier spricht man von sogenannten Metaphern. Dutke (1994) bezeichnet die Metapher als ein externes Mittel zur Veranschaulichung einer Analogie. Ein Beispiel ist die Verwendung der Desktop-Metapher im Bereich der PC Bedienung. Die Oberfläche stellt eine grafische Schreibtischoberfläche dar, auf der sich Ordner oder beispielsweise ein Papierkorb befinden. Auch hier besteht natürlich die Gefahr, dass durch einen falschen Einsatz von Metaphern falsche Analogien geweckt werden. Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht darin, dass durch bestimmte Metaphern unterschiedliche Analogien hervorgerufen werden, bzw. die gespeicherten Schemata nicht homogen über die Nutzergruppe sind. Dies kann passieren, wenn beispielsweise für ein neues Infotainmentbedienelement im Fahrzeug Interaktionsmetaphern verwendet werden, wovon ausgegangen werden kann, dass nur ein Teil der Nutzergruppen dafür konkrete Schemata parat hat. Beispiele hierfür könnten eine Übertragung von Multitouch- Gesten, bekannt aus neuartigen Smartphones wie dem Apple iPhone, auf ein Touchpad im Fahrzeug sein. Hier kann jedoch ergänzt werden, dass mentale Modelle flexibel und anpassbar sind. D.h. bei einer Fehlbedienung wird durch die erste Bedienung, die sogenannte Explorationsphase, ein neues Modell gebildet bzw. ein bestehendes angepasst, wodurch ein neues angepasstes Schema entstehen kann. Dieser Vorgang fällt unter den Begriff des Lernens. Je besser eine Handlung erlernt ist, desto weniger Ressourcen bindet sie bei ihrer Ausführung. Hochgeübte Handlungen laufen quasi unbewusst ab. Rasmussen (1986) beschreibt die menschliche Informationsverarbeitung auf den drei Ebenen „*Fertigkeitsbasiertes Verhalten*“, „*Regelbasiertes Verhalten*“ und „*Wissensbasiertes Verhalten*“ und bringt diese in Bezug zueinander (siehe Abbildung 2-7). Die unterste Ebene des fertigkeitbasierten Verhaltens läuft im Gegensatz zu den beiden anderen Ebenen ohne kognitiven Aufwand ab und verlangt dem Nutzer somit keine Aufmerksamkeit ab. Das Verhalten auf der regelbasierten Ebene ist zielorientiert, basiert jedoch auf mehreren Zwischenstufen, welche auf bekannten, abgespeicherten Mustern basieren, um das Ziel zu erreichen. Die Grenze zwischen der regelbasierten – und der wissensbasierten Ebene ist fließend und hängt von der Konzentration und dem Grad, wie gut die Handlung erlernt ist, ab.

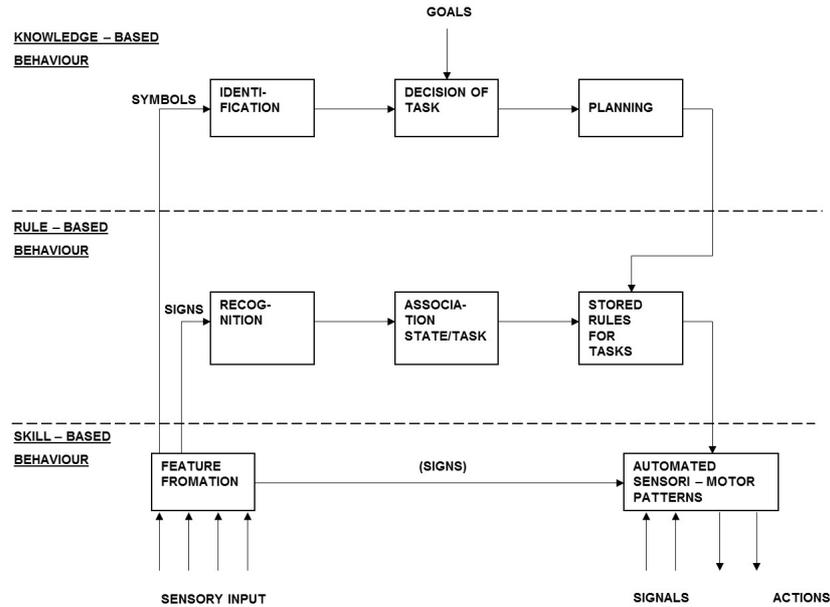


Abbildung 2-7: Vereinfachte Darstellung des Drei-Ebenenmodells menschlichen Handelns nach Rasmussen (Rasmussen, 1986)

Die Erlernbarkeit wird allerdings nach Heuer & Merz (1993) durch eine Doppelaufgabe, wie es beispielsweise beim Autofahren und dem gleichzeitigen Bedienen einer Nebenaufgabe der Fall ist, erschwert.

Am Ende dieses kognitiven Prozesses leitet der Nutzer eine Reaktion ein, welche dann im letzten Schritt mit zu Hilfenahme der Extremitäten in eine Bedienhandlung umgesetzt wird. Was es dabei aus ergonomischer Sicht im Kontext Menübedienung im Fahrzeug zu beachten gibt, wird im letzten Unterabschnitt nun erläutert.

### 2.2.3 Informationsumsetzung

Für die Informationsumsetzung an den Stellteilen der Maschine entsteht die Herausforderung durch die Belastung aus der Umwelt in einem fahrenden Fahrzeug. Auf die Bedienung der Nebenaufgabe hat die Tatsache, dass die Interaktion in einer bewegten Umgebung stattfindet eine Auswirkung, was sie von klassischen Single Task- Aufgaben wie beispielsweise der PC- oder der Smartphonebedienung unterscheidet. Nick- und Vibrationsbewegungen des Fahrzeugs sowie Flieh- und Beschleunigungskräfte können die Informationsumsetzung an den Bedienelementen negativ beeinflussen und zu Fehlbedienung führen. Hierfür ist es zweckmäßig, die Bedienelemente in einem für den Fahrer günstigen Greifraum zu positionieren und externe Störeinflüsse durch fahrzeuginduzierte Beschleunigungen und Kräfte abzufangen bzw. zu vermeiden. Dies könnte beispielsweise durch eine Verkürzung des Hebelarmes in Form einer Armauflage geschehen.

Für das Greifen eines Stellteiles bzw. das Drücken einer Taste ist eine gewisse Hand- Auge Koordination notwendig. Um auch hierfür die Blickabwendungen von der Primäraufgabe möglichst gering zu halten, muss das Bedienelement leicht aufgefunden werden bzw. vom Nutzer leicht zu erfassen sein. Eine haptische Fühl- bzw. Greifhilfe kann hier ebenfalls von Vorteil sein. Kann das Bedienelement durch bloßes Erfühlen nicht gefunden werden, sondern muss sogar durch zusätzliche Blicke zum Bedienelement gesucht werden, bedeutet dies einen Zusatzaufwand für den Nutzer, welcher zum einen durch die Blickabwendung von der Fahrszenarie eine zusätzliche Ablenkung darstellt. Zum anderen kann je nach Positionierung die Blickabwendung mit einer zusätzlichen Kopfbewegung verbunden sein müssen. Dies lässt vermuten, dass sich dies in einem negativen subjektiven Komfortempfinden widerspiegelt. Ein Wechsel von Bedienelementen, kann somit jedes Mal eine derartige Neupositionierung der Hand und Betätigungsfinger zur Folge haben und sich wie beschrieben auswirken.

Im folgenden Kapitel wird nun die Aufgabe Menübedienung an sich näher betrachtet und analysiert. Hierzu bedient man sich des Werkzeugs der systemergonomischen Analyse, welche zum einen erlaubt, die Aufgabe zu kategorisieren und zum anderen für den Systemdesigner mögliche Handlungsspielräume und Gestaltungsregeln aufzeigt.

### **2.3 Analyse der Aufgabe Menübedienung**

Um die Beeinträchtigung der primären Fahraufgabe durch die parallele Aufgabe Menübedienung so gering wie möglich zu halten, ist es notwendig die Schnittstelle für diese Aufgabe so zu gestalten, dass die Belastung durch die Nebenaufgabe möglichst gering ausfällt. Die Ursachen für die Belastung durch die Aufgabe lassen sich durch die zwei Methoden der Belastungs-Beanspruchungs-Analyse sowie der systemergonomischen Analyse ermitteln. Erstere zielt darauf ab, die Belastung, welche aus der Arbeit resultiert, messtechnisch zu erheben und daraus auf die menschliche Beanspruchung zu schließen (Bubb & Schmidtke, 1993). Bei informatorischer Arbeit, wie sie hier vorliegt, ist die mentale Belastung nach derzeitigem Stand der Wissenschaft messtechnisch nicht eindeutig erfassbar und interpretierbar. Hierfür liefert die systemergonomische Analyse nach Bubb (1993) eine Lösung. Diese ermöglicht auf Basis der systematischen Betrachtung des Informationsflusses durch das Mensch-Maschine System während der Aufgabenbearbeitung ein Soll für die Schnittstellengestaltung zu ermitteln. Die Belastung durch die Aufgabe wird umso größer, je mehr das Schnittstellendesign von diesem ergonomischen Soll abweicht. Im Folgenden wird die Aufgabe „Menübedienung“ mit dieser Methodik beleuchtet.

Zunächst werden die systemergonomischen Grundmaxime und deren Bedeutung für die Menübedienung vorgestellt. Um für die komplexe und vielfältige Aufgabe „Menüinteraktion“

Verallgemeinerungen treffen zu können, wird diese in einem weiteren Abschnitt in verschiedene allgemeingültige Aufgabentypen zerlegt, welche alle möglichen Bedienfälle abdecken können.

### 2.3.1 Systemergonomische Grundmaxime

Die Betrachtung des Informationsflusses durch das Mensch- Maschine- System erfolgt bei der systemergonomischen Analyse anhand der in Abbildung 2-8 dargestellten Grundmaxime *Funktion, Rückmeldung* und *Kompatibilität*.

Die *Funktion* besteht aus dem eigentlichen *Aufgabeninhalt* und der *Aufgabenauslegung*. Wie der Namensgebung bereits zu entnehmen ist, beschreibt der *Aufgabeninhalt* die Logik der Aufgabe und kann vom Systementwickler nicht beeinflusst werden. Vielmehr muss dieser analysiert werden und die Systemgestaltung sich daran orientieren. Der *Aufgabeninhalt* besteht aus der *Bedienung*, der *Dimensionalität* sowie der *Führungsart* der Aufgabe.

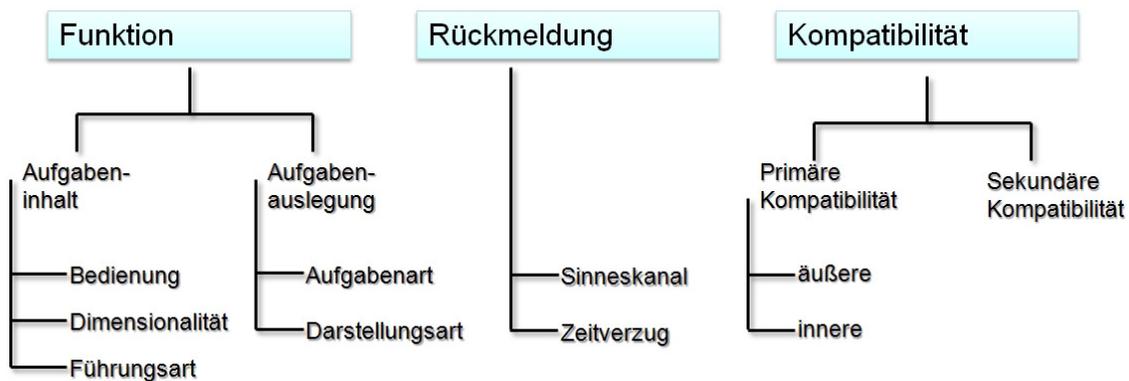


Abbildung 2-8: Systemergonomische Grundmaxime nach Bubb (1993)

Die *Bedienung* beschreibt dabei die zeitliche Ordnung. Unterschieden wird zwischen sequentieller und simultaner Bedienung. Eine sequentielle Bedienung beschreibt Arbeitsschritte deren zeitliche Reihenfolge aufgrund der Logik fest vorgegeben ist und eingehalten werden muss. Simultan hingegen bedeutet, dass die zeitliche Reihenfolge der Bearbeitungsschritte nichts am Ausgang des Ergebnisses ändert. Es bedeutet jedoch nicht, dass die Schritte gleichzeitig abgearbeitet werden. Rassl (2004) legt auf Basis seiner Untersuchungen fest, dass simultane Aufgaben in einem Menü dem Nutzer auch simultan und sequentielle Aufgaben sequentiell angeboten werden müssen. Als Ausnahme formuliert er die Regel, dass simultan nie mehr als neun Optionen dem Nutzer angeboten werden dürfen. Dies deckt sich ebenfalls mit Ergebnissen von Totzke et. al (2003), die nachweisen, dass eine Verbreiterung der Menüoberfläche durch eine größere Anzahl an gleichzeitig angebotenen Optionen die visuelle Belastung erhöht und somit von der Fahraufgabe ablenkt. Bei mehr als neun simultanen Optionen schlägt Rassl (2004) vor, diese auf mehrere

sequentielle Schritte zu verteilen. Im Bereich der Infotainmentmenübedienung ist das Beantworten einer SMS ein Beispiel einer sequentiellen Bedienung. Es muss zunächst eine SMS aus dem Posteingang geöffnet und gelesen werden, um diese dann beantworten zu können. Das Beantworten einer ungelesenen SMS macht aus bedientechnischer Sicht keinen Sinn, weshalb diese Bearbeitungsschritte dem Nutzer auch sequentiell angeboten werden müssen. Eine simultane Aufgabe ist beispielsweise das Eingeben eines Navigationszieles. Hier ist es für den Ausgang des Ergebnisses unerheblich, ob der Nutzer zuerst den Zielort oder die Zielstraße eingibt.

Die *Dimensionalität* beschreibt die räumliche Ordnung des Aufgabeninhalts und stellt die Freiheitsgrade dar, auf die der Bediener Einfluss nehmen kann. Die Aufgabe der Menübedienung kann bis zu zwei Freiheitsgrade benötigen. Dies ist durch die Zweidimensionalität des Displays, auf dem die Menüinhalte angezeigt werden, gegeben. Ein Beispiel einer zweidimensionalen Aufgabe im Bereich der Infotainmentbedienung ist das Verschieben der Navigationskarte, da diese sowohl horizontal als auch vertikal bewegt werden kann. Jedoch gibt es im Infotainmentbereich auch eindimensionale Aufgaben. Beispiele hierfür sind das Einstellen des Basses oder der Kartenhelligkeit. Ergonomische Vorgaben besagen, dass die Dimensionalität des Bedienelements den benötigten Freiheitsgraden zur Bearbeitung der Aufgabe entsprechen sollte (Rühmann, 1993).

Die Führungsart beschreibt die örtliche und zeitliche Einschränkung der Aufgabe. Hierbei wird zwischen dynamischer und statischer Aufgabe unterschieden. Auch hier konnte Rassl (2004) bereits die Regel formulieren, dass tertiäre Aufgaben im Fahrzeug statisch zu gestalten sind. Dies bedeutet, dass der Zeitrahmen für die Bearbeitung dem Nutzer nicht vorgegeben sein sollte. Ein Negativbeispiel hierfür wäre ein Pop-Up-Menü, welches nach einer bestimmten Zeit selbstständig wieder verschwindet.

Neben dem *Aufgabeninhalt* steht parallel die *Aufgabenauslegung*, welche vom Systemdesigner bestimmt wird. Diese lässt sich weiter in die *Darstellungsart* und die *Aufgabenart* unterteilen. Die Darstellungsart unterscheidet, inwiefern die Aufgabe und das Ergebnis dem Nutzer verrechnet oder getrennt dargeboten werden. Muss der Nutzer selbst die Differenz zwischen Aufgabe und Ergebnis berechnen, spricht man von einer Folgeaufgabe. Wird die Differenz dem Nutzer vom System hingegen angezeigt, spricht man von einer Kompensationsaufgabe. Die Infotainmentbedienung lässt sich prinzipiell nur als Folgeaufgabe darstellen, da der Sollwert, d.h. die gewünschte Menüoption, nicht bekannt ist. Ein Beispiel für eine Kompensationsaufgabe wäre das Autofahren selbst, da hier der Fahrer die Differenz zwischen der Sollspur und der Istspur des Fahrzeugs sieht und diese ausgleichen muss.

Bezüglich der *Aufgabenart* unterscheidet man zwischen aktiver und monitiver Aufgabe. Ist eine Aufgabe monitiv gestaltet wird diese von der Maschine automatisiert durchgeführt, während dem Bediener lediglich eine überwachende Rolle zukommt und dieser nur im Falle eines Fehlers aktiv ins Geschehen eingreift. Bei einer aktiven Aufgabe hingegen ist der Nutzer aktiv in den Bearbeitungsprozess eingebunden. Rassl (2004) formuliert diesbezüglich die Regel, dass monitiv ausgelegte tertiäre Aufgaben leichter zu bedienen sein müssen als mögliche aktive Varianten und zuverlässig die Funktion erfüllen müssen. Beispiel für eine monitive Aufgabe wäre der automatische Sendersuchlauf des Radios.

Die zweite systemergonomische Grundmaxime ist die *Rückmeldung*, also der Informationsfluss von der Maschine an den Nutzer. Hierfür spielt zum einen die Art der Rückmeldung eine Rolle und zum anderen die zeitliche Verzögerung von der Bedienhandlung des Nutzers bis zur Reaktion des Systems. Für letzteren Aspekt konnte Rassl (2004) auf Basis seiner Versuche bereits eine Grenze von 200 ms festlegen, innerhalb derer die Rückmeldung zu erfolgen hat. Dies entspricht der physiologischen Reaktionszeit des Menschen, welche bei etwa 100-200 ms liegt (Bubb, 1993).

Die *Rückmeldung* kann über verschiedene Sinneskanäle gegeben werden. Für die Infotainmentbedienung kommen dabei der visuelle, der haptische und der auditive Kanal in Frage. Laut Bubb besteht die ergonomische Forderung darin, über möglichst viele Kanäle rückzumelden (Bubb, 1993).

Die dritte Grundmaxime ist die *Kompatibilität* und behandelt die Frage nach dem Umkodieraufwand zwischen verschiedenen Informationskanälen. Das Forschungsfeld zur Kompatibilität ist sehr breit gefächert. Einen sehr detaillierten Überblick hierzu liefert Spanner (1993). Demnach lässt sich die Bewegungs- Beziehungs-, die räumliche, die begriffliche und die kognitive Kompatibilität unterscheiden.

Einen integrativen Ansatz zur *Bewegungs-Beziehungskompatibilität* liefert die Unterscheidung zwischen primärer und sekundärer Kompatibilität. Dabei versteht man unter der primären Kompatibilität die Sinnfälligkeit zwischen Informationen bezogen auf Wirklichkeit, Anzeigen, Stellteilen und inneren Vorstellungen des Nutzers. Diese lässt sich wiederum in äußere und innere primäre Kompatibilität unterteilen. Die innere Kompatibilität bezieht sich dabei auf die Sinnfälligkeit von Peripherie und inneren Vorstellungen des Menschen, welche auf Erfahrungswerten und Vorwissen basieren. Die äußere Kompatibilität beschreibt die Sinnfälligkeit zwischen Stellteilen, Anzeigen und der Realität. Die sekundäre Kompatibilität bedeutet allgemein, dass keine Widersprüche zwischen verschiedenen Kompatibilitätsforderungen entstehen dürfen. Außerdem ist gefordert, dass Anzeige und Stellteile nur so im Raum angeordnet sein sollen, dass nur diejenigen Bereiche zur

Verfügung stehen, welche eine Bewegung ohne Verletzung der geforderten Bewegungstereotypen zulassen. Für die Bedienkonzeptgestaltung im Infotainmentbereich wirkt sich dies vor allem beim Zusammenspiel zwischen Anzeige und Bedienelement aus. So muss beispielsweise bei der Verwendung eines Dreh- Drück- Stellers auf die Kompatibilität zwischen Drehrichtung am Stellteil und Bewegungsrichtung des Cursors auf dem Display geachtet werden.

Die *räumliche Kompatibilität* zielt auf die räumliche Positionierung von Bedienelementen im Verhältnis zu deren Anzeigen sowie deren geometrische Ähnlichkeit ab. Nach Schmidtke & Rühmann (1981) erfolgt die Verarbeitung der aufgenommenen Informationen umso schneller und zuverlässiger, je weniger Transformationsschritte aufgrund einer funktionalen Gruppierung von Anzeige und Stellteil notwendig sind. Fitts & Seeger (1953) fordern sogar, dass Stellteil und Anzeige eine funktionale, geometrische Ähnlichkeit aufweisen sollten.

Die begriffliche Kompatibilität fasst Größen-, Farb-, Form-, Lage- und Positions- sowie Schrift- und Symbolkodierungen zusammen. Ein Beispiel hierfür ist, dass mit bestimmter Farbgebung Bedeutungen assoziiert werden. Dies basiert auf Erfahrungswerten und kann sich zwischen den Kulturen unterscheiden.

Die *kognitive Kompatibilität* stammt letztlich aus dem Bereich der Mensch-Computer-Interaktion und wird für eine benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Menüsysteme verwendet. Empirische Studien zeigen, dass ein schnelles und fehlerfreies Lernen von Menüstrukturen mit einer hohen kognitiven Kompatibilität einhergeht. Nach Heineken & Kuckhoff (1992) ist das Ziel der Mensch- Computer- Interaktion eine sogenannte Enkodierungskompatibilität, d.h. eine einheitliche Verwendung von Abkürzungen, Piktogrammen sowie eine Organisationskompatibilität, worunter die Anordnung der einzelnen Befehle im Menü gemeint ist. Diese Art der kompatiblen Gestaltung zielt maßgeblich auf die Gestaltung der Menüstruktur ab. So besteht die Forderung, die Ordnung und Reihenfolge der Menüoptionen an die Erfahrungen und das Vorwissen der Nutzer anzupassen.

Die Folgen einer inkompatiblen Gestaltung wird in der Norm DIN EN ISO 10075-2 (2000) folgendermaßen auf den Punkt gebracht: *„Informationsdarstellungen, Steuerbewegungen und Systemantworten, die inkompatibel mit allgemein verbreiteten Erwartungen der Benutzer sind, produzieren widersprüchliche Informationen und zwingen den Operateur dazu, zusätzliche Anstrengungen aufzuwenden, um die geforderte Leistung zu erreichen.“*

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Aufgabeninhalt sich vom Systemdesigner nicht beeinflussen lässt, sondern durch die Charakteristik der Aufgabe vorgegeben ist. Es gilt somit, die Aufgabe auf deren Bedienung, Dimensionalität und

Führungsart zu analysieren und das System entsprechend daran anzupassen. Dabei beeinflussen die Führungsart sowie die Bedienung der Aufgabe deren Logik und somit die Gestaltung von Inhalt und Struktur des Menüs, wobei auf die dafür von Rassl (2004) formulierten Regeln zurückgegriffen werden kann. Die Dimensionalität hingegen ist für die Systeminteraktion, also der Auslegung des Bedienelements und der damit verbundenen Interaktion entscheidend. Wie erwähnt, sollte dabei die Dimensionalität des Bedienelements den zur Aufgabenbearbeitung nötigen Freiheitsgraden entsprechen. Dies vereinfacht die für die Interaktion wichtige Forderung nach einer kompatiblen Gestaltung.

Die Kompatibilität und die Rückmeldung werden vom Systemdesigner festgelegt und sind ebenfalls für die Interaktionsgestaltung und somit für die Auslegung des Bedienelements entscheidend. Hier ist die erwähnte räumliche Kompatibilität, also die richtige Positionierung der Bedienelemente zu deren Anzeigen sowie deren geometrische Ähnlichkeit, von Bedeutung. Des Weiteren stellen die Regeln der Bewegungs-/ Beziehungskompatibilität für die Auswahl und die Gestaltung des Bedienelementes als auch die Interaktionsgestaltung einen wichtigen Baustein dar. Letztlich spielt die kognitive Kompatibilität hinsichtlich verwendeter Interaktionskonzepte eine Rolle. Eine Verletzung der Regeln für eine kompatible Gestaltung wird zu einer massiv höheren Belastung durch die Nebenaufgabe „Menübedienung“ und somit zu einer stärkeren Beeinflussung der eigentlichen Fahraufgabe führen. Für die Grundmaxime der Rückmeldung ist letztendlich für die Bedienelementgestaltung die Frage, ob die Haptik als zusätzlicher Kanal zur Informationsübertragung und somit zur Entlastung des visuellen Kanals und zur Reduzierung der Belastung der kognitiven Ressourcen genutzt werden kann.

Im Folgenden wird gezeigt, wie die komplexe Aufgabe Menübedienung für eine Analyse und Untersuchungen in Teilaufgabentypen zerlegt werden kann, welche dem Anspruch gerecht werden, repräsentativ für die gesamte Aufgabe Menübedienung im Fahrzeug zu sein.

### ***2.3.2 Analyse der Aufgabentypen einer Menübedienung im Dualtask***

Die Aufgabe „Menübedienung im Fahrzeug“ erfordert aufgrund ihrer Komplexität verschiedenste Eingabe- und Interaktionsmöglichkeiten. Um eine Analyse wie beschrieben durchführen zu können, müssen daher allgemeingültige Aufgabentypen gefunden werden, welche repräsentativ für die gesamte derzeitige Infotainmentbedienung sind. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Aufgabe in drei Grundtypen zerlegt, die sämtliche Bedienaktionen eines Infotainmentmenüs abdecken sollen:

- Alphanumerische Eingaben
- Verschiebe-/Einstellaufgaben
- Auswahlaufgaben

Für diese drei Grundtypen werden folgende Definitionen festgelegt:

- *Alphanumerische Eingaben* beinhalten das Einspeisen von Informationen in das System in Form von Buchstaben, Wörtern, Texten, Ziffern, Nummern oder Zahlen.
- *Verschiebe-/Einstellaufgaben* beinhalten das Verstellen eines Wertes innerhalb eines bestimmten Wertebereichs.
- *Auswahlaufgaben* beinhalten die Selektion einer Option aus einer Anzahl aus zwei oder mehreren Möglichkeiten.

Die alphanumerische Eingabe ist von Natur aus eine sehr komplexe Aufgabenart. In menügeführten Systemen im Automobil wird diese aus Gründen der technischen Realisierbarkeit meist als sequentielle Auswahlaufgabe in einem Kreis oder einer Buchstabenreihe dargestellt und mit einem Dreh-Steller bedient. Dies erhöht die Komplexität, da die Reihenfolge von Buchstaben in einem Wort nicht einer festen immer wiederkehrenden Sequenz folgt. Des Weiteren hat die Darstellung solcher Buchstabensequenzen in einem Drehkranz oder einem Buchstabenfeld und deren Bedienung mit einem eindimensionalen Dreh-Steller auch Kompatibilitätsprobleme zur Folge. Intelligente berührungsempfindliche zweidimensionale Eingabeflächen mit hinterlegter Schrifterkennungssoftware ermöglichen neuerdings eine natürliche kompatible Eingabe alphanumerischer Zeichen durch direktes Schreiben. Dies bewirkt auch im automobilen Kontext eine deutliche Verbesserung wie jüngste Veröffentlichungen zeigen (vgl. Hamberger & Gößmann, 2009, Hamberger, 2010, Mischke, 2008).

Die beiden weiteren Aufgabentypen der Infotainmentmenübedienung lassen sich mittels der in Abschnitt 2.3.1 vorgestellten systemergonomischen Grundmaxime untersuchen, um daraus den Handlungsbedarf für eine ergonomische Schnittstellengestaltung zu ermitteln. Für die Bedienteilentwicklung ist wie bereits erwähnt die Dimensionalität der Aufgabe von entscheidender Bedeutung.

Der Aufgabentyp Verschiebe-/Einstellaufgaben kann sowohl ein- als auch zweidimensional sein. Das Bewegen der Navigationskarte beispielsweise benötigt zwei Freiheitsgrade, ebenso wie das Einstellen von Fader und Balance. Das Einstellen der Bassstärke oder der Displayhelligkeit hingegen benötigt nur einen Freiheitsgrad.

Die Dimensionalität des Aufgabentyps Auswahlaufgabe hängt von der Art der Darstellung auf dem Display ab. Eine klassische Darbietung, wie sie in derzeitigen Infotainmentmenüs überwiegend der Fall ist, sind eindimensionale Listen, in denen die Optionen untereinander angeordnet sind. Jedoch sind auch Darstellungen in Form einer zweidimensionalen Matrixanordnung denkbar.

Dies bedeutet, dass es sowohl ein- als auch zweidimensionale Menüaufgaben gibt. Die direkte Eingabe von alphanumerischen Zeichen lässt sich nur mit einer zweidimensionalen

freien Eingabefläche, einem so genannten Touchpad, oder alternativ über einen Touchscreen realisieren. Trägt man der Forderung nach Rühmann (1993) Rechnung, müssten für die Menübedienung also mehrere Bedienelemente unterschiedlicher Dimensionalität angeboten werden.

Da die Darstellbarkeit von Optionen im sichtbaren Bereich des Bildschirms beschränkt ist, muss es eine Möglichkeit geben, den sichtbaren Bereich des Bildschirms für längere Listen zu verschieben bzw. zu wechseln. Ein Beispiel hierfür sind Listen die sich mit einem sogenannten Scrollbalken verschieben lassen. Die maximale Darstellbarkeit der Auswahloptionen im sichtbaren Bereich des Bildschirms ist maßgeblich durch die Mindestgröße der Schriftzeichen und der Größe des Displays beeinflusst. Somit muss bei Auswahlaufgaben zwischen zwei verschiedenen Interaktionen unterschieden werden. Zum einen muss die Selektion der Option aus der Liste oder dem zweidimensionalen Matrixfeld, zum anderen die Interaktion zum Verschieben des sichtbaren Auswahlbereichs betrachtet werden. Somit ist es zweckmäßig die Auswahlaufgaben für die weiteren Analysen nach der Größe ihres Auswahlbereiches zu unterscheiden. Die Grenze für die maximal gleichzeitig darstellbaren Optionen auf dem Bildschirm wird für den weiteren Verlauf der Arbeit auf Basis der gängigen Größen von Seriendisplays auf neun Optionen festgelegt. Die für diese Arbeit zu unterscheidenden Aufgabentypen sind demzufolge:

- Alphanumerische Eingaben
- Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen
- Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen
- Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional
- Verschiebe-/ Einstellaufgaben 2-dimensional

Zuletzt kann noch unterschieden werden, ob es sich um eine kontinuierliche oder eine diskrete Aufgabe handelt. Auswahlaufgaben sind diskreter Natur, während Verschiebe-/ Einstellaufgaben prinzipiell kontinuierlich sind. Letztere werden aber oft zu diskreten Aufgaben gemacht. Beispiel hierfür ist die Einstellung der Lautstärke auf einer diskreten Skala von 1-10. Somit ist die Lautstärke nicht mehr stufenlos einstellbar, sondern es können 10 diskrete Lautstärkeabstufungen angewählt werden.

Zuletzt werden als Abschluss dieser theoretischen Betrachtung nun allgemeingültige Bewertungs- und Klassifizierungskriterien für Bedienteile und Interaktionsformen sowie aus der Literatur bereits bekannte Eignungen von Stellteilen zu Aufgabentypen vorgestellt.

## **2.4 Bewertung von Stellteilen und Interaktionsformen**

Hinsichtlich der Kategorisierung und Bewertung von Stellteilen gibt es in der Literatur einige Ansätze. Laut Rühmann (1993) gibt die Art des Stellteils (Drehknopf, Hebel, etc.),

Codierungsmaßnahmen (Farb-, Formcodierung) sowie eine kompatible Anordnung bzw. Gruppierung zu den Effektoren und Anzeigen des Systems, einen Hinweis auf deren Funktionsweise. Rühmann (1993) beurteilt Stellteile nach fünf Kriterien:

*Bedienung* – beschreibt die Extremitäten mit denen das Bedienelement betätigt wird. Unterschieden wird zwischen Finger-, Hand-, Fuß- und Beinbedienung.

*Bewegungsart* – hier unterscheidet Rühmann zwischen Rotations-, Translations- und Quasitranslationsbewegungen.

*Wirkungsweise* – diese beschreibt, ob Bedienelemente eine Maschine analog oder digital beeinflussen.

*Dimensionalität* – diese beschreibt die konstruktiv vorgegebenen Bewegungsrichtungen, die zu einer Bedienung möglich sind. Wie bereits in Kapitel 2.3.1 erwähnt sollte die Dimensionalität des Bedienelements der Aufgabe entsprechen.

*Integration* – beschreibt Bedienelemente, in denen weitere Funktionalitäten integriert sind. Rühmann warnt allerdings vor der Integration zu vieler Funktionalitäten in einem Bedienelement.

Boff & Lincoln (1988) klassifizieren Stellteile in Abhängigkeit ihrer Bedienmöglichkeiten und Bewegungsarten (siehe Tabelle 2-1). Dabei entspricht die Bewegungsart der von Rühmann (1993) während die Bedienmöglichkeiten die von Rühmann erwähnte Wirkungsweise meinen.

Tabelle 2-1: Klassifizierung von Bedienelementen (Boff & Lincoln, 1988)

	Diskrete Bedienung	Kontinuierliche Bedienung
Linearbewegung	Drucktaster, Kippschalter, Schiebeschalter, Wippschalter, Druck-Zug-Schalter	Schieberegler, Maus, Analogjoystick, Trackball, Lichtgriffel, Touchpad, Graphiktablett, Touchscreen
Drehbewegung	Drehwahlschalter, Drehsteller, Dekadenschalter, Schlüsselschalter	Drehregler, Einstellrad

Eine weitere Interaktionsmöglichkeit ist die sogenannte direkte Manipulation oder auch direktmanipulative Handhabung genannt (vgl. Preim & Dachsel, 2010). Durch diese wird eine absolut kompatible und somit intuitive Bedienung ermöglicht. Ein klassisches Beispiel für eine direkte Manipulation aus dem Automotivbereich ist der Touchscreen.

Die aufgeführten Klassifikationen sollen bei der Konzeptfindung helfen, Stellteile bestmöglich nach den Anforderungen für eine Menübedienung während der Fahrt einzuordnen und zu

bewerten, um so eine systematische Einschränkung des Lösungsraums zu ermöglichen. Die angesprochenen Anforderungen an ein solches Bedienkonzept werden nun im nachfolgenden letzten Kapitel dieser theoretischen Betrachtung auf Basis der gewonnenen theoretischen Erkenntnisse zusammengestellt.

## **2.5 Zusammenfassung**

Zunächst wurde die Aufgabe Menübedienung anhand des Mensch-Maschine-Regelkreis im Fahrzeugkontext betrachtet. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die komplexe Situation bei der Bedienung eines Infotainmentmenüs maßgeblich aus der Tatsache resultiert, dass es sich im Umfeld Fahrzeug um eine Dual Task Situation handelt. Dabei ist ein erstes grundlegendes Problem bei der physiologischen Überforderung des visuellen Kanals durch die parallele Informationsaufnahme für die beiden Aufgaben von zwei örtlich getrennten Positionen zu sehen, was zu einer gehäuften Blickabwendung von der Straße führen kann. Darüber hinaus hat die Betrachtung der physiologischen Eigenschaften des Auges gezeigt, dass ein ständiges Akkommodieren auf unterschiedliche Entfernungen lästig und ermüdend ist, was zur Folge hat, dass die Anzeige für die Nebenaufgabe weit weg vom Fahrer platziert sein sollte. Die systemergonomische Analyse der Menübedienung anhand der Grundmaxime hat gezeigt, dass für die Gestaltung des Bedienelementes die Rückmeldung eine entscheidende Rolle spielt. Als Entlastung des visuellen Kanals wurde im Rahmen der physiologischen Eigenschaften zur Informationsaufnahme die Haptik angeführt. Bezüglich der Informationsverarbeitung besteht das Problem in der parallelen Verarbeitung von Informationen ebenfalls aufgrund der Dual Task Situation, wodurch Interferenzen zwischen den beiden Aufgaben auftreten können. Eine Unterstützung der Informationsverarbeitung durch redundante Informationskanäle wie der Haptik kann hier Abhilfe schaffen.

Eine weitere für die Bedienteilauslegung wichtige Grundmaxime ist die Kompatibilität. Hier ist generell darauf zu achten, dass der Umkodieraufwand zwischen der Anzeige, der Bedienung und den inneren Vorstellungen des Nutzers möglichst gering bleibt. Neben den vorgegebenen Regeln wie der räumlichen und der Bewegungskompatibilität, wurde im Rahmen der Betrachtung der kognitiven Prozesse ein Verständnis für die Einhaltung der kognitiven Kompatibilität geschaffen. Wichtig ist, sich bei der Auswahl eines Bedienkonzepts an möglichem Vorwissen der Nutzer zu orientieren und sich Metaphern als Gestaltungselemente zu bedienen. Die „direkte Manipulation“ als mögliche Interaktionsform, welche dies ermöglicht, wurde in Kapitel 2.4 vorgestellt.

Eine dritte Grundmaxime welche es zu beachten gibt, die eine kompatible Gestaltung ebenfalls unterstützt, ist die Anpassung der Dimensionalität des Bedienelements an die zu

bedienende Aufgabe. Eine Analyse der Aufgabentypen der Infotainmentmenübedienung hat ergeben, dass es sowohl ein- als auch zweidimensionale Bedienaufgaben gibt.

Die Informationsumsetzung wird vor allem durch die Störeinflüsse in der bewegten Fahrzeugumgebung negativ beeinflusst. Hier ist darauf zu achten, dass das Bedienelement für den Fahrer gut erreichbar ist. Um eine zu starke Beeinflussung durch von außen induzierte Bewegungen zu vermeiden, wäre eine Art Handauflage zu empfehlen. Ein Lösungsansatz kann hier sein, die Bedieneinheit in der Mittelkonsole zu positionieren, was für die Variante der von der Anzeige abgesetzten Bedienung spricht.

Die so aus der theoretischen Betrachtung gewonnenen Rahmenbedingungen sind in Tabelle 2-2 nochmals zusammengefasst dargestellt und dienen als Grundlage für die Konzeptarbeit im nächsten Kapitel.

*Tabelle 2-2: Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer Infotainmentbedieneinheit und deren Interaktionsformen*

Rahmenbedingungen	
<b>Anzeige-/ Bedienelement Integration</b>	1. Anzeige in möglichst großer Entfernung zum Fahrer oder Head-Up-Display
	2. Bedienelement für Fahrer gut erreichbar
	3. Handauflage bzw. verkürzter Hebelarm zum Schutz vor extern induzierten Bewegungsstöreinflüssen
<b>Aufgaben- bearbeitungs- möglichkeit</b>	4. Möglichkeit zur Bedienung 1- sowie 2- dimensionaler Aufgaben
	5. Möglichkeit zur direkten Schrifteingabe
<b>Interaktions- gestaltung</b>	6. Möglichkeit zur direkten Manipulation
	7. Vermeidung von häufigen Bedienelementwechseln

Darüber hinaus lassen sich auf Basis der Analyse gewisse Leitlinien festhalten, welche bei der Entwicklung und Untersuchung einer Infotainmentbedienung helfen sollen. Hierzu gehören:

- Verwendung bekannter Interaktionskonzepte und Bedienstrategien
- Verwendung von Gestaltungs- und Interaktionsmetaphern
- Ermöglichung von diskreten und kontinuierlichen Eingaben
- Ermöglichung einer haptischen Informationsübermittlung

Im nächsten Kapitel werden bestehende Bedienkonzepte, basierend auf den hier erarbeiteten Rahmenbedingungen, untersucht und bewertet, um daraus sodann ein Konzept abzuleiten.

## 3 Konzeptentwicklung Bedienelement

Im folgenden Kapitel soll auf Basis der theoretisch ermittelten Anforderungen an ein Automotive- Infotainmentbedienkonzept aus Abschnitt 2.5 systematisch ein Lösungsraum für die vorliegende Problematik aufgespannt werden. Hierzu werden zunächst in Anlehnung an die Forderung, auf dem Nutzer bekannte Interaktionsstrategien zurückzugreifen und diese durch Metaphern dem Nutzer erschließbar zu machen, derzeitige am Markt befindliche Bedienkonzepte anhand der erstellten Rahmenbedingungen bewertet. Auf Basis dieser und der Analyse der Marktsituation wird im Rahmen dieser Arbeit ein Touchpad mit einer situativ anpassbaren haptisch veränderlichen Oberfläche, im Weiteren als haptisches Touchpad bezeichnet, als neuer Bedienansatz aufgebaut und evaluiert. Während der Projektzeit werden nacheinander zwei Prototypen aufgebaut. Während der erste als Tischaufbau und zur Simulatorintegration gedacht ist und zu ersten Potenzialabschätzungen dient (vgl. Spies et al., 2009b) wurde der zweite Aufbau zur Integration in ein Realfahrzeug zu Präsentationszwecken aufgebaut (vgl. Peters et al., 2010). Die Konzeptidee des haptischen Touchpads sowie der prototypische technische Aufbau wird in Abschnitt 3.2 beschrieben. Kapitel 3.3 beschreibt letztlich den Untersuchungsbedarf in Form von Fragestellungen, welche sich aus der Entwicklung und der theoretischen Betrachtung heraus ergeben. Diese werden im weiteren Verlauf der Arbeit in wissenschaftliche Hypothesen umgewandelt und in geeigneten Experimenten untersucht.

### 3.1 Bewertung derzeitiger Infotainmentbedienteile

Im Folgenden wird die derzeit heterogene Marktsituation an Infotainmentbedienkonzepten beleuchtet und anhand der erstellten Anforderungsliste einer bewertenden Analyse unterzogen. Ziel ist es, durch die Analyse existierender Bedienkonzepte am Markt, mögliche Metaphern in ein Automotivebedienkonzept zu integrieren. Dadurch soll der Empfehlung aus dem vorherigen Kapitel 2.5 Rechnung getragen werden, mögliche Vorteile bereits existierender weiter zu nutzen.

Wie bereits eingangs erwähnt, lassen sich die derzeitigen Infotainmentbedienkonzepte in zwei Kategorien einteilen, solche mit kombiniertem Anzeige- und Bedienort und solche mit Trennung von Anzeige und Bedienung.

Die erste Kategorie wird am Markt durch die sogenannten Touchscreens repräsentiert (siehe Kapitel 1.2). Die Rahmenbedingungen aus Kapitel 2.5 fordern hinsichtlich der Positionierung von Anzeige und Bedienung, dass die Anzeige zur Vermeidung negativer Akkomodationseffekte in möglichst großer Distanz zum Fahrer angebracht ist. Das Bedienelement soll hingegen möglichst bequem erreichbar sein und mit einer Handablage zur Verringerung der Bewegungsstöreinflüsse von außen versehen sein. Hier ist unschwer zu erkennen, dass dies für eine Touchscreenlösung einen unüberwindbaren Zielkonflikt darstellt. Großer Vorteil des Touchscreens ist die absolut kompatible Interaktionsgestaltung. Da die Benutzerschnittstelle flexibel an den zu bedienenden Anwendungsfall angepasst werden kann und durch die Kombination aus Anzeige und Bedienung ein direktes Mapping stattfindet, hat dies eine absolut kompatible Bedienung zur Folge. Des Weiteren wird der komplette Menükontext über ein einziges Bedienelement bedient, was eine durchgängige Bedienung zur Folge hat. Der Nutzer muss sich während der Aufgabenbedienung nicht umorientieren und das Eingabemedium wechseln.

Die auf dem Markt existierenden Varianten der Kategorie „abgesetzte Bedienung“ haben die Nachteile der Touchscreenlösungen als deren Vorteile aufzuweisen. Hier ist die Bedieneinheit jeweils in der Mittelkonsole positioniert, sodass sie für den Fahrer leicht erreichbar ist und die Handfläche der bedienenden Hand abgestützt ist. Somit werden Schwingungen und Bewegungen, die von außen in das Fahrzeug induziert werden, nicht zusätzlich durch einen langen Hebelarm, wie es bei der Touchscreenbedienung mit einem ausgestreckten Arm der Fall ist, aufgeschaukelt. Die Anzeige hingegen kann in möglichst großer Distanz zum Fahrer positioniert werden. Darüber hinaus sind alternative Anzeigeorte wie das Head-Up-Display für eine Infotainmentmenüanzeige denkbar. Dem gegenüber stehen gewisse Nachteile, welche diese Bedienvariante im Vergleich zum Touchscreen aufweist. Das zentrale Element dieser Bedieneinheit stellt meist ein Dreh- Drücksteller dar, welcher ein integriertes Bedienelement aus einem eindimensionalen diskreten Drehrad zur Optionsauswahl und einem eindimensionalen diskreten Drucktaster zur Bestätigung, ist. Dieses Bedienelement kommt speziell bei zweidimensionalen Verschiebe-/ Einstellaufgaben, wie dem Verschieben der Navigationskarte, an seine Grenzen. Dies lösen Hersteller wie BMW oder Mercedes dadurch, dass in den Dreh-Drücksteller noch eine weitere Komponente integriert wird, indem das Bedienelement auch noch in X,Y- Richtung verschoben werden kann und somit zu einer Art zweidimensionalem Joystick wird. Audi hat durch einen integrierten zweidimensionalen Wippteller, der auf dem Dreh-Drück- Steller montiert ist, eine ähnliche Lösung in einer seiner Bedienvarianten. Lexus geht einen alternativen Weg indem es ein zweidimensionales Bedienteil anbietet, welches in X,Y- Richtung verschoben werden kann, adaptiv haptisch bestimmte Wege sperrt und mit dieser Funktionalität sowohl die ein-

als auch die zweidimensionalen Aufgaben bearbeitet werden. Somit sind alle Aufgabentypen zu bearbeiten bis auf die direkte Eingabe von alphanumerischen Zeichen. Hierfür hat Audi eine Lösung seit der Einführung des Audi A8 im Jahr 2010. Das neue Bedienteil bietet neben einem Dreh-Drück-Steller und diverser Tasten zur Menüauswahl noch redundant ein Touchpad für zweidimensionale Verschiebe-/ Einstellaufgaben und zur Eingabe alphanumerischer Zeichen. Die Lösungsvielfalt zeigt, dass all diese Lösungen aus einer Kombination mehrerer Bedienteile bestehen, um den Anforderungen der verschiedenen Aufgabentypen gerecht zu werden. All diese Bedienelemente ermöglichen keine direkte Manipulation, was bedeutet, dass immer ein Kompatibilitätsverlust gegeben und somit ein gewisser Umkodieraufwand nötig ist. Des Weiteren stellt sich die Frage, wie sich das ständige Wechseln der Bedienelemente während der Fahrt auf die Primäraufgabe auswirkt. Die beschriebenen Vor- und Nachteile der einzelnen Bedienvarianten sind in Abbildung 3-1 nochmals gegenübergestellt.

Integrierte Bedienung		Vorteile	Nachteile
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Manipulation (6)</li> <li>• Alle Aufgabentypen bedienbar (4)(5)</li> <li>• Kein Bedienteilwechsel (7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Akkomodationsaufwand (1)</li> <li>• Erschwerte Bedienung im bewegten Fahrzeug (2)(3)</li> </ul>
Abgesetzte Bedienung		Vorteile	Nachteile
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimaler Greifraum für Bedienteil (2)(3)</li> <li>• Anzeige in optimaler Sichtposition (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur für bestimmte Aufgabentypen geeignet (4)</li> <li>• Kombination aus mehreren Bedienelementen nötig (5)</li> <li>• Unterbrechung des Bedienvorganges durch Umgreifen (7)</li> <li>• Umkodieraufwand nötig (6)</li> </ul>

*Abbildung 3-1: Bewertender Vergleich der derzeit auf dem Markt existierenden Bedienvarianten; Nummern in Klammern beziehen sich auf die in Kapitel 2.5 aufgestellten Rahmenbedingungen*

Im Folgenden wird nun das Konzept eines haptischen Touchpads vorgestellt, welches die Vorteile der aufgeführten Marktlösung allesamt in sich vereinen soll. Im weiteren Verlauf werden Interaktionsstrategien sowie verschiedene Auslegungskonzepte ermittelt und zu guter Letzt im Untersuchungsbedarf für den weiteren Verlauf dieser Arbeit zusammengefasst.

## 3.2 Konzept Haptisches Touchpad

Die Idee des haptischen Touchpads soll sämtliche in Abschnitt 3.1 aufgezeigten Vorteile von derzeitigen Infotainmentbedienlösungen in sich vereinen. Grundvoraussetzung ist, dass auf das Konzept einer abgesetzten Bedienung gesetzt werden soll, sodass sich die Bedieneinheit in einer für den Fahrer günstigen Position in der Mittelkonsole befindet und die Anzeige für die Menüinhalte in möglichst großer Distanz zum Fahrer angebracht werden kann. Durch die Trennung von Anzeige und Bedienung können auch neuartige Anzeigeorte für die Infotainmentinhalte wie beispielsweise ein Head-Up-Display, wie von Milicic et al. (2009) vorgeschlagen, realisiert werden. Dadurch soll den Rahmenbedingungen 1 bis 3 aus Kapitel 2.5 Rechnung getragen werden. Die Rahmenbedingungen 4 und 5 zusammen mit Bedingung 7 schränken den Lösungsraum auf eine 2-dimensionale intelligente freie Eingabefläche ein. Durch die zuvor festgesetzte Rahmenbedingung auf die abgesetzte Bedienung zu bauen, ist die Lösung durch ein Touchpad vorgegeben. Eine herkömmliche aus dem Notebookbereich bekannte Touchpadbedienung für den gesamten Infotainmentumfang erfüllt jedoch nicht die Rahmenbedingung 6 der direkten Manipulation, welche durch einen Touchscreen gegeben ist und dessen größten Vorteil einer absolut kompatiblen Eingabe kennzeichnet. Um dieser Bedingung ebenfalls gerecht zu werden und den Vorteil des Touchscreens ebenfalls in dieses Bedienkonzept zu integrieren, sollen die auf dem Display angezeigten Menüinhalte durch Erhebungen auf der Touchpadoberfläche erföhlbar gemacht werden.



*Abbildung 3-2: Konzeptidee des haptischen Touchpads. Oben: Menüanzeige; Unten: Haptische Touchpadoberfläche*

D.h. die Touchpadoberfläche ist eine haptische Repräsentation der optischen Darstellung auf dem Display, indem Buttons als erföhlbare erhabene Elemente auf der Touchoberfläche erscheinen und auch durch Drücken manipuliert werden können. Die Touchoberfläche passt

sich situativ immer dem aktuellen Displayinhalt und somit dem Menükontext an (siehe Abbildung 3-2: Konzeptidee des haptischen Touchpads. Oben: Menüanzeige; Unten: Haptische Touchpadoberfläche).

Aus technischer Sicht hat Doerrer (2002) diese Herausforderung bereits versucht zu beleuchten. Eine für den automotiven Serieneinsatz taugliche Realisierung bedarf eines sehr großen Entwicklungsaufwandes und erheblicher Kosten. Zudem ist zum Zeitpunkt der Durchführung dieses Projekts eine Machbarkeit aus technischer Sicht für einen Serieneinsatz nicht garantiert.

Die hier vorliegende Arbeit soll daher zunächst in Anlehnung an die Vorgehensweise der Ergonomie den möglichen Benefit eines solchen Bedienelements aus Sicht des Nutzers abschätzen, um so die eventuellen nachfolgenden hohen Entwicklungskosten rechtfertigen zu können. Daher geht es bei der Entwicklung nicht darum einen für den automotiven Serieneinsatz taugliche Technologie zu finden, sondern die beschriebene Konzeptidee überhaupt real erlebbar zu machen und so eine Einbeziehung des potenziellen Nutzers durch Probandenversuche in einer sehr frühen Phase der Konzeptentwicklung zu ermöglichen. Ziel ist es, das Potenzial des Bedienkonzepts Touchpad mit einer vorevaluierten Ausprägung hinsichtlich Interaktionsstrategien und Rückmeldeformen anhand eines Probandenvergleichs mit einer herkömmlichen Bedienalternative abzuschätzen. Der dafür realisierte technische Aufbau wird im Folgenden näher beschrieben. Des Weiteren werden Interaktionskonzepte zur Bedienung der in Kapitel 2.3.2 gefundenen Aufgabetypen eruiert sowie alternative Ausprägungen von Bedienlogik und Rückmeldestrategien in Anlehnung an die Gestaltungsempfehlungen aus Kapitel 2.5 hergeleitet.

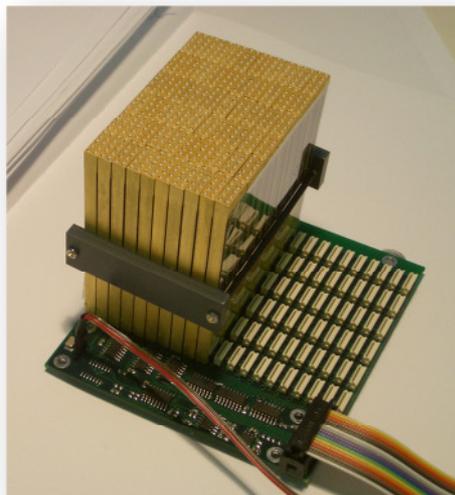
Im letzten Abschnitt dieses Kapitels werden für nachfolgende Untersuchungen Fragestellungen formuliert, deren Beantwortung eine Potenzialabschätzung dieses Konzepts ermöglichen.

### ***3.2.1 Technischer Hardwareaufbau***

Die konzeptionelle Entwicklung und der technische Aufbau des Prototypen lässt sich in Peters (2008) und Spies et al. (2009b) nachlesen. Im Folgenden soll auf zentrale Aspekte näher eingegangen werden. Die technische Herausforderung kann in drei Punkte zusammengefasst werden:

- Haptisch erfühlbare variable Oberfläche
- X, Y – Detektion der Fingerposition auf dem Touchpad
- Detektion der Betätigungskraft in Z-Richtung zur Realisierung der Tastendruckfunktion

Der erste Punkt der haptisch anpassbar erfühlbaren Touchpadoberfläche wird durch die sogenannte Braille Technologie realisiert (vgl. Hyperbraille, 2010). Dabei handelt es sich um Displays für den Blindensektor, um nicht- sehenden Menschen das Lesen von Ebooks oder das Surfen im Internet zu ermöglichen. Die im Rahmen des hier realisierten Prototyps verwendete Technik der Firma Metec AG besteht aus einem modulartigen steckbaren Baukastenprinzip, indem jedes Einzelmodul aus einer 2x5 Matrix von Einzelpins besteht. Die Pins sind individuell durch Piezoaktuatorik ansteuerbar und können um 0,7mm aus der Oberfläche angehoben werden. Somit ist der Schwelle der Erfühlbarkeit nach Schmidt (1985) deutlich Rechnung getragen. Die einzelnen Pins sind in der Matrix in einem Abstand von 2,5 mm angeordnet. Somit ist auch das haptische Auflösungsvermögen am Zeigefinger von ca. 2mm (vgl. Schmidt, 1985; Müller-Limmroth, 1981) berücksichtigt. Insgesamt weisen die einzelnen 2x5 - Module somit eine Oberfläche von 5x12,5 mm auf. Die Module werden auf einer Platine wie in Abbildung 3-3 zu sehen aneinandergereiht, sodass insgesamt eine Touchpadfläche von 10x7,5 cm entsteht was einer haptischen Auflösung von 40x30 Pins entspricht.



*Abbildung 3-3: Platinsteckprinzip der Metec- Braille Module (Peters, 2008)*

Die Detektion der Fingerposition in X- und Y-Richtung wird durch einen Infrarotrahmen realisiert, welcher so über der Touchfläche positioniert wird, dass die ausgefahrenen Pins gerade nicht die Lichtstrahlen des IR-Rahmens unterbrechen.

Die Detektion der Tastenbetätigung wird realisiert indem die gesamte Braille-/ IR-Einheit auf drei sogenannten **Force- Sensing- Resistive (FSR)** – Sensoren gelagert wird. Um den realistischen Eindruck zu vermitteln, dass eine Taste wirklich gedrückt wurde, werden die Pins, welche die Taste darstellen, bei Überschreiten einer gewissen Betätigungskraft, eingefahren. Anschließend passt sich die Oberfläche haptisch der neuen Menüoberfläche

an. Diese komplette Einheit bestehend aus den drei Komponenten Braille, IR-Rahmen und FSR-Sensoren ist in Abbildung 3-4 zu sehen.

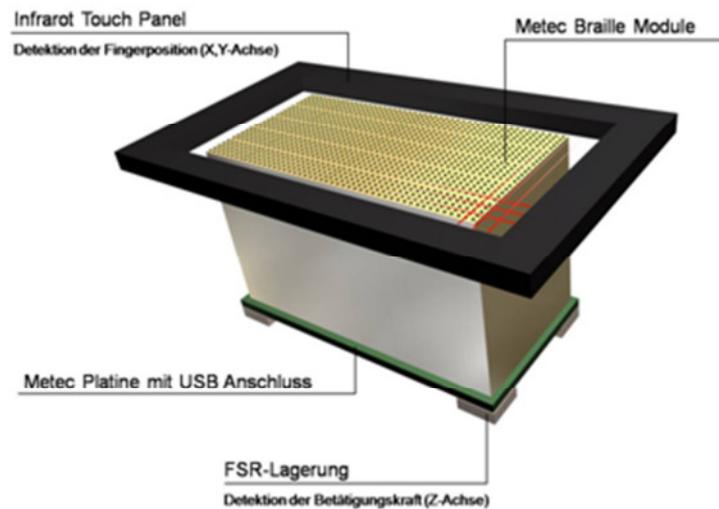


Abbildung 3-4: Braille-, IR-,FSR-Einheit (Peters, 2008)

Das Bedienelement wird in Form eines Tischaufbaus fertiggestellt, wie er in Abbildung 3-5 zu sehen ist.

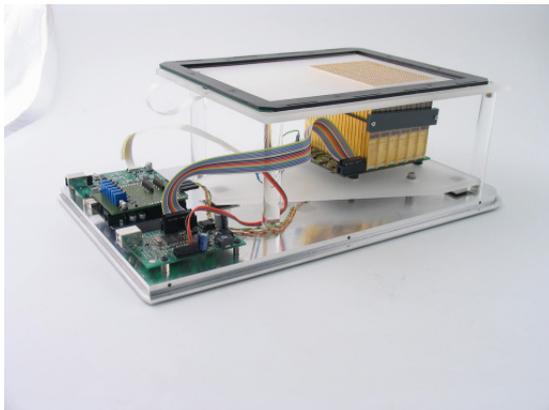
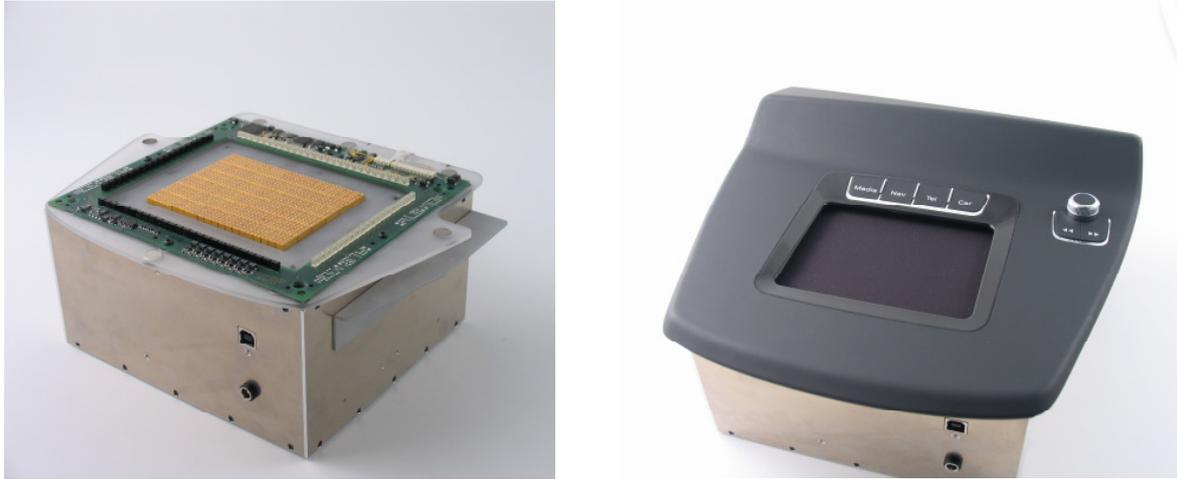


Abbildung 3-5: Prototyp Haptisches Touchpad 1; links: Innenleben; rechts: außen

Im weiteren Verlauf dieses Projekts wird ein zweiter Prototyp aufgebaut (vgl. Peters et. al, 2010). Dieser hat das primäre Ziel in die Mittelkonsole eines Realfahrzeugs verbaut zu werden. Zweck dieses Aufbaus ist es, für einen Vergleich mit einem ausgereiften Serienbedienelement im Rahmen einer Probandenstudie die technische Realisierbarkeit dem Probanden zu zeigen sowie durch ein realistisches Design die Verfälschung subjektiver Ergebnisse durch stark unterschiedliche Designstände zu verringern. Das technische Prinzip des ersten Prototypen wird wieder verwendet. Es wird jedoch das äußere Erscheinungsbild verändert sowie der Platzbedarf des technischen Innenlebens auf ein Minimum reduziert, um den Einbau in ein Realfahrzeug zu ermöglichen (siehe Abbildung 3-6).



*Abbildung 3-6: Prototyp Haptisches Touchpad 2; links: Innenleben; rechts: außen*

Im folgenden Abschnitt sollen nun für die in Kapitel 2.3.2 identifizierten Aufgabentypen Interaktionsformen für ein Touchpad gefunden werden.

### **3.2.2 Interaktionskonzepte**

Neben der technischen Entwicklung muss festgelegt werden, wie Nutzer die in Kapitel 2.3.2 definierten Aufgabentypen bedienen sollen. Da es sich um ein völlig neues Bedienelement handelt, das in dieser Form weder im Automotivbereich, noch in anderen Branchen eingesetzt wird, ist sichergestellt, dass es unter den Nutzern noch keinerlei Vorwissen zur Bedienung gibt. Deshalb müssen sich in Anlehnung an die in Kapitel 2.2.2.2 beschriebenen Theorie der mentalen Modelle (vgl. Dutke, 1994), die Interaktionsformen für die jeweiligen Aufgabentypen an ähnlichen, vergleichbaren, bereits existierenden Bedienkonzepten orientieren, um Analogien zu vorhandenen Schemata der Nutzer zu wecken.

Die alphanumerische Eingabe ist bereits eindeutig definiert und validiert (vgl. Hamberger, 2010) und ist deshalb in den aufgebauten Prototypen nicht integriert und wird im Rahmen dieser Arbeit auch nicht weiter untersucht. Für folgende vier Aufgabentypen müssen im Weiteren Interaktionsformen für ein haptisches Touchpad gefunden werden:

- Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen
- Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen
- Verschiebe-/ Einstellaufgaben 1-dimensional
- Verschiebe-/ Einstellaufgaben 2-dimensional

Als zweidimensionale Interaktion auf einem Touchpad wird im Sinne einer direkten Manipulation eine direkte X,Y- Bewegung als Interaktionsmittel festgelegt. Für eindimensionale Aufgaben müssen auf einer zweidimensionalen Bedienfläche Interaktionsmöglichkeiten gefunden werden. Bei einer Touchscreenbedienung werden klassische eindimensionale Interaktionselemente wie beispielsweise Drehrad, Tasten oder

Schieberegler (siehe Kapitel 2.4) als grafische Widgets dargestellt. Da durch das haptische Touchpad eine direkte Manipulation ermöglicht werden soll, werden zu diesen grafischen Widgets taktile Pendants (im weiteren T-Widgets genannt) definiert. In Anlehnung an die Klassifikation nach Boff & Lincoln (1988) werden für eine diskrete und eine kontinuierliche Manipulation sowie für translatorische und rotatorische Bewegungen drei Gruppen von T-Widgets definiert:

- Taste
- Schieberegler
- Drehrad

Mit diesen T-Widgets werden für die vier verschiedenen Aufgabentypen unter Zuhilfenahme von existierenden Bedienmetaphern Interaktionskonzepte gebildet. Um dann im weiteren Verlauf diese Interaktionsformen in Probandenuntersuchungen anhand von realen Storyboards testen zu können, wird den abstrakten Aufgabentypen ein konkretes Umsetzungsbeispiel zugeordnet.

Die Auswahl Aufgabe  $\leq 9$  Optionen wird durch eine Menüauswahl mit sechs Optionen repräsentiert, welche in einer 2x3 Matrix angeordnet sind. Dies entspricht einer typischen Menüauswahl wie sie in derzeitigen Infotainmentmenüs vorkommt. Als Metaphern für die Wahl des Interaktionsmittels für eine solche Menüauswahl kann man sich zum einen, aufgrund der Positionierung des Touchpads in der Mittelkonsole, an klassischen Dreh-Drück-Steller Lösungen derzeitiger Infotainmentsysteme bedienen. Naheliegender könnte auch sein, dass die Menüauswahl über das haptische Touchpad eher das Schema einer Touchscreenbedienung beim Nutzer weckt, wie sie ebenfalls in derzeitigen Infotainmentsystemen angeboten wird bzw. mittlerweile von nahezu jedermann bei Smartphones, wie dem Apple iPhone, genutzt wird. Beide Interaktionsformen, sowie deren zugehörige Metaphern, sind in Abbildung 3-7 zusammengefasst.

Die Auswahl Aufgabe  $> 9$  Optionen wird als klassische Liste repräsentiert, da dies die derzeit gängige Form ist, große Datenmengen zur Auswahl zu stellen. Die alternative 2-dimensionale Darstellung in Form einer Matrixanordnung wird hier nicht näher betrachtet, da die Interaktionsform durch die Betrachtung der Menüauswahl bereits abgedeckt ist. Wie sich Listen im Vergleich zu Matrixanordnungen zur Darstellung größerer Datenmengen eignen kann Broy (2007) entnommen werden.

		Interaktionsmetaphern Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen (Menüauswahl)	
T-Widget		Drehrad	Taste
Metaphern			
	<i>Infotainment Dreh-Drück-Steller</i>	<i>Apple iPhone</i>	<i>Infotainment Touchscreen</i>
Touchpad-Interaktion			

Abbildung 3-7: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen

Zur Interaktion mit der Liste werden vier Interaktionsmittel, wie in Abbildung 3-8 zu sehen ist, vorgeschlagen. Die Auswahl der Liste erfolgt in allen vier Fällen mittels erhabenen Buttons analog zur Auswahl für weniger als 9 Optionen. Die haptischen Listenelemente bleiben bei Verschieben der Liste auf dem Touchpad, jedoch ändert sich deren Belegung in Abhängigkeit der sichtbaren Listenelemente auf dem Bildschirm. In diesem Fall wird ein Interaktionselement gesucht, um den Auswahlbereich zu verschieben. Dies bedeutet, dass der Auswahlbereich, d.h. die Liste, zu verschieben sein muss.

		Interaktionsmetaphern Auswahlaufgaben > 9 Optionen (Listenauswahl)			
T-Widget		Drehrad	Taste	Schieber (relativ)	Schieber (absolut)
Metaphern	 				
	<i>Infotainment Dreh-Drück-Steller</i> <i>Apple iPod</i>	<i>Infotainment Touchscreen</i>	<i>Laptop Touchpad</i>	<i>Infotainment Touchscreen</i>	
Touchpad-Interaktion					

Abbildung 3-8: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Auswahlaufgaben > 9 Optionen

Hierfür wird eine kontinuierliche Kreisbahn in Anlehnung an herkömmliche Dreh-Drücksteller-Systeme, zwei diskrete Tasten um die Liste zeilenweise nach oben oder unten

zu bewegen, sowie ein kontinuierlicher Schieber mit absoluter und einer mit relativer Bedienlogik vorgeschlagen. Die diskrete Tastenvariante sowie der absolute Schieber finden meist, oft auch in redundanter Kombination, ihren Einsatz bei Touchscreensystemen, während die relative Schiebervariante bei Laptouchpads zum Einsatz kommt. Absoluter Schieber bedeutet, dass die Länge des Schiebereichs die komplette Listenlänge repräsentiert und sich der Auswahlbereich in Relation zur Gesamtliste gerade an der Stelle befindet, wo der Schieberegler steht. Die Liste kann auch nur bewegt werden, wenn der Schieberegler direkt angefasst wird. Beim relativen Schieber hingegen gibt es keine Erhöhung als Positionsrückmeldung. Vielmehr kann die Liste unabhängig von der Berührposition in Relation zur Fingerbewegung verschoben werden.

Für die eindimensionale Verschiebe-/ Einstellaufgabe können dieselben Interaktionsmittel verwendet werden wie für die Auswahlaufgabe > 9 Optionen. Diese und die dazugehörigen Metaphern sind in Abbildung 3-9 dargestellt.

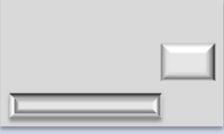
Interaktionsmetaphern Verschiebe-/Einstellaufgabe 1-dimensional (Einstellung Helligkeit der Navigationskarte)				
T-Widget	Drehrad	Taste	Schieber (relativ)	Schieber (absolut)
Metaphern	 <p>Infotainment Dreh- Drück-Steller</p>	 <p>Infotainment Touchscreen</p>	 <p>Laptop Touchpad</p>	 <p>Infotainment Touchscreen</p>
Touchpad-Interaktion				

Abbildung 3-9: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional

Zuletzt bleibt noch die zweidimensionale Verschiebe-/Einstellaufgabe. Hier wird als repräsentatives Beispiel das Verschieben der Karte verwendet. Als Interaktionsmittel wird hier zum einen in Anlehnung an die Forderung nach Rühmann (1993), dass die Dimensionalität der Interaktionsform der der Aufgabe entsprechen sollte, ein direktes Verschieben der Karte auf dem Touchpad vorgeschlagen. Des Weiteren kommen sowohl bei Automotive Touchscreensystemen als auch beispielsweise PC-Anwendungen auch eindimensionale Interaktionsmittel zum Einsatz, um derartige zweidimensionale Aufgaben wie das Verschieben der Navigationskarte durchzuführen. Die Lösung mit den Schiebern für

horizontale und vertikale Bewegungen eines Auswahlbereichs ist von Officeanwendungen wie beispielsweise MS- Excel oder MS- Powerpoint bekannt. Die Variante mit acht diskreten Tasten an den Enden für die Verschiebung in die jeweilige Richtung wird so in diversen Fahrzeug- Touchscreennavigationen unter anderem bei Lexus angeboten. Die drei Interaktionsvarianten für die zweidimensionale Verschiebe-/Einstellaufgabe sind in Abbildung 3-10 zusammengefasst dargestellt.

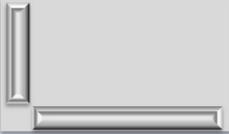
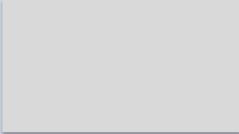
Interaktionsmetaphern Verschiebe-/Einstellaufgabe 2-dimensional (Verschieben der Navigationskarte)			
T-Widget	Taste	Schieber	X,Y- Fläche
Metaphern	 <i>Infotainment Touchscreen</i>	 <i>Microsoft Excel</i>	 <i>Google Maps Mobil</i>
Touchpad-Interaktion			

Abbildung 3-10: Interaktionsmetaphern zum Aufgabentyp Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional

### 3.2.3 Rückmeldestrategien und Bedienlogik

Im vorherigen Kapitel wurden, in Anlehnung an die in Kapitel 2.5 aufgestellten Leitlinien für die Gestaltung eines Infotainmentbedienelements, Interaktionsmetaphern zusammengestellt.

Der haptischen Informationsübermittlung wird mit der haptisch konturierten Oberfläche Rechnung getragen. Jedoch bleibt die Frage offen, wie bereits eingangs in Kapitel 3.2 erwähnt, welchen Benefit diese haptisch veränderliche Oberfläche im Vergleich zu einem herkömmlichen Laptotouchpad hat, dessen Herstellung wesentlich kostengünstiger ist und welches bereits für den Serieneinsatz im Automobil zur Verfügung steht (vgl. Hamberger, 2009). Für den im Rahmen dieses Projekts aufgebauten Prototyp wurde durch Verwendung der Brailletechnologie eine sehr hohe haptische Auflösung verwendet. Dies ermöglicht weitere Informationsgebung durch die Haptik beispielsweise durch Formkodierung von taktilen Elementen bzw. T-Widgets. Durch die 30x40 Braille- Pins welche individuell ansteuerbar sind, kann jede beliebige Form auf der Touchoberfläche dargestellt werden. Je

höher die technische Auflösung ist, desto teurer und komplexer ist die Entwicklung und Herstellung eines solchen Bedienelements. Für gewöhnliche Rechtecksformen, wie sie für die taktilen Elemente im vorherigen Kapitel vorgeschlagen wurden, würde gegebenenfalls auch eine geringere haptische Auflösung ausreichen.

Des Weiteren ist anzudenken, in Anlehnung an die Touchpadbedienung bei Notebooks, die Fingerposition auf dem Touchpad in Form eines Cursors auf dem Display darzustellen, um zum einen eine weitere Rückmeldung zur schnelleren Orientierung zu geben und zum anderen durch die Metapher Cursor eine Analogie zur Touchpadbedienung zu bilden.

Zuletzt stellt sich noch die Frage nach der Bedienlogik. Eine Touchscreenbedienung ist absolut, was bedeutet, dass der Touchscreen genau an der Stelle bedient wird, an der der Finger diesen berührt. Eine Touchpadbedienung am Laptop ist relativ. D.h. unabhängig davon, wo auf dem Touchpad der Finger ist, wird der Cursor auf dem Display in Relation zu der Fingerbewegung auf dem Touchpad verschoben.

Beide Bedienlogiken lassen sich mit Cursor bei einem Touchpad realisieren. Eine relative Bedienung macht jedoch ohne optische Rückmeldung durch einen Cursor keinen Sinn. Mit einer haptisch konturierten Oberfläche ist ebenfalls nur eine absolute Bedienung möglich und sinnvoll, da die haptischen Formen ein direktes Mapping zu den auf der Anzeige dargestellten Inhalten realisieren sollen.

### 3.3 Untersuchungsbedarf

Für das vorliegende Bedienelement ergeben sich zusammengefasst nun einige Fragestellungen, welche den Untersuchungsbedarf dieser Arbeit darstellen. Wie die vorherigen Kapitel gezeigt haben, gibt es hinsichtlich Bedienlogik, Rückmeldestrategien und Interaktionsformen für die Bedienung der verschiedenen Aufgaben Möglichkeiten, welche aus theoretischer Sicht alle ihre Berechtigung aufweisen. Bevor das hier vorliegende Bedienelement mit herkömmlichen Marktlösungen in Probandentests verglichen wird, ist es daher nötig, die für eine Touchpadbedienung im Fahrzeugkontext richtigen Interaktionsformen, Rückmeldestrategie und Bedienlogik zu finden, um zu vermeiden, dass ein schlecht gestalteter Prototyp mit einem ausgereiften Serienprodukt verglichen wird und aufgrund dessen schlecht abschneidet.

Bezüglich der **Interaktionsformen** zur Bedienung der jeweiligen Aufgabentypen stellen sich die Fragen:

1. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen?
2. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen?

3. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional?
4. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional?

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob die Haptik den technischen und finanziellen Herstell- und Entwicklungsaufwand rechtfertigt und wirklich einen Mehrwert für die Bedienung im Vergleich zu einem herkömmlichen Touchpad bringt. Außerdem muss geklärt werden bis zu welchem Grad eine haptisch konturierte Oberfläche einen Mehrwert hat und in welchem Detailgrad Informationen übermittelt werden können. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob sich ein Cursor, analog zu einer Notebook- Touchpadbedienung, im Fahrzeug eignet. All diese Fragen werden unter dem Begriff **Orientierungshilfen** zusammengefasst aufgelistet:

5. Bietet eine haptisch konturierte Oberfläche einen Mehrwert im Vergleich zu einer glatten Touchoberfläche?
6. Können durch haptische Formen Kontextinformationen übermittelt werden, um dadurch den visuellen Kanal zu entlasten?
7. Muss eine Touchpadbedienung für ein Fahrzeuginfotainmentsystem einen Cursor zur Visualisierung der Fingerspur haben?

Zu guter Letzt stellt sich die Frage nach der **Bedienlogik** für eine Touchpadbedienung im Fahrzeug:

8. Muss ein Touchpad zur Menübedienung im Fahrzeug eine relative oder eine absolute Bedienlogik haben?

Die Beantwortung dieser acht Forschungsfragen durch Probandentests, ermöglicht eine Auslegung des Bedienkonzepts „Touchpad“ für eine Menübedienung während der Fahrt als Nebenaufgabe. Des Weiteren stellt sich die Frage, welches Potenzial ein solches Touchpad im Vergleich zu herkömmlichen Bedienalternativen hat. Hierbei ist vor allem zu klären, ob sich jeder Aufgabentyp mit demselben Bedienelement gleich gut bedienen lässt, oder ob es besser ist, eine Kombination von Bedienelementen für die jeweiligen Aufgabentypen zu haben. Die zentralen Fragen zur generellen Touchpadbedienung sind demnach:

9. Können sämtliche Aufgabentypen der Infotainmentmenübedienung mit einem Touchpad bedient werden?
10. Ist eine Kombination aus mehreren Bedienelementen für die jeweiligen Aufgabentypen oder die gesamte Menübedienung mit einem Bedienelement besser?

Die 10 Fragen zu Interaktionsformen, Orientierungshilfen und Bedienlogik für ein Touchpad sowie generell zur Menübedienung im Fahrzeug mit einem Touchpad stellen den Untersuchungsgegenstand für den weiteren Verlauf der Arbeit dar.

## 4 Methodisches Vorgehen

Um die Fragestellungen aus Kapitel 3.3 fundiert beantworten zu können, bedient man sich in der Wissenschaft einer strikten Vorgehensweise. Ein Beispiel für eine allgemeine Fragestellung aus dieser Arbeit, welche sich auf Basis der vorangegangenen Analysen ergibt, lautet wie folgt:

*„Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional?“*

Um eine solche Frage beantworten zu können, muss basierend auf den theoretischen Überlegungen aus Kapitel 2 ermittelt werden, welche allgemeinen Einflussfaktoren sich zwischen den Interaktionsvarianten unterscheiden und einen Effekt auf das Nutzerverhalten haben können. Dies muss dann in wissenschaftlichen Hypothesen eindeutig formuliert werden, sodass dies mittels objektiver Kennwerte operationalisiert werden kann. Im nächsten Schritt muss dann definiert werden, durch welche messbaren Kennwerte dieses Nutzerverhalten in den relevanten Situationen beschrieben werden kann und somit eine eindeutige Prüfung der Hypothese ermöglicht wird. Aus den Grundlagen der empirischen Forschung kann sodann eine geeignete experimentelle Vorgehensweise zur wissenschaftlichen Hypothesenprüfung hergeleitet werden. Um letztlich die Hypothese zu verifizieren oder falsifizieren, bedient man sich geeigneter statistischer Vorgehensweisen, um die gemessenen Kennwerte in eine repräsentativen Aussage zu überführen.

Das folgende Kapitel beschreibt schrittweise dieses Vorgehen zur Untersuchung der im Rahmen dieser Arbeit zu beantwortenden Fragestellungen. Die theoretischen Grundlagen zur beschriebenen Vorgehensweise sind der einschlägigen Literatur zur empirischen Verhaltensforschung und Statistik entnommen (vgl. hierzu Bortz & Döring, 2006; Bortz, 2005; Backhaus et al., 2008).

### 4.1 Hypothesengenerierung

Die in Kapitel 3.3 im Rahmen der Konzeptentwicklung identifizierten Fragestellungen müssen nun auf Basis der theoretischen Betrachtung in wissenschaftliche Hypothesen überführt werden, um in einer geeigneten Untersuchung mittels geeigneter Kennwerte objektiviert und so verifiziert bzw. falsifiziert werden zu können.

In der Statistik unterscheidet man zwischen Zusammenhangs- und Unterschiedshypothesen. Zusammenhangshypothesen werden dabei mittels der Korrelationsstatistik, Unterschiedshypothesen mit Hilfe der sogenannten Inferenzstatistik untersucht. Den Untersuchungen in dieser Arbeit werden ausschließlich Unterschiedshypothesen zugrunde gelegt. In Abhängigkeit der theoretischen Erklärung der Annahme kann die Hypothese bereits so formuliert werden, dass das Ergebnis in eine bestimmte Richtung erwartet wird. Hierbei wird von einer gerichteten Hypothese gesprochen. Kann aufgrund mangelnder oder widersprüchlicher theoretischer Vorkenntnisse keine Richtung des Ergebnisses prognostiziert werden, so werden ungerichtete Hypothesen formuliert.

Eine Besonderheit der Hypothesenprüfung besteht darin, dass stets von einem Hypothesenpaar, bestehend aus einer Alternativhypothese  $H_1$  und einer Nullhypothese  $H_0$  ausgegangen wird. Dabei beschreibt die Alternativhypothese, dass bezüglich mehrerer Merkmalsausprägungen Unterschiede zu erwarten sind, die Nullhypothese hingegen geht immer vom gegenteiligen Effekt aus. Ein Beispiel für die ungerichtete Formulierung der  $H_1$  und der  $H_0$  aus der hier vorliegenden Arbeit wäre:

$H_1$ : Die Art der Interaktionsform auf einem haptischen Touchpad wirkt sich unterschiedlich auf die Bedienleistung aus.

$H_0$ : Die Art der Interaktionsform auf einem haptischen Touchpad hat keinen Einfluss auf die Bedienleistung

Diese ungerichteten Hypothesen werden durch die Mittelwerte der erfassten Merkmale quantifiziert und lassen sich wie folgt in einen mathematischen Zusammenhang überführen:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Um diesen mathematischen Zusammenhang herstellen zu können, müssen die Hypothesen mittels geeigneter Kennwerte objektiviert werden. Das folgende Kapitel beschreibt, welche Kennwerte sich im Rahmen dieser Arbeit zur Operationalisierung des Nutzerverhaltens im relevanten Kontext eignen.

## 4.2 Kennwerte zur Hypothesenprüfung

Erkenntnisinteresse von Untersuchungen sind für gewöhnlich Auswirkungen unterschiedlicher Ausprägungen von Merkmalen aufeinander. Die Menge aller Ausprägungen eines Merkmals wird als Variable bezeichnet. Dabei lässt sich zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen unterscheiden. Das Ziel ist nach Bredenkamp (1969) herauszufinden, ob durch gezielte Variierung der experimentellen Bedingung

(unabhängige Variable) die abhängigen Variablen kovariieren. In der hier vorliegenden Arbeit könnte die unabhängige Variable beispielsweise die Art der Interaktionsform und die abhängige Variable die Bedienleistung sein. Sämtliche erhobenen abhängigen Variablen werden im folgenden Kapitel nun erklärt. Durch die Messung dieser abhängigen Variablen muss auf die Eignung der unabhängigen Variable zur Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt geschlossen werden können. Für eine solche Eignung werden folgende zwei Definitionen festgelegt:

- Die Bedienvariante ist gut geeignet, wenn die Ablenkung von der Fahraufgabe gering ist
- Die Bedienvariante ist gut geeignet, wenn der Bedienkomfort für die Nebenaufgabe hoch ist

Für diese beiden Definitionen müssen nun Messgrößen für das Nutzerverhalten gefunden werden, welche einen Rückschluss auf geringe Ablenkung und hohen Bedienkomfort zulassen. Hierfür werden sowohl objektive Verhaltenskennwerte als auch subjektive Kennwerte erhoben. Diese sind zusammengefasst Abbildung 4-1 zu entnehmen. Im Folgenden werden die einzelnen Größen und deren Bedeutung für die Messung von Ablenkung und Bedienkomfort beschrieben.

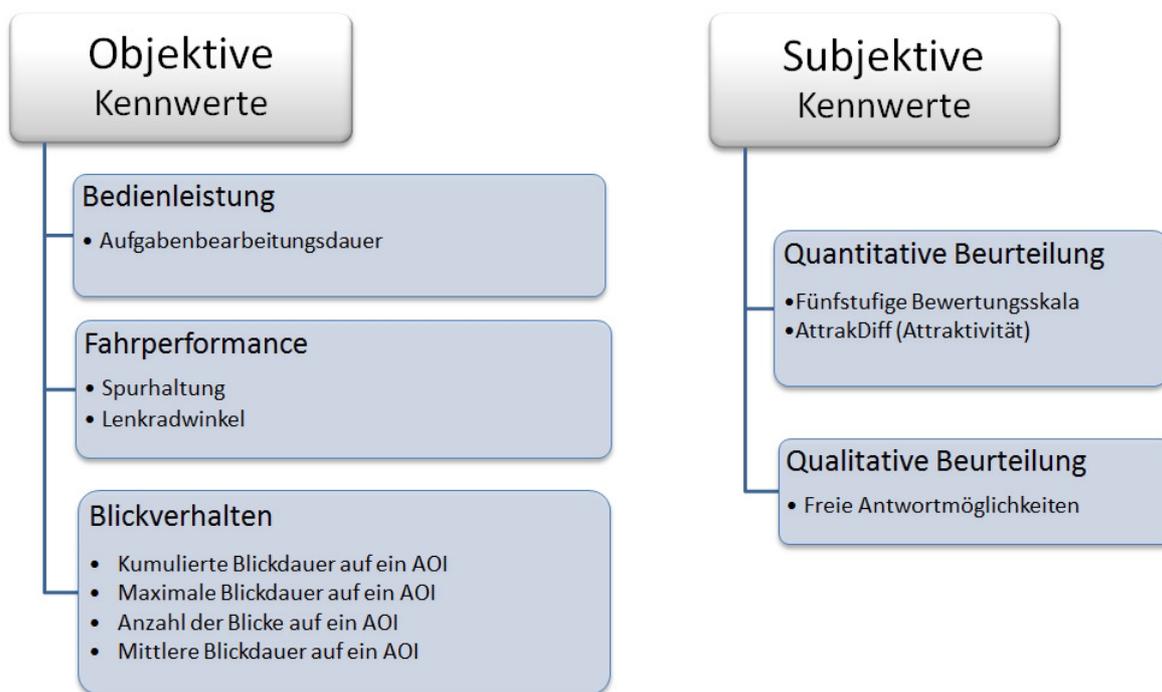


Abbildung 4-1: In den Fahrsimulatorstudien zur Hypothesenprüfung erhobene Kennwerte

#### 4.2.1 Objektive Kennwerte

Nachstehend sind die objektiven Kennwerte erläutert, welche zur Beurteilung des Bedienkomforts und der Ablenkungswirkung der einzelnen Systemvarianten während der Fahrt herangezogen werden. Die Tatsache, dass Bedienschwierigkeiten anhand dieser

Kennwerte nachgewiesen werden können, kann durch die Studie von Horna et. al (2009) belegt werden. Die Kennwerte lassen sich in Kategorien zur Bedienleistung, zur Fahrperformance und zum Blickverhalten einteilen.

#### **4.2.1.1 Bedienleistung**

Als Maß für die Bedienleistung der Nebenaufgabe wird die mittlere Bearbeitungsdauer der Bedienung vom Start bis zur erfolgreichen Beendigung der Aufgabe gemessen. Start- und Endzeitpunkt der relevanten Aufgaben werden jeweils durch entsprechende Events in der Bediensimulation automatisch gesetzt. Ausgangslage ist immer ein von der jeweiligen Bedienaufgabe unabhängiger Startbildschirm. Die Probanden starten durch eine ebenfalls von der Bedienaufgabe unabhängige Aktion die Aufgabe selbstständig, wodurch garantiert ist, dass die Zeit für die Aufgabenvorbereitung bei jedem Probanden gleichermaßen mit gemessen wird. Es wird davon ausgegangen, dass bei gleicher Aufgabenstellung und gleichen Bedingungen eine kürzere Aufgabenbearbeitung ein Hinweis auf höheren Bedienkomfort ist.

#### **4.2.1.2 Fahrperformance**

Als Kennwerte zur Beurteilung des Einflusses der Nebenaufgabe auf die Fahrperformance werden folgende laterale Kennwerte herangezogen:

- Spurhaltebasierte Maße
- Lenkradbasierte Maße

Als Maß für die Güte der Querführung während der Bearbeitung der Nebenaufgabe wird die Standardabweichung der Spurposition ermittelt, welche angibt wie gut der Fahrer während der Aufgabenbearbeitung in der Lage ist, seine Fahrspur zu halten. Eine erhöhte Standardabweichung des Lenkradwinkels ist laut Liu et al. (1999) ebenfalls ein Indiz für eine schlechte Spurhaltung und wird daher als zweiter Wert für die Güte der Querführung herangezogen. Beide Kennwerte werden als Indiz für Ablenkung durch die Nebenaufgabe herangezogen.

#### **4.2.1.3 Blickverhalten**

Der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsfokussierung und Blickrichtung ist in der Fachliteratur an zahlreichen Stellen zu finden (Cohen & Hirsig, 1990; Bubb, 2000; Johannsen, 1993; Graf & Krüger, 1989). Um Aufmerksamkeitsbindung durch die Nebenaufgabe und die daraus resultierende Ablenkung des Fahrers von der Fahraufgabe ermitteln zu können, werden folgende Kennwerte verwendet, welche auf den Dokumenten EN ISO 15007-1, ISO/TS 15007-2 und SAE J-2396 basieren:

- Kumulierte Blickdauer auf ein Area of Interest (AOI)
- Anzahl an Blicken auf ein AOI
- Maximale Blickdauer auf ein AOI
- Mittlere Blickdauer auf ein AOI

Für die Gesamtblickdauer auf ein AOI werden alle Einzelblickdauern auf das entsprechende AOI innerhalb des Beobachtungszeitraums aufaddiert. Zur Bestimmung der Anzahl an Blicken wird aufaddiert, wie oft ein Proband innerhalb einer Aufgabe auf das AOI geblickt hat. Die maximale Blickdauer kennzeichnet die maximale Einzelblickdauer auf ein AOI innerhalb eines Beobachtungszeitraums. Der Quotient aus Gesamtblickdauer durch die Anzahl der Blicke auf ein AOI kennzeichnet die mittlere Blickdauer. Um die Ablenkung durch das Blickverhalten beurteilen zu können, ist es wichtig alle Kennwerte zu betrachten. Dabei beschreiben die Anzahl der Blicke und die kumulierte Blickdauer das aggregierte Blickverhalten über die gesamte Aufgabenbediendauer hinweg. Die maximale und die mittlere Einzelblickdauer beschreiben die Qualität der Einzelblicke. Vor allem die mittlere Einzelblickdauer wird als sicherheitsrelevant eingestuft. In den aktuellen AAM-Guidelines wird gefordert, dass diese über das 85. Perzentil des Probandenkollektivs hinweg einen Grenzwert von 2 Sekunden nicht überschreitet (vgl. AAM, 2006).

### **4.2.2 Subjektive Beurteilung**

Eine subjektive Bewertung der verschiedenen Systemvarianten wird von den Probanden zu den Kategorien Ablenkung, Bedienkomfort, sowie Gefallen und Akzeptanz erfragt. Hierzu kommen in Abhängigkeit der Fragestellungen der einzelnen Studien verschiedene Befragungstechniken zum Einsatz. Diese werden nachstehend einzeln erläutert. Zusätzlich zu den jeweiligen quantitativen Befragungsmethoden werden mit den Probanden versuchsbegleitende Interviews geführt und qualitative Aussagen generiert. Diese werden im Bedarfsfall zu Einzelanalysen bzw. zur Deutung der Ergebnisse herangezogen. Sämtliche Fragebögen sind dem Anhang dieser Arbeit zu entnehmen.

#### **4.2.2.1 Fünfstufige Bewertungsskala**

Unmittelbar nach einer bearbeiteten Aufgabe werden die Probanden gebeten, die jeweilige Systemvariante auf einer fünfstufigen Skala absolut, bezüglich bestimmter Aussagen, zu bewerten. Die Skala reicht von „++“ für „stimme ich voll zu“ bis „--“ für „stimme ich gar nicht zu“. Die entsprechenden Aussagen hängen von den zu bewertenden Varianten ab und werden deshalb zu den jeweiligen Studien gesondert erläutert.

### 4.2.2.2 AttrakDiff

Um eine Einschätzung über die empfundene Attraktivität der verglichenen Varianten zu erhalten, wird die Technik des AttrakDiff verwendet (Hassenzahl et al., 2003). Diese basiert auf dem Prinzip des semantischen Differenzials. Dem Probanden werden unterschiedliche Adjektivpaare vorgelegt, um dessen Wahrnehmung des Systems zu erheben. Hierbei wird in verschiedenen Beurteilungsdimensionen gemessen.

Die *pragmatische Qualität* beschreibt die Benutzbarkeit und macht deutlich, wie gut die Nutzerziele mit dem jeweiligen System erreichbar sind.

Die *hedonische Qualität-Stimulation* stellt dar, inwieweit durch die Systemvariante eine Weiterentwicklung des Nutzers unterstützt wird, indem neuartige, interessante und anregende Funktionalitäten, Inhalte, Interaktions- und Präsentationsstile geboten werden.

Die Dimension der *hedonischen Qualität-Identität* sagt aus, inwieweit sich Nutzer mit den Systemen identifizieren können.

Die *Attraktivität* misst letztlich global die wahrgenommene Qualität des Produkts.

## 4.3 Experimentauswahl

Die Quantifizierung der Hypothesen durch objektive Messgrößen muss in einem geeigneten Experiment stattfinden. Hierzu werden repräsentative Stichproben herangezogen. Man unterscheidet zwischen abhängigen, d.h. eine Gruppe wird mehrmals untersucht, und unabhängigen Stichproben, das bedeutet zum Vergleich werden unterschiedliche, voneinander unabhängige Versuchsgruppen herangezogen. Der Vorteil einer abhängigen Stichprobe ist, dass leichter signifikante Ergebnisse erzeugt werden können, da keine Varianzen zwischen den Versuchsgruppen bestehen. Ein Nachteil entsteht allerdings durch Reihungseffekte, da jeder Proband alle Versuchsvarianten erlebt und sich somit einen Erfahrungsschatz aufbaut, der in die jeweils folgenden Varianten mit einfließt. Dieser Negativeffekt kann durch einen permutierten Versuchsplan, der für jeden Probanden eine andere Bearbeitungsreihenfolge der Aufgaben vorsieht, eingedämmt, jedoch nicht vollständig beseitigt werden. Die dafür notwendige Stichprobe beschreibt Bubb (2003) mit folgender mathematischer Formel:

$$n=k! \quad (n= \text{Anzahl notwendiger Probanden}; k= \text{Anzahl zu untersuchender Varianten})$$

Ein Nachteil von unabhängigen Stichproben besteht darin, dass ein gemessener Effekt nie eindeutig auf den Untersuchungsgegenstand zurückzuführen ist. Um die Tatsache weitestgehend auszuschließen, dass der Effekt aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Stichproben zustande kommt, müsste zuvor in einem weiteren

aufwendigen Experiment nachgewiesen werden, dass sich die Stichproben hinsichtlich der gemessenen Einflussgrößen nicht unterscheiden.

Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit kommen ausschließlich abhängige Stichproben in Betracht. Man spricht hier von sogenannten Within-Designs. Außerdem können aus rechtlichen Gründen ausschließlich Mitarbeiter der Audi AG zu den Versuchen herangezogen werden. Um dennoch eine Heterogenität in der Stichprobe hinsichtlich Technikaffinität und Markenprägung zu ermöglichen, werden die Probanden aus verschiedensten Geschäftsbereichen und Arbeitsfeldern im Unternehmen rekrutiert. Des Weiteren weisen alle Teilnehmer bereits Erfahrungen im Audi Fahrsimulator auf. Somit können hohe Störvarianzen aufgrund zu unterschiedlicher Fahrkenntnisse im Simulator sowie Ausfälle wegen *Simulator Sickness* weitestgehend reduziert werden. Eine deskriptive Beschreibung der Versuchspersonenkollektive findet sich in den Darstellungen der einzelnen Studien wieder.

Als Experiment stehen prinzipiell verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die Extreme bilden das Laborexperiment und das Feldexperiment. Der Unterschied liegt maßgeblich in der Kontrollierbarkeit externer Störeinflüsse. Dem Vorteil einer absoluten Reproduzierbarkeit und Isolierung, der zu untersuchenden Merkmale beim Laborexperiment, steht eine nur bedingte Übertragbarkeit auf reale Umweltsituationen gegenüber. Man spricht auch von einer hohen internen und niedrigen externen Validität. Ein entscheidender Nachteil von Feldversuchen ist deren Zeit- und Kostenaufwand bei der Planung und Durchführung. Aufgrund der frühen Konzeptphase, in deren Kontext die Untersuchungen stattfinden, wird im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich auf Laborexperimente zurückgegriffen.

Sämtliche Untersuchungen zur Validierung der unter Kapitel 3 beschriebenen Konzepte werden außerdem ausschließlich unter Dualtaskbedingungen, d.h. parallel zu einer Primäraufgabe durchgeführt. Grund dafür sind Publikationen, die bereits belegen, dass Erkenntnisse aus Singletask Situationen nicht ohne Weiteres auf Dualtask Applikationen übertragbar sind (vgl. Totzke et al., 2003). Im Zuge der gesetzlichen Forderungen nach ablenkungsarmen Bedienkonzepten während der Fahrt und der Verpflichtung der Automobilhersteller, den Nachweis der Einhaltung solcher Richtlinien wie ESOP, AAM und JAMA unter Fahrbedingungen zu erbringen, orientiert sich die Systemgestaltung und deren Evaluierung in dieser Arbeit ausschließlich an Dualtask Situationen.

#### **4.4 Hypothesenprüfung**

Nachfolgend wird nun auf die zur Beschreibung und zum Vergleich der erhobenen Messdaten verwendete Statistik eingegangen. Dabei wird zwischen der deskriptiven und der

Inferenzstatistik unterschieden. Zur Aufbereitung und Bewertung der Versuchsdaten werden nach den Regeln der deskriptiven Statistik sowohl Maße zur zentralen Tendenz als auch Dispersionsmaße gebildet. Mittels der Methoden der Inferenzstatistik werden im Anschluss die Variablen auf mögliche Unterschiede überprüft.

### 4.4.1 Deskriptive Statistik

Die deskriptive Statistik beinhaltet sämtliche Verfahren, die der Beschreibung der erhobenen Messwerte dienen. Dabei stehen zunächst Verfahren zur Beschreibung der zentralen Tendenz und zur Bildung von Dispersionsmaßen zur Verfügung. Die Auswahl der geeigneten Verfahren hängt zunächst vom Skalenniveau der Messdaten ab. Die möglichen auftretenden Skalentypen sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

Tabelle 4-1: Zahlenniveaus und deren charakteristische Merkmale (Bortz, 2005)

	Skalenart	Mögliche Aussagen	Beispiele
<b>Nicht-metrisch</b>	Nominalskala	Gleichheit, Verschiedenheit	Geschlecht, Rückennummern
	Ordinalskala	Größer-Kleiner Relation	Militärische Ränge
<b>Metrisch</b>	Intervallskala	Gleichheit von Differenzen	Temperatur (in °C)
	Verhältnisskala	Gleichheit von Verhältnissen	Längenmessung, Gewichtsmessung

Die Bildung der zentralen Tendenz gibt einen ersten Eindruck, durch welchen Wert die Gesamtheit der erhobenen Messwerte am besten repräsentiert wird. Der am meisten verwendete Kennwert ist das arithmetische Mittel. Zu beachten ist jedoch, dass dieses Verfahren nur für metrische Werte durchgeführt werden darf. Für Daten auf Nominal- und Ordinalskalenniveau, welche als nicht-metrische Werte gelten, stehen andere Verfahren wie die Bildung des Modalwertes oder des Medians zur Verfügung.

Zwei Messverteilungen, welche sich aufgrund ihrer zentralen Tendenz ähneln, können aufgrund ihrer Streuung (Dispersion) dennoch unterschiedlich sein. Um sich hierfür einen Eindruck verschaffen zu können, stehen zur Bildung sogenannter Dispersionsmaße je nach Skalentyp der Daten verschiedene Methoden zur Verfügung. Für nicht-metrische Daten sind hierfür die Variationsbreite oder die Perzentil-Bildung vorgesehen. Das gängigste Verfahren

zur Errechnung von Streumaßen ist die Bildung der Standardabweichung. Diese darf jedoch nur bei metrischen Daten gebildet werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit angewandten Schritte der deskriptiven Statistik lassen sich wie folgt zusammenfassend darlegen. Für einen ersten Eindruck über die Verteilungsform sowie mögliche unplausible Messwerte werden Box-Plots erzeugt, welche einen sehr guten ersten Überblick über die Datenverteilung sowie eine Identifikation von Extremwerten und Ausreißern erlauben (Tuckey, 1977). Im Box-Plot identifizierte Extremwerte werden in dieser Arbeit einer gesonderten Einzelbetrachtung unterzogen. In den meisten Fällen kommen diese aufgrund technischer Komplikationen des Bedienteilprototypen bzw. der Simulation zu Stande. Um keine Verfälschung der Aussage, die auf den Einfluss technischer Mängel aufgrund prototypischer Eigenschaften der Bedienkonzeptsimulation zurückzuführen ist, zu erhalten, werden solche Extremwerte nicht in die weitere Auswertung mit einbezogen. Alle Extremwerte, welche nicht weiter in die inferenzstatistische Auswertung mit einfließen, werden anhand von Interview- und deskriptiven Versuchsdaten einer gesonderten Einzelbetrachtung unterzogen. Da es sich bei den erhobenen Daten ausschließlich um solche metrischer Natur handelt, werden im Rahmen dieser Arbeit als Maß für die zentrale Tendenz und die Dispersion das arithmetische Mittel sowie die Standardabweichung gebildet.

#### **4.4.2 Inferenzstatistik**

Mit Hilfe der Inferenzstatistik wird überprüft, inwieweit zwei oder mehrere Messverteilungen bestimmter Merkmalsausprägungen gleich sind oder voneinander abweichen. Mittels sogenannter Signifikantstests wird dabei untersucht, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein solches Ergebnis zufällig zustande gekommen ist. Zur Auswahl einer geeigneten inferenzstatistischen Verfahrensweise ist neben der Zusammensetzung der Stichprobe und dem Skalenniveau auch die Verteilungsform der Messdaten von entscheidender Bedeutung. Prinzipiell gibt es parametrische und nicht-parametrische Auswerteverfahren. Zu beachten ist, dass für parametrische Vergleichsverfahren eine Normalverteilung der Daten vorliegen muss. Als gängiges Prüfverfahren hierfür, welches sich auch für kleine Stichproben eignet, kommt der Kolmogorov-Smirnov-Test in Frage, welcher überprüft, ob die Verteilung der Werte signifikant von der einer Normalverteilung abweichen.

Da in dieser Arbeit ausschließlich mit abhängigen Stichproben (siehe Abschnitt 4.1) und metrischen Daten (siehe Abschnitt 4.4.1) gearbeitet wird, kann bei normalverteilten Messdaten das parametrische Verfahren der Varianzanalyse mit Messwiederholung angewandt werden. Ein zusätzliches Kriterium hierfür ist die Varianzhomogenität, welcher jedoch in dieser Arbeit keine weitere Beachtung geschenkt wird, da laut Bortz (2005)

heterogene Varianzen den F-Test nur unerheblich beeinflussen, wenn die untersuchten Stichproben gleich groß sind. Des Weiteren besteht die Forderung nach Sphärizität der Daten. Diese Forderung ist dann verletzt, wenn die Varianzen der Differenzen zwischen jeweils zwei Faktorstufen inhomogen sind, was bedeutet, dass die Sphärizität erst ab einer dritten Faktorstufe zum Tragen kommt. Zur Überprüfung wird der Mauchly-Test verwendet. Sollte aufgrund eines signifikanten Ergebnisses des Mauchly-Tests die Annahme der Sphärizität verworfen werden, wird der F-Wert einer Korrektur nach „Greenhouse-Geisser“ unterzogen.

Bei einem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse, welche durch den sogenannten F-Wert beschrieben wird, werden weitere Paarvergleiche mittels eines Post-Hoc Tests durchgeführt. Um eine Kumulierung des  $\alpha$ -Fehlers im Fall des multiplen Testens zu vermeiden, wird anschließend eine Korrektur nach Bonferoni vollzogen.

Die Varianzanalyse gilt speziell bei einer Stichprobe  $n \geq 30$  als relativ robust. Dennoch wird bei einer starken Abweichung der Daten von den beschriebenen Bedingungen zur Kontrolle auf ein nicht-parametrisches Vorgehen zurückgegriffen. Hierfür wird im Rahmen dieser Arbeit der Friedmann-Test und anschließend zum paarweisen Vergleich der Wilcoxon-Test gewählt.

Um die praktische Bedeutung eines signifikanten Ergebnisses abschätzen zu können, wird zusätzlich die Effektstärke in Form des partiellen  $\eta^2$  mit angegeben. Es gilt, je größer der Unterschied zwischen den experimentellen Bedingungen und je kleiner die Varianz innerhalb der Bedingungen, desto größer ist die Effektstärke. Die Grenzen für die Effektgrößen sind in Tabelle 4-2 aufgelistet.

Tabelle 4-2: Effektgrößen (Bortz, 2005)

Bedeutung des Effektes	klein	mittel	groß
Effektgröße partielles $\eta^2$	0,01	0,06	0,14

Zur Hypothesenprüfung werden in der Regel die parametrischen Verfahren der ein- bzw. mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung und anschließendem Post-Hoc Test angewandt. Lediglich bei deutlicher Verletzung mehrerer Bedingungen für diese Verfahren wird auf die nicht-parametrischen Friedmann- und Wilcoxon-Tests zurückgegriffen.

### 4.4.3 Prüfung

Bei der Annahme bzw. Ablehnung von Hypothesen können zwei Arten von Fehlern gemacht werden. Verwirft man fälschlicherweise die Nullhypothese zu Gunsten der

Alternativhypothese, wird der sogenannte  $\alpha$ -Fehler oder auch Fehler erster Art begangen. Bei einer Beibehaltung der Nullhypothese, obwohl die Alternativhypothese zutreffen würde, begeht man den sogenannten  $\beta$ -Fehler, oder auch Fehler zweiter Art. Dies ist in Tabelle 4-3 nochmals zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4-3: Matrix möglicher Fehler bei der statistischen Hypothesenprüfung (Bortz, 2005)

		In Realität gilt	
		$H_0$	$H_1$
Aufgrund des Experiments beibehalten der	$H_0$	Richtige Entscheidung	$\beta$ -Fehler
	$H_1$	$\alpha$ -Fehler	Richtige Entscheidung

Der  $\alpha$ -Fehler stellt dabei die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, mit der die Nullhypothese fälschlicherweise zu Gunsten der Alternativhypothese verworfen wird. Die Grenze für diese Irrtumswahrscheinlichkeit bildet das Signifikanzniveau. Da die Untersuchungen, der hier vorliegenden Arbeit, in einem frühen Entwicklungsstadium mit sehr prototypischen Untersuchungsgegenständen durchgeführt werden und ausschließlich explorativen Charakter aufweisen, wird das Signifikanzniveau auf 5% festgesetzt. Ist der  $\alpha$ -Fehler kleiner oder gleich 5%, spricht man von einem signifikanten Ergebnis.

Eine Überschreitung der 5%- Hürde bedeutet jedoch nicht, dass automatisch die Nullhypothese beibehalten werden kann. Im Bereich von 5-25% wird von einem statistischen Graubereich gesprochen, indem keine Aussage getroffen werden kann. Erst ab einem  $\alpha$ -Fehler größer als 25% wird die Nullhypothese beibehalten. In diesem Fall besteht das Risiko eines  $\beta$ -Fehlers.

### 4.5 Fazit

Zusammenfassend für dieses Kapitel kann festgehalten werden, dass für die durchgeführten Untersuchungen ausschließlich Laborexperimente unter Dual Task Bedingungen Anwendung finden. Den Experimenten zu Grunde liegen die aus Kapitel 3.3 auf Basis theoretischer Rechercheergebnisse in Unterschiedshypothesen überführte Fragestellungen, welche je nach theoretischer Fundiertheit gerichtet oder ungerichtet formuliert sein können.

Zur Untersuchung der Hypothesen werden Simulatortests mit abhängigen Stichproben durchgeführt, um die zu vergleichenden Varianten in permutierten Versuchsplänen zu testen. Zur statistischen Überprüfung der Hypothesen werden Kennwerte zur Fahrperformance, zur Bedienleistung, zum Blickverhalten und zur subjektiven Einschätzung als abhängige Variablen erhoben.

Die Verfahren der deskriptiven Statistik zur Beschreibung der Daten orientieren sich aufgrund der ausschließlich metrischen Daten an der Bildung des arithmetischen Mittels und der Standardabweichung. Als erster Schritt werden mittels Box-Plots Rückschlüsse auf Verteilung der Daten und Plausibilität der Messwerte gezogen und gegebenenfalls Extremwerte bereinigt und einer gesonderten Auswertung unterzogen.

Zur Hypothesenprüfung werden in der Regel die parametrischen Verfahren der ein- bzw. mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung und anschließendem Post-Hoc Test angewandt. Lediglich bei deutlicher Verletzung mehrerer Bedingungen für diese Verfahren wird auf die nicht-parametrischen Friedmann- und Wilcoxon-Tests zurückgegriffen.

Die Hypothesenprüfung wird auf einem Signifikanzniveau von 5% durchgeführt.

## 5 Hypothesen und Versuchsdesign

Im folgenden Kapitel werden basierend auf der Beschreibung des methodischen Vorgehens aus Abschnitt 4 die Hypothesen formuliert und festgehalten, durch welche Kennwerte diese messtechnisch untersucht werden. Anschließend wird das Design der Versuchsreihen vorgestellt.

### 5.1 Hypothesenformulierung

Die Hypothesenformulierung gliedert sich im Folgenden in Anlehnung an den Untersuchungsbedarf aus Kapitel 3.3 in die „Gestaltung und Auslegung der Touchpadbedienung“ und die Fragestellungen zu einer „Touchpadbedienung allgemein im Vergleich zu aktuellen Infotainmentbedienlösungen“. Es wird jeweils ein Einfluss bezüglich Ablenkung und Bedienkomfort vermutet. Diese lassen sich durch die Kennwerte zur Bedienleistung, Fahrperformance, Blickverhalten und dem subjektiven Empfinden, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, messen. Die vermuteten Einflüsse werden jeweils in einer Hypothese zusammengefasst formuliert. Bei der späteren Darstellung der Ergebnisse werden die Hypothesen für sämtliche Kennwerte überprüft.

#### 5.1.1 Hypothesen zur Bedienung mit Touchpad

Die Hypothesenbildung zur Auslegung der Touchpadinteraktion ist in Anlehnung an Kapitel 3.3 in die drei Bereiche Interaktionsformen, Orientierungshilfen und Bedienlogik aufgeteilt.

##### 5.1.1.1 Interaktionsformen

Bezüglich der Interaktionsformen wurden in Kapitel 3.2.2 auf Basis einer Betrachtung der aktuellen Marktsituation für die in Abschnitt 2.3 definierten Aufgabentypen Interaktionsvarianten gefunden. Der darauf basierende Untersuchungsbedarf aus Kapitel 3.3 ist in folgenden Fragestellungen nochmals zusammengefasst dargestellt:

Fragestellung:

1. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen?
2. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen?

3. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional?
4. Welche Interaktionsform eignet sich zur Bedienung von Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional?

Zu den vier Fragestellungen werden im Folgenden vier Hypothesen formuliert. Allen in Abschnitt 3.3 vorgestellten Varianten liegt eine Bedienmetapher zu Grunde (vgl. Dutke, 1994). Die Interaktionsmöglichkeiten lassen sich verschiedenen, teils mehreren, Klassifikationsmöglichkeiten und somit Einflussgrößen zuordnen (vgl. Boff & Lincoln, 1988, Rühmann, 1993). Eine eindeutige Richtung kann den Hypothesen somit aufgrund der theoretischen Ergebnisse nicht zugesprochen werden, weshalb allesamt ungerichtet formuliert werden.

*Alternativ- und Nullhypothesen zu Interaktionsformen:*

*H<sub>1</sub>-Int\_1: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad und einer 2x3 Tastenmatrix in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>0</sub>-Int\_1: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad und einer 2x3 Tastenmatrix in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>1</sub>-Int\_2: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>0</sub>-Int\_2: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>1</sub>-Int\_3: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>0</sub>-Int\_3: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>1</sub>-Int\_4: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit Tasten, relativen Schiebern und einer 2-dimensionalen x,y-Fläche in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>0</sub>-Int\_4: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit Tasten, relativen Schiebern und einer 2-dimensionalen x,y-Fläche in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

### **5.1.1.2 Orientierungshilfen**

Durch das in Kapitel 3.2 beschriebene Touchpad soll der gesamte Infotainmentmenüumfang während der Fahrt bedient werden. Wie in der theoretischen Betrachtung in Abschnitt 2.1 festgestellt, handelt es sich dabei um eine sogenannte Doppelaufgabe, welche bei Ausschöpfen der Kapazitäten negative Auswirkungen auf die Primäraufgabe haben kann (vgl. Vollrath & Totzke, 2001; Koch, 2006; Pashler, 1994). Theorien aus der Kognitionspsychologie postulieren, dass durch Informationen aus unterschiedlichen Modalitäten diesem Problem evtl. entgegengewirkt werden kann (vgl. Wickens & Hollands, 2000). Andere Theorien veranlassen hier allerdings zu Skepsis (vgl. Broadbent, 1958;

Kahnemann, 1973; Baddeley, 1992). Ein weiteres Problem, welches durch die Doppelaufgabe entsteht, betrifft die Informationsaufnahme, da der Hauptanteil für beide Aufgaben über den visuellen Kanal gleichzeitig über zwei physikalisch voneinander getrennte Orte aufgenommen werden muss. Hier wird angenommen, dass durch die haptische Konturierung der Touchpadoberfläche eine Orientierungshilfe gegeben wird, sodass weniger und kürzere Kontrollblicke zur Nebenaufgabe notwendig sind. Nach Müller-Limmroth (1981) werden die haptischen Informationen erst in der Stufe der Informationsverarbeitung mit den anderen Sinnen in Einklang gebracht. Daher besteht die Frage, wie groß der kognitive Aufwand hierfür ist und bis zu welchem Detailgrad inhaltliche Informationen durch die Haptik übertragen werden können. Eine weitere Orientierungshilfe soll durch die Metapher Cursor gegeben werden, welcher die aktuelle Fingerposition auf dem Touchpad am Display optisch rückmeldet. Allerdings muss der Cursor in Verbindung mit der Haptik mit einer absoluten Bedienlogik verwendet werden, anders als von der Laptopbedienung bekannt, wo er relativ bedient wird.

Die Fragestellungen zu möglichen Orientierungshilfen aus Kapitel 3.3 sind:

5. Bietet eine haptisch konturierte Oberfläche einen Mehrwert im Vergleich zu einer glatten Touchoberfläche?
6. Können durch haptische Formen Kontextinformationen übermittelt werden, um dadurch den visuellen Kanal zu entlasten?
7. Muss eine Touchpadbedienung für ein Fahrzeuginfotainmentsystem einen Cursor zur Visualisierung der Fingerspur haben?

Aufgrund der teils widersprüchlichen Theorien zu multimodalen Informationsverarbeitung und den leicht abgeänderten Bedienmetaphern wie beispielsweise der Verwendung eines Cursors in diesem Kontext werden auch diese Thesen ungerichtet formuliert:

*Alternativ- und Nullhypothesen zu Orientierungshilfen:*

*H<sub>1</sub>-Orient\_1: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit haptischen Formen und haptischen Standardelementen in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>0</sub>-Orient\_1: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit haptischen Formen und haptischen Standardelementen in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie der subjektiven Beurteilung.*

*H<sub>1</sub>-Orient\_2: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer haptisch konturierten Oberfläche und einer glatten Oberfläche sowie jeweils mit und ohne optischer Cursorunterstützung in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>0</sub>-Orient\_2: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer haptisch konturierten Oberfläche und einer glatten Oberfläche sowie jeweils mit und ohne optischer Cursorunterstützung in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

Die Thesen zur Orientierungshilfe werden ausschließlich für die objektiven Verhaltenskennwerte aufgestellt, da aufgrund der prototypischen Umsetzung der Haptik eine Verfälschung der subjektiven Einschätzung zu erwarten ist.

### **5.1.1.3 Bedienlogik**

Zuletzt stellt sich die Frage, ob eine Touchpadbedienung im Fahrzeug relativ oder absolut ausgelegt sein muss. Eine relative Bedienung kann nur mit Cursor und ohne Haptik stattfinden.

Die Fragestellung zu diesem Themenkomplex aus Kapitel 3.3 ist demnach:

8. Muss ein Touchpad zur Menübedienung im Fahrzeug eine relative oder eine absolute Bedienlogik haben?

Daraus werden ungerichtete Hypothesen formuliert.

*Alternativ- und Nullhypothesen zur Bedienlogik:*

*H<sub>1</sub>-Log\_1 Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer relativen und einer absoluten Bedienlogik in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>0</sub>-Log\_1 Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer relativen und einer absoluten Bedienlogik in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

### **5.1.2 Hypothesen zu Menübedienung im Dual Task**

Im Folgenden werden die Hypothesen zu einem haptischen Touchpad als alleiniges zentrales Bedienelement zur Menübedienung während der Fahrt aufgestellt. Hierbei stellt sich die zentrale Frage, ob eine Kombination aus mehreren Bedienelementen für jeden Aufgabentypen besser geeignet ist als ein Bedienelement für alle Aufgaben. Die Frage ist weiter, ob es Einbußen gibt, wenn alle Aufgabentypen, auch die eindimensionalen, mit einem zweidimensionalen Touchpad bedient werden oder, ob die Interaktionselemente für das Touchpad dies kompensieren können. Außerdem muss untersucht werden, welchen Einfluss ein Wechsel des Bedienelements während der Bedienung einer Aufgabe hat. Die dazu aufgestellten Forschungsfragen aus Kapitel 3.3 lauten:

1. Können sämtliche Aufgabentypen der Infotainmentmenübedienung mit einem Touchpad bedient werden?
2. Ist eine Kombination aus mehreren Bedienelementen für die jeweiligen Aufgabentypen oder die gesamte Menübedienung mit einem Bedienelement besser?

Es wird vermutet, dass ein Bedienelementwechsel jedes Mal eine erneute Neuorientierung mit Blickzuwendung benötigt, was einen Bruch in der Bedienhandlung darstellt und als unangenehm empfunden wird. Dies wird zur Untersuchung in einer ungerichteten Hypothese formuliert und durch den Kennwert „Blickrate“, welcher den prozentualen Anteil der Personen darstellt, die mindestens einmal auf das Bedienteil geblickt haben, messtechnisch erfasst und überprüft. Es wird außerdem vermutet, dass dieser Bedienteilwechsel als unangenehm empfunden wird. Und sich dies auch auf die Gesamtbeurteilung der Bedienung mit den unterschiedlichen Bedieneinheiten auswirkt. Diese beiden Aspekte werden ebenfalls zur Überprüfung in ungerichteten Hypothesen formuliert.

*Alternativ- und Nullhypothesen zur Menübedienung im Dual Task:*

*H<sub>1</sub>-Bed\_ 1: Es gibt einen Unterschied in der Anzahl der Personen, welche zum Bedienteil schauen, und der mittleren Anzahl an Blicken zum Bedienelement zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_ 1: Es gibt keinen Unterschied in der Anzahl der Personen, welche zum Bedienteil schauen, und der mittleren Anzahl an Blicken zum Bedienelement zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_2: Es gibt einen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Aufgabenwechsel zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit, bei dem das Bedienelement beim Aufgabenwechsel ebenfalls gewechselt werden muss.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_2: Es gibt keinen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Aufgabenwechsel zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit, bei dem das Bedienelement beim Aufgabenwechsel ebenfalls gewechselt werden muss.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_3: Es gibt einen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_3: Es gibt keinen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.*

In Bezug auf die Bedienung der unterschiedlichen Aufgabentypen wird in Anlehnung an die Thesen in Abschnitt 5.1.1.1 wiederum davon ausgegangen, dass die Eignung der Bedienelemente bzw. Interaktionselemente für die jeweiligen Aufgabentypen abstrahiert von den aus der Theorie ermittelten Klassifikationsmöglichkeiten von Stellteilen nach deren Dimensionalität, deren Bedienmöglichkeit und deren Bewegungsart (vgl. Boff & Lincoln, 1988; Rühmann, 1981) abhängt. Dabei soll im Rahmen dieser Arbeit vor allem überprüft werden, dass sich durch die Bedienung sämtlicher Aufgabentypen mit einem Bedienelement kein erheblicher Nachteil ergibt. Dies betrifft vor allem die Aufgabentypen „Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen“, „Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen“ und „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“, da diese in den bisherigen Marktlösungen überwiegend mit dafür geeigneten Dreh-Stellern bedient werden. Der Aufgabentyp „Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional“, wird in derzeitigen Lösungen bereits mit zweidimensionalen Eingabeelementen, wie dem Touchpad bei Audi (vgl. Hamberger, 2010) bedient, und dessen Tauglichkeit bereits belegt. Deshalb wird dieser Aufgabentyp hier nicht weiter überprüft. Aus diesen Überlegungen lassen sich weitere ungerichtete Hypothesen formulieren.

*Alternativ- und Nullhypothesen zur Bedienung unterschiedlicher Aufgabentypen:*

*H<sub>1</sub>-Bed\_4: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_4: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_5: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_5: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_6: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>0</sub>-Bed\_6: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es keinen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

## 5.2 Versuchsdesign

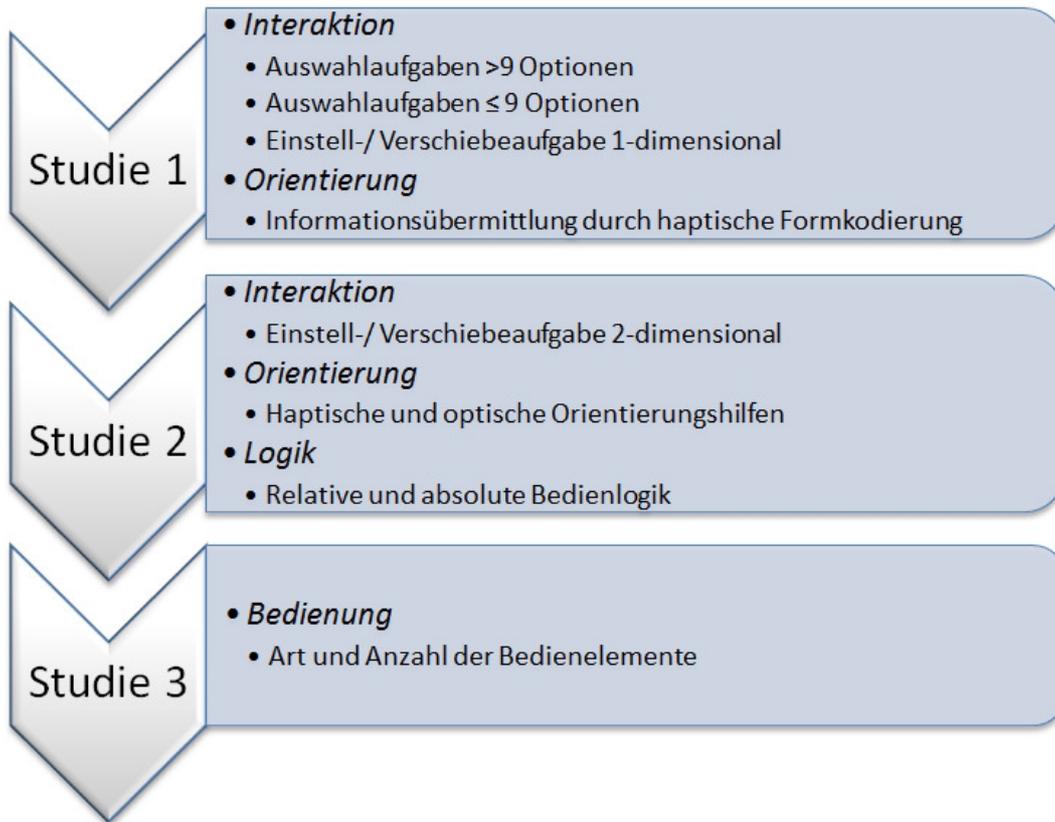
Im Folgenden werden die durchgeführten Versuchsreihen zur Untersuchung der in Kapitel 5.1 beschriebenen Hypothesen dargestellt. Eine Überblicksbeschreibung über das generelle experimentelle Vorgehen leitet diesen Abschnitt ein. Es folgt die Beschreibung der verwendeten Versuchsumgebung. Ein Abschnitt über die Durchführung der Tests sowie die Darstellungsform der Ergebnisse runden das Kapitel ab.

### 5.2.1 Experimentelles Vorgehen

Die erste Studie beschäftigt sich mit Hypothesen zu Interaktionsformen für eindimensionale Einstell- und Listenaufgaben und Menüauswahl sowie haptischen Formen als Orientierungshilfen für die Bedienung mit einem haptischen Touchpad. Die zweite Studie ergänzt die Ergebnisse der ersten um die Interaktionsvariante für eine zweidimensionale Einstellaufgabe. Des Weiteren werden im Rahmen des zweiten Simulatortests Hypothesen zu verschiedenen Orientierungshilfen unterschiedlicher Modalitäten untersucht. Außerdem werden verschiedene Auslegungen der Bedienlogik für eine Touchpadinteraktion untersucht.

Die dritte Studie vergleicht eine Menübedienung mit einem haptischen Touchpad mit verschiedenen Kombinationen einzelner Bedienelemente unterschiedlicher Dimensionen. Das Erkenntnisinteresse besteht darin, eine Aussage treffen zu können, welches Bedienelement für welchen Aufgabentyp geeignet ist und ob ein Umgreifen durch einen erzwungenen Bedienelementwechsel einen Negativeinfluss auf die Fahraufgabe darstellt. Studie 1 und Studie 2 dienen somit einer Bedienkonzeptauslegung für eine Touchpadbedienung als alleiniges zentrales Fahrzeuginfotainmentbedienelement. Diese Vorabuntersuchungen werden durchgeführt, um den Effekt zu reduzieren, dass ein neues unausgereiftes Bedienkonzept mit einer ausgereiften Serienlösung verglichen wird. Zum Vergleich mit herkömmlichen Serienbedienalternativen wird die ideale Konzeptlösung für eine Touchpadbedienung aus den Ergebnissen der ersten beiden Versuche herangezogen. Eine Ergebnisverzerrung aufgrund unterschiedlicher technischer Reifegrade kann nicht ausgeschlossen werden. Eine technische Perfektionierung des haptischen Touchpads ist aus Kosten- und Aufwandsgründen ohne eine derartige vorherige Potenzialabschätzung jedoch nicht sinnvoll.

Das Untersuchungskonzept der vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 5-1 dargestellt.



*Abbildung 5-1: Untersuchungsvorgehen – Aufteilung der Fragestellungen auf drei aufeinander folgende Simulatorstudien*

Im Folgenden wird zunächst die Simulationssoftware, der Fahrsimulator als Messinstrument sowie das verwendete Blickerfassungssystem vorgestellt. Es folgt die Erläuterung des Versuchsdesigns, welches in allen drei Studien gleich ist sowie eine kurze Darstellung der Ergebnisbeschreibung.

## **5.2.2 Versuchsumgebung**

Die Versuchsumgebung der vorliegenden Studien lässt sich in die drei Komponenten statischer Fahrsimulator, Messumgebung und Simulationssoftware einteilen. Diese werden im Folgenden erläutert.

### **5.2.2.1 Der statische Fahrsimulator**

Die dieser Arbeit zu Grunde liegenden Studien wurden im statischen Fahrsimulator der Audi AG durchgeführt (siehe Abbildung 5-2).



Abbildung 5-2: Statischer Fahr Simulator der Audi AG (Quelle: Audi AG)

Dieser besteht aus einem variablen Fahrzeug Mockup auf Basis eines Audi A8 und einer 360° rundum Projektion. Auf einer 270° Rundleinwand wird dabei mit fünf Projektoren die Frontfahrszenerie visualisiert. Drei zusätzliche Leinwände mit drei Projektoren hinter dem Mockup bilden die Rückspiegelansicht. Somit kann mittels dieser Fahrsimulation ein sehr realer visueller Eindruck vermittelt werden. Zusätzlich werden haptische Rückmeldungen der Fahrsituation über simulierte Vibrationen im Sitz sowie Rückstellkräfte am Lenkrad übermittelt. Eine akustische Rückmeldung des Fahrgeräuschs ermöglicht eine realistische Einschätzung der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit. Aufgrund des statischen Charakters des Simulators werden jedoch keine kinästhetischen Fahreindrücke vermittelt.



Abbildung 5-3: Mittelkonsole des Fahr Simulators

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien ist das Mockup mit einem 8“-Display in der Mittelkonsole zur Visualisierung der Nebenaufgabe nach aktuellem Stand der Technik sowie einer freien Auflagefläche in der Mittelkonsole zur schnellen Integration verschiedener zentraler Infotainmentbedienelemente ausgestattet (siehe Abbildung 5-3). Dieser Aufbau ermöglicht den vor allem in Studie drei nötigen schnellen Wechsel von Bedienelementen. Die vom Versuchsleiter gestellten Aufgaben sowie die Möglichkeiten zur subjektiven Bewertung sind am Armaturenbrett angebracht (siehe Abbildung 5-4).

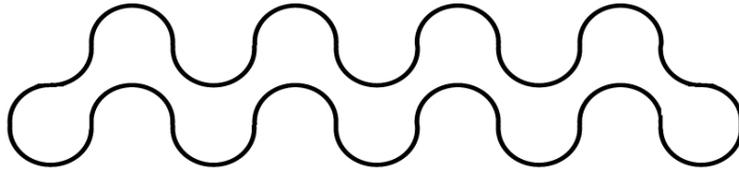


*Abbildung 5-4: Exemplarische Darstellung der Aufgabeneckpunkte und Bewertungsskala am Armaturenbrett auf der Beifahrerseite*

Die Fahraufgabe besteht in allen drei Studien aus einer Folgefahrt mit konstantem Abstand (siehe Abbildung 5-5) auf einer endlosen Überlandstrecke mit langgezogenen sich abwechselnden Rechts- und Linkskurven (siehe Abbildung 5-6).



*Abbildung 5-5: Folgefahrt im statischen Fahrsimulator*



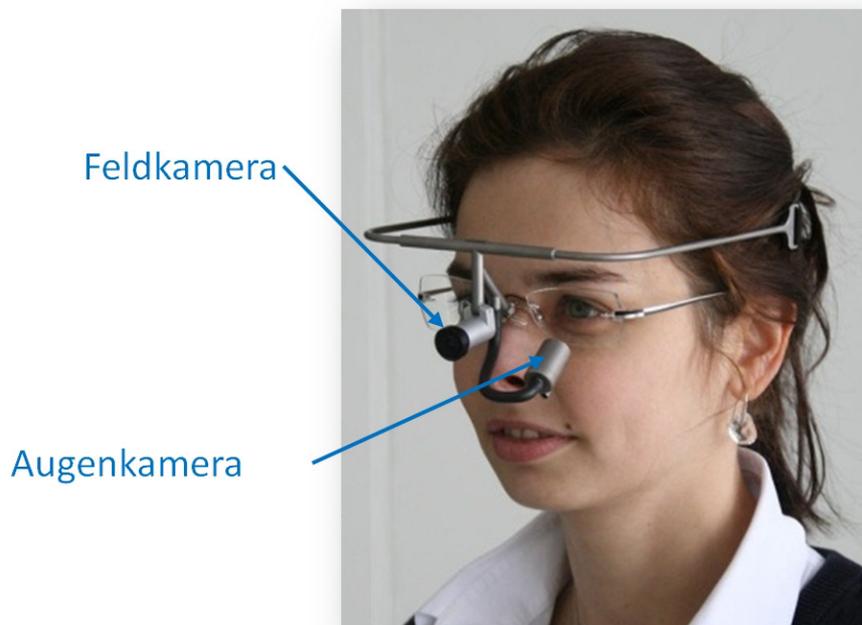
*Abbildung 5-6: Versuchsstrecke bestehend aus sich abwechselnden gleichmäßigen Rechts- und Linkskurven*

Das vorausfahrende Fahrzeug bewegt sich dabei mit einer konstanten Geschwindigkeit von ca. 90 km/h. Die Kurvenradien der Versuchsstrecke sind so gewählt, dass eine permanente konstante Regelaufgabe nötig ist. Dieses Setting gewährleistet somit eine reproduzierbare Fahrsituation sowie eine angemessene konstante Belastung durch die Primäraufgabe für alle Probanden und Aufgabenabschnitte.

### **5.2.2.2 Dikablis-/D-Lab-Messumgebung**

Zur Erfassung der Blickbewegungen der Probanden wird das kopfbasierte Blickerfassungssystem Dikablis der Firma Ergoneers verwendet, welches eine Aufzeichnung des Blickverhaltens in Echtzeit ermöglicht.

Das Prinzip des Systems basiert auf zwei an der Head-Unit fest montierten Kameras, wobei eine das Sichtfeld des Probanden und die andere dessen Pupille filmt (siehe Abbildung 5-7).



*Abbildung 5-7: Head-Unit des kopfbasierten Blickerfassungssystems Dikablis*

Durch Überlagerung der beiden Filme, kann eine Blickanalyse in Echtzeit erfolgen. Für eine detailliertere technische Beschreibung sowie weiterführende Informationen wird auf Lange et

al. (2006) verwiesen. Die gewonnenen Blickdaten können im Anschluss an den Versuch mittels der Software D-Lab durch die in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Kennwerte operationalisiert werden. D-Lab erlaubt dabei im Vorfeld des Versuchs eine detaillierte Planung der Versuchsaufgaben in Anlehnung an die gängige Normung ISO/TS 15007-2.

Des Weiteren erlaubt das Blickfassungssystem Dikablis eine automatisierte Auswertung von Kennwerten basierend auf den Blickdauern in sogenannte Areas of Interests (AOIs). Mittels visueller Marker, welche durch Bilderkennung von der Software im Bild der Feldkamera erkannt werden, kann auf die Kopfposition des Probanden zurückgerechnet werden. Im Anschluss an die Studie können beliebige AOIs direkt in den Blickfilmen eingezeichnet und zu einem der im Bild erkannten Marker definiert werden (siehe Abbildung 5-8).



*Abbildung 5-8: AOI-basierte automatische Auswertung von Kennwerten basierend auf Blickdauern in vordefinierte AOIs. Links: Aufnahme des Blickfilms mit der Head Unit von Dikablis; Rechts: Automatisierte Auswertung in D-Lab durch Einzeichnung von AOIs*

Nach einer automatisierten Blickfilmanalyse durch D-Lab werden die einzelnen Blickkennwerte zu den jeweiligen Versuchsaufgaben und den AOIs berechnet. Für einen umfassenderen Überblick zum Aufbau und der Anwendung der D-Lab Mess- und Analyseumgebung wird auf weitere Publikationen verwiesen (vgl. Lange et al. (2010), Lange et al. (2011), Spies et al. (2011)).

### 5.2.2.3 Die Rapid-Prototyping Software EB GUIDE

Die für die Untersuchungen verwendeten Bedienkonzeptsimulationen wurden in der UML-basierten (Unified Modeling Language) Software EB Guide Studio der Firma Elektrobit realisiert. Diese wird für die modellbasierte Entwicklung von grafischen Benutzeroberflächen eingesetzt und ermöglicht Rapid-Prototyping sowie die Simulation von kompletten Infotainmentsystemen (Fleischmann, 2007). Die Menüsimulationen können an realen

Fahrzeugdisplays illustriert werden. Über ein eigens bei Audi entwickeltes Software-Plugin können beliebige Bedienelemente an die Software angebunden werden, deren Eingangssignale in der Software mit Events verknüpft werden, welche wiederum Veränderungen der Systemzustände in der Simulation hervorrufen. Guide stellt eine Komponente der Audi Fahrsimulatorumgebung dar. Die durch die Bedienung ausgelösten Events werden von einer zentralen Software zeitsynchron zu den Fahrdaten des Simulators und den Daten des Blickerfassungssystems aufgezeichnet. Dies ermöglicht eine realistische Infotainmentsimulation in einem flexiblen Versuchssetting für eine Dual-Task Situation.

Die Schnittstelle des in dieser Arbeit verwendeten haptischen Touchpads (siehe Kapitel 3.2.1) wurde für die Anbindung an Guide und somit die Einbindung in die Audi Fahrsimulatorumgebung konzipiert.

### **5.2.3 Versuchsdurchführung**

Die Versuche lassen sich in die Phasen Vorabbefragung, Einführung, Übung, Durchführung und Nachbefragung gliedern (siehe Abbildung 5-9). Je nach Anzahl und Art der Hypothesen werden ein oder mehrere Übungs- bzw. Durchführungsphasen aneinander gereiht.

Die Einführungsphase besteht aus einer kurzen Begrüßung der Testpersonen, dem Ausfüllen eines kurzen deskriptiven Fragebogens zur Person (siehe Anlage) sowie einer Einführung in das Erkenntnisinteresse sowie den Versuchsablauf. Die Probanden werden gebeten, eine für Sie bequeme Sitzposition einzunehmen und die Blickerfassungsbrille aufzusetzen, welche im Anschluss daran kalibriert wird.

Während der Übungsphase werden den Probanden die verschiedenen Varianten der Nebenaufgabe im Stand erklärt und dürfen von diesen selbst getestet werden. Damit soll eine zu große Varianz in der Stichprobe durch unterschiedliche Herangehensweisen aufgrund verschiedener Vorkenntnisse vermieden werden, da die Untersuchung des Erstkontakts nicht im Fokus dieser Arbeit steht. Eine zweiminütige Eingewöhnungsfahrt mit dem Simulator vor Versuchsbeginn soll diesen Negativeffekt ebenfalls bei der Messung der Fahrperformancekennwerte minimieren. Zuletzt werden die Probanden nochmals gebeten, die einzelnen Nebenaufgaben während der Fahrt zu üben.

Während der Durchführungsphase bekommen die Probanden die jeweiligen Aufgaben vom Versuchsleiter vorgelesen. Die Testpersonen starten die Aufgaben jeweils selbst durch eine von der Versuchsaufgabe unabhängige Aktion wie beispielsweise das Drücken einer Taste auf dem Bedienteil. Erst danach kann der für die jeweilige Aufgabe relevante Menükontext vom Probanden gesehen werden. Somit ist ein definierter Aufgabenstart für jede Versuchsperson und jede Aufgabe gewährleistet. Im Anschluss an jede Aufgabe muss der

Proband seine absolute subjektive Bewertung zur jeweiligen Variante abgeben. Werden mehrere Fragestellungen innerhalb eines Versuchs getestet, erfolgt eine Gruppierung der Varianten einer Fragestellung. Die einzelnen Gruppen werden ebenfalls permutiert. Somit werden zu vergleichende Varianten im Versuch immer nacheinander bearbeitet, was eine Verwirrung der Probanden verhindern soll. Abbildung 5-9 visualisiert die Inhalte und Reihenfolge der einzelnen Untersuchungsphasen.

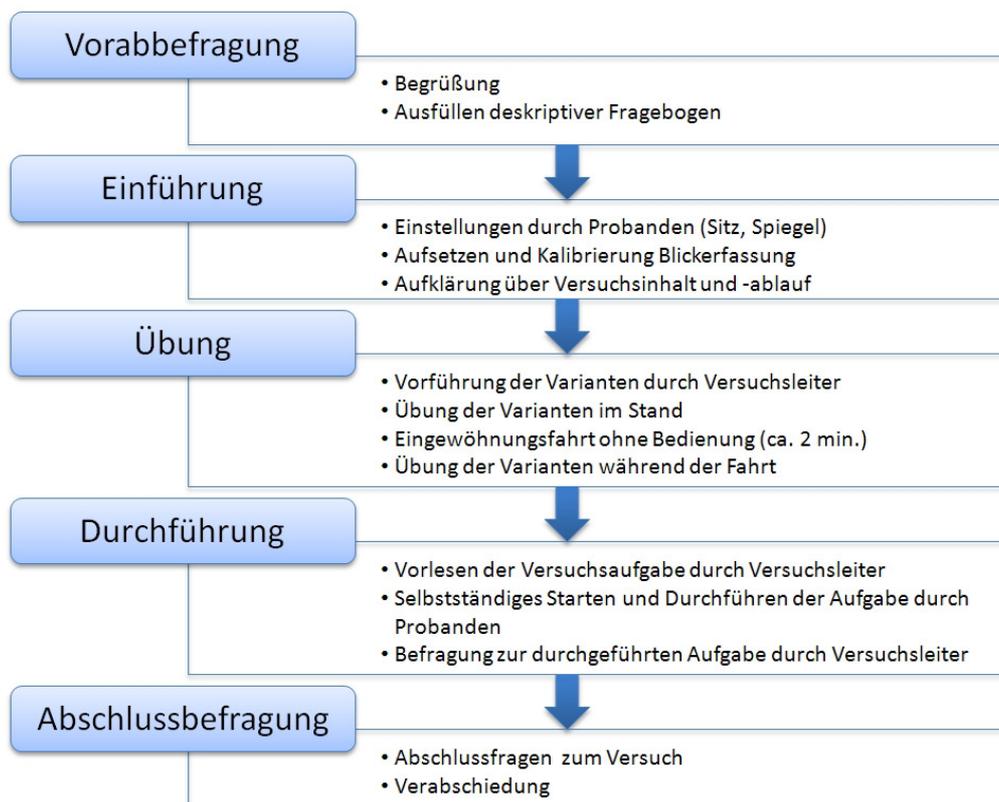


Abbildung 5-9: Aufbau der Simulatorstudien in fünf Versuchsphasen

### 5.3 Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik und interferenzstatistischen Auswertung werden in Form der Mittelwerte und Standardabweichungen sowie des partiellen  $\eta^2$ -Wertes in Tabellen angegeben. Statistisch signifikante Unterschiede sind dabei mit roten Zahlen, statistisch gleiche mit grünen Zahlen dargestellt. Ist zwischen zwei Varianten statistisch keine Aussage möglich ist der  $\alpha$ -Fehler schwarz eingetragen. Eine Beispieltabelle ist in Abbildung 5-10 zu sehen.

		Abh. Variable			
		unabh. Variable 1	unabh. Variable 2	unabh. Variable 3	unabh. Variable 4
Mittelwert		2,12	3,25	2,94	2,61
Standardabw.		1,19	1,07	1,33	1,08
α-Fehler	unabh. Variable 1		0,00	0,05	0,03
	unabh. Variable 2			1,00	0,04
	unabh. Variable 3				1,00
	unabh. Variable 4				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,173$			

Abbildung 5-10: Beispeltabelle mit den deskriptiven und inferenzstatistischen Ergebnissen für einen erhobenen Kennwert

Zur besseren Deutung der Ergebnisdiagramme werden die Mittelwertsbalken die sich signifikant voneinander unterscheiden mit einem horizontalen Pfeil verbunden. Die Mittelwerte deren  $\alpha$ -Fehler größer als 25% ist, werden anhand einer Linie mit Punkten an den jeweiligen Enden gekennzeichnet. Ein Beispieldiagramm ist in Abbildung 5-11 dargestellt.

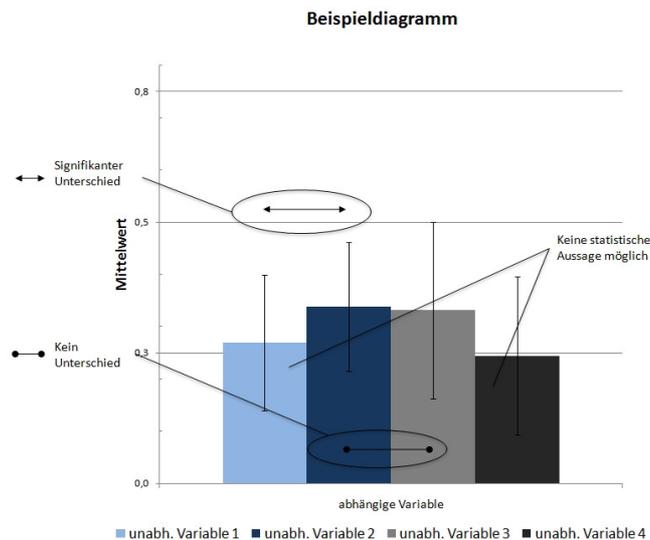


Abbildung 5-11: Beispiel für die Beschriftung der Ergebnisdiagramme

## 6 Simulatoruntersuchungen

Im Folgenden werden die Probandentests im statischen Fahrsimulator zur Untersuchung der in Kapitel 5.1 beschriebenen Hypothesen zur Auslegung einer Touchpadbedienung sowie dem Vergleich der hier entwickelten Touchpadvariante mit einer herkömmlichen Bedienalternative für Dualtask- Applikationen vorgestellt. Dabei wird für jede Untersuchung das spezifische Versuchsdesign erklärt. Im Anschluss werden die Ergebnisse dargestellt.

Sämtliche Aufgaben wurden mit den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Prototypen eines haptischen Touchpads in der in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Versuchsumgebung durchgeführt. Abbildung 6-1 zeigt den Einbau des Bedienelements in die Mittelkonsole des statischen Fahrsimulators.



*Abbildung 6-1: Einbau haptisches Touchpad als Beispiel eines zentralen Infotainmentbedienteils in die Mittelkonsole des statischen Fahrsimulators*

## 6.1 Fahrsimulatorstudie zur Auslegung einer Touchpadinteraktion

### Teil 1

In dieser Studie werden verschiedene Interaktionsformen für die Aufgabentypen „Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen“, „Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen“ und „Einstellaufgaben eindimensional“ miteinander verglichen. Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, in wie weit durch Formgebung zusätzlich über den haptischen Kanal Information übertragen und somit der visuelle Aufwand bei der Bedienung der Nebenaufgabe reduziert werden kann.

#### 6.1.1 Versuchsdesign

Im Folgenden werden das verwendete Probandenkollektiv, die zu Grunde liegenden unabhängigen Variablen und die Versuchsaufgaben dargestellt.

##### 6.1.1.1 Probandenkollektiv

Studie 1 wurde mit einer abhängigen Stichprobe von 36 Probanden (25 M, 11 F,  $\bar{O}=39,36$  Jahre,  $s_d=10,73$  Jahre) in einem within subject design durchgeführt. Abbildung 6-2 zeigt die Altersverteilung der Testpersonen.

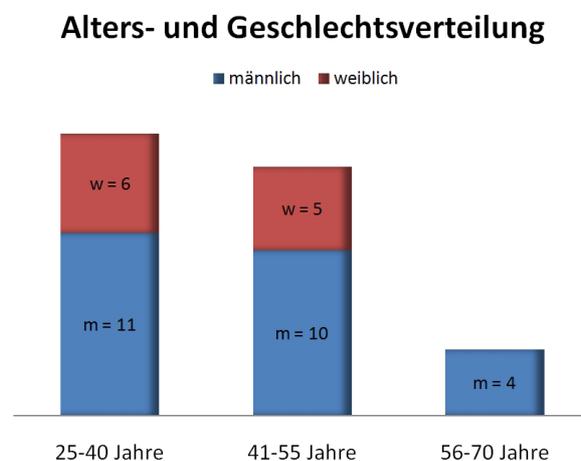


Abbildung 6-2: Altersverteilung der in Studie 1 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts

##### 6.1.1.2 Untersuchungsvariablen

Die Auswahlaufgabe mit weniger als neun Optionen wird durch eine klassische Menüauswahl in Form des Navigationshauptmenüs repräsentiert. Dieser Aufgabentyp kann sowohl ein- als auch zweidimensional bedient werden. Im Versuch wird daher die Auswahlaufgabe mittels Drehrad mit einer Tasten-Matrix in einem 1x2 within subject design

verglichen. Bei der ersten Variante muss durch eine Bewegung des Fingers auf der Kreisbahn der Cursor auf eine der Menüoptionen bewegt werden. Die Bedienlogik ist dabei absolut ausgelegt. Die Auswahl wird durch Druck auf die Taste in der Mitte der Kreisbahn bestätigt. Bei der Tasten-Matrix erfolgt die Auswahl durch direktes Drücken einer Taste. Die Varianten sind Abbildung 6-3 zu entnehmen.

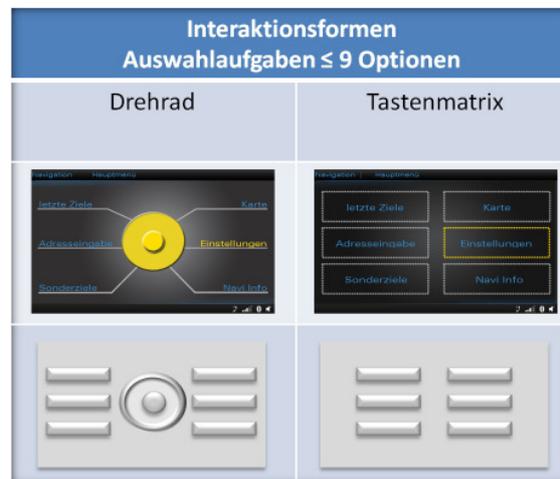


Abbildung 6-3: Zellenplan zum Vergleich der zwei Interaktionsformen für Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen

Die Auslegung der Auswahl Aufgabe mit mehr als neun Optionen wird ausschließlich für die eindimensionale Darstellungsform der Liste untersucht. Da nur maximal neun Optionen simultan auf dem Bildschirm dargeboten werden können, steht bei dieser Art der Auswahl Aufgabe das Verschieben des Auswahlbereichs im Vordergrund. Hierfür stehen wie in Kapitel 3.2.2 hergeleitet die vier eindimensionalen Interaktionsformen Schieber relativ, Schieber absolut, Taste und Drehrad zur Auswahl. Somit handelt es sich um ein 1x4 within subject design. Die Auswahl der entsprechenden Option erfolgt durch direkten Druck auf das erhabene Listenelement. Dieser Aufgabentyp wird im Rahmen der Studie anhand einer Radiosenderliste untersucht. Der Zellenplan ist in Abbildung 6-4 dargestellt.



Abbildung 6-4: Zellenplan zum Vergleich der vier Interaktionsformen für Auswahlaufgaben  $> 9$  Optionen

Die eindimensionale Einstellaufgabe wird im Versuch durch die Einstellung der Helligkeit der Navigationskarte repräsentiert. Die Interaktionsvarianten sind dabei die gleichen wie bei der Auswahlaufgabe. Die Varianten des 1x4 within subject design sind Abbildung 6-5 zu entnehmen.

Interaktionsformen Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional			
Schieber absolut	Schieber relativ	Drehrad relativ	Taste

Abbildung 6-5: Zellenplan zum Vergleich der vier Interaktionsformen für Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional

Die zweite Fragestellung, welcher im Rahmen der ersten Studie nachgegangen werden soll, beschäftigt sich mit der Möglichkeit durch haptische Formgebung Informationen der Nebenaufgabe zu übermitteln (siehe Abbildung 6-6).

		Orientierungshilfe Formkodierung (Taste)		Orientierungshilfe Formkodierung (Taste)	
		Standard	Formkodiert	Standard	Formkodiert
Aufgabentyp	Auswahlaufgabe > 9 Optionen				
Aufgabentyp	Einstellaufgabe 1-dimensional				
Aufgabentyp	Einstell-/Verschiebeaufgabe				

Abbildung 6-6: Zellenpläne zur Untersuchung der Orientierungshilfe durch Formkodierung

Hierzu werden weitere Formen der Interaktionsvarianten für die bereits genannten Aufgaben Listenauswahl und Helligkeitseinstellung entworfen und mit den Standardformen verglichen. Die Variantenvergleiche werden mit verschiedenen Interaktionselementen und an verschiedenen Aufgabentypen getestet und sind Abbildung 6-6 zu entnehmen. Die Variante Taste wird für die Helligkeitseinstellung in Form von Plus und Minus und für die Listenaufgabe in Form von zwei Richtungspfeilen dargestellt. Der absolute Schieber wird für die Einstellaufgabe ebenfalls um die formkodierte Variante einer sich verjüngenden Schiebepfeil ergänzt.

### 6.1.1.3 Versuchsaufgaben und Durchführung

Die Vergleiche werden in zwei Versuchsaufgaben durchgeführt. Die erste Aufgabe besteht aus der Auswahlaufgabe mit mehr als neun Optionen in Form eines Radiosenders aus einer Radiosenderliste. Die Aufgabe ist exemplarisch in Abbildung 6-7 zu sehen.

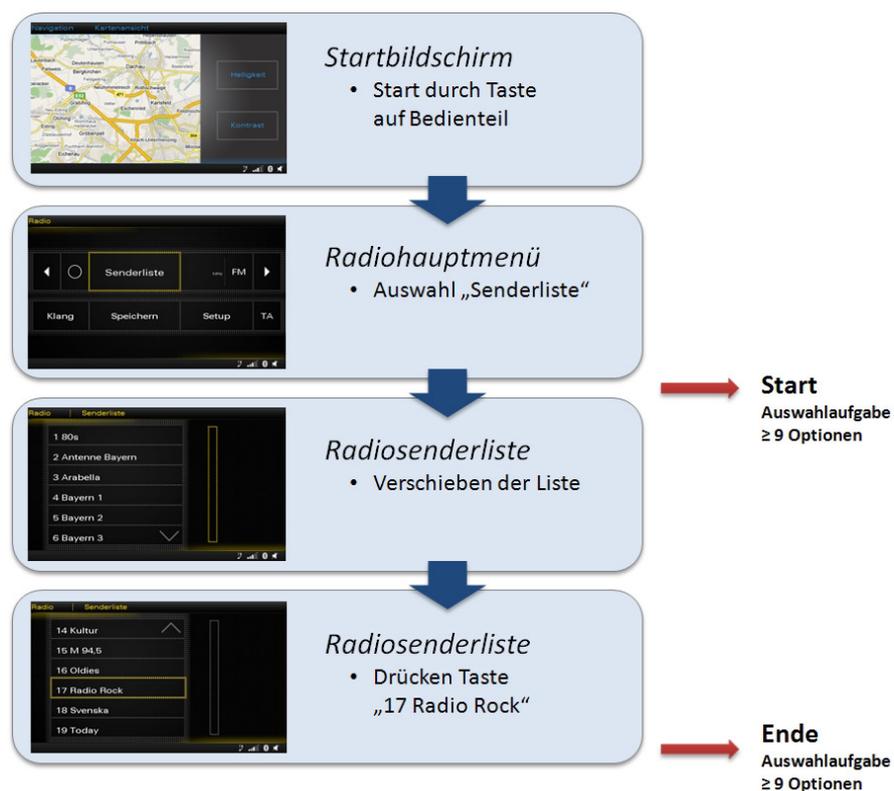


Abbildung 6-7: Exemplarische Darstellung von Aufgabe 1 - Aufgabentyp Auswahlaufgabe > 9

Die zweite Versuchsaufgabe beinhaltet sowohl die Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen in Form der Menüauswahl aus dem Navigationshauptmenü als auch die eindimensionale Einstellaufgabe in Form der Verstellung der Helligkeit der Navigationskarte (siehe Abbildung 6-8). Die formkodierte Interaktionsvarianten werden in beiden Aufgabentypen mit getestet.

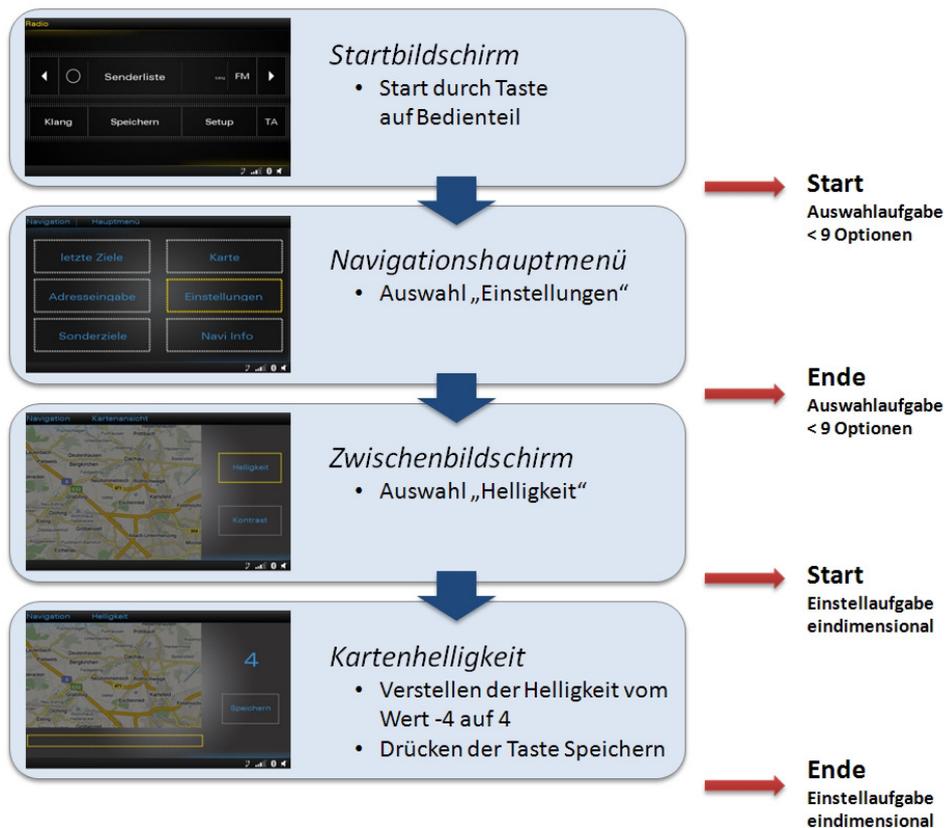


Abbildung 6-8: Exemplarische Darstellung von Aufgabe 2 - Aufgabentyp Auswahlaufgabe  $\leq 9$  sowie Einstellaufgabe 1-dimensional

In einem Versuchsplan werden in beiden Aufgaben die vier Standardinteraktionsformen permutiert. Die formkodierte Varianten werden jeweils an den entsprechenden Stellen ihrer Standard Pendants eingeschoben. Somit bildet die Fragestellung nach der Informationsübermittlung eine Untergruppe, welche in sich ebenfalls permutiert wird. Der Ablauf ist Abbildung 6-9 zu entnehmen. Jedes Rechteck stellt dabei eine Versuchsaufgabe mit einer der zu testenden Varianten dar. Im Anschluss an jede Aufgabe gibt der Proband eine absolute Bewertung der getesteten Variante hinsichtlich des subjektiv empfundenen Bedienkomforts und der subjektiv empfundenen Ablenkung von der Fahraufgabe auf einer fünfstufigen Skala an. Sind mehrere Rechtecke in einem Rechteck zusammengefasst, wie beispielsweise die formkodierte Variante des absoluten Schiebers und die Standardform, werden diese in sich permutiert bearbeitet. Diese Gruppierung von Varianten im Versuch ermöglicht eine direkte subjektive Vergleichbarkeit der konkurrierenden Varianten durch die Probanden.

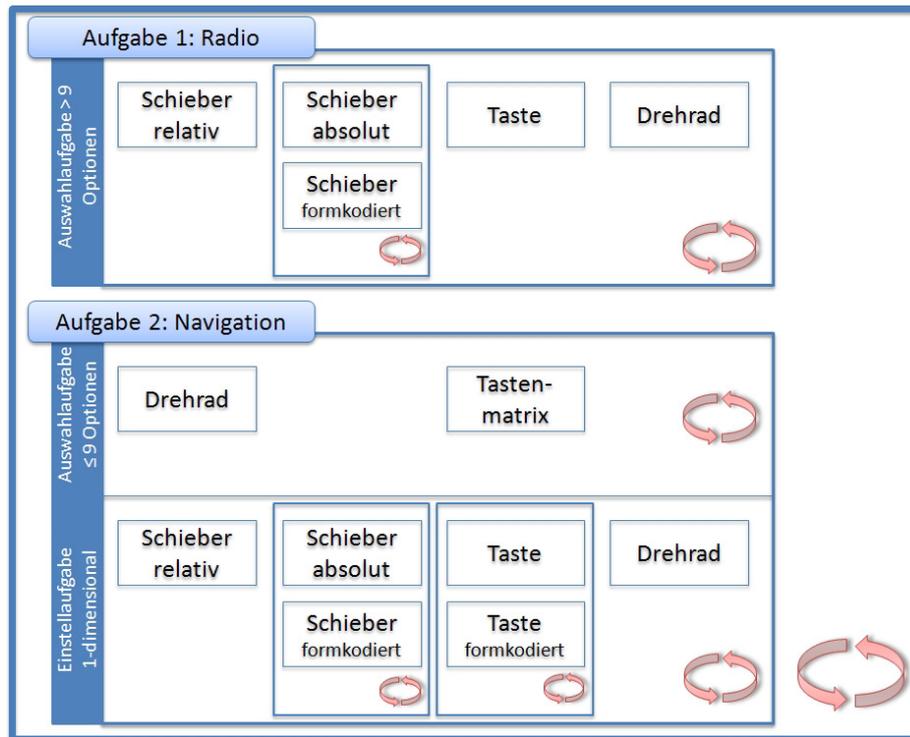


Abbildung 6-9: Permutationsplan der in Studie 1 verglichenen Varianten

## 6.1.2 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulatorstudie vorgestellt. Dabei werden zunächst die drei Hypothesen zu den Interaktionsformen für die jeweiligen Aufgabentypen und anschließend in einem weiteren Abschnitt die Hypothese zu den haptischen Orientierungsformen untersucht.

### 6.1.2.1 Interaktionsformen für Touchpadbedienung

Die Darstellung der Ergebnisse zu den Interaktionsformen dieser Studie wird in die Abschnitte nach den drei getesteten Aufgabentypen unterteilt. Teile dieser Ergebnisse sind ebenfalls unter Spies & Bubb (2009) zu entnehmen.

#### 6.1.2.1.1 Ergebnisse für Auswahlaufgaben $\leq 9$ Optionen

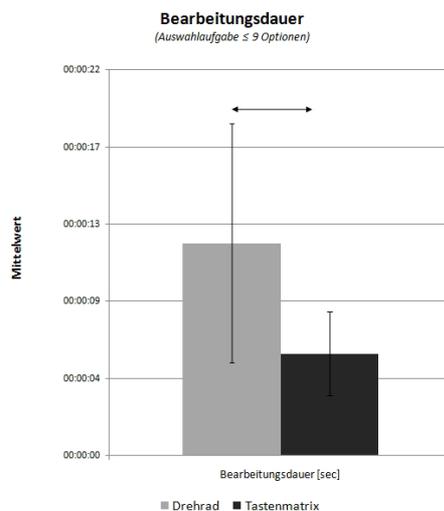
Für die Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen wurden in Abschnitt 3.2.2 die zwei Interaktionskonzepte Drehrad und Tastenmatrix gefunden. Für die Untersuchung dieser Variablen wurde folgende Alternativhypothese formuliert:

*H<sub>1-Int\_1</sub>: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad und einer 2x3 Tastenmatrix in der*

*Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

Die Betrachtung der objektiven Ergebnisse hinsichtlich Bearbeitungszeit, Blickverhalten und Fahrperformance liefern ein durchgängig eindeutiges Ergebnis.

Die Betrachtung der Bedienleistung in Form der Aufgabenbearbeitungsdauer zeigt, dass eine deutlich schnellere Bearbeitung mit der Interaktionsform Tastenmatrix möglich ist (siehe Abbildung 6-10). Die Betrachtung der Mittelwerte zeigt, dass die Bearbeitung sogar in der Hälfte der Zeit erledigt werden konnte.



*Abbildung 6-10: Bearbeitungsdauer bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen*

Bei Betrachtung der Ergebniswerte in Tabelle 6-1 wird deutlich, dass es sich mit  $p < .05$  um ein signifikantes Ergebnis mit einer großen Effektstärke handelt.

*Tabelle 6-1: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bearbeitungsdauer bei der Bedienung der Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen*

		Bearbeitungsdauer	
		Drehrad	Tastenmatrix
Mittelwert		00:00:12	00:00:06
Standardabw.		00:00:07	00:00:02
$\alpha$ -Fehler	Drehrad		0,00
	Tastenmatrix		
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,45$	

Wie Abbildung 6-11 zeigt, liefern die Ergebnisse des Blickverhaltens der Probanden bei der Bedienung der Nebenaufgabe sowohl für die aggregierte Betrachtung über die Gesamtaufgabe als auch bei der Betrachtung der Einzelblicke das gleiche Ergebnis zu Gunsten der Tastenmatrix.

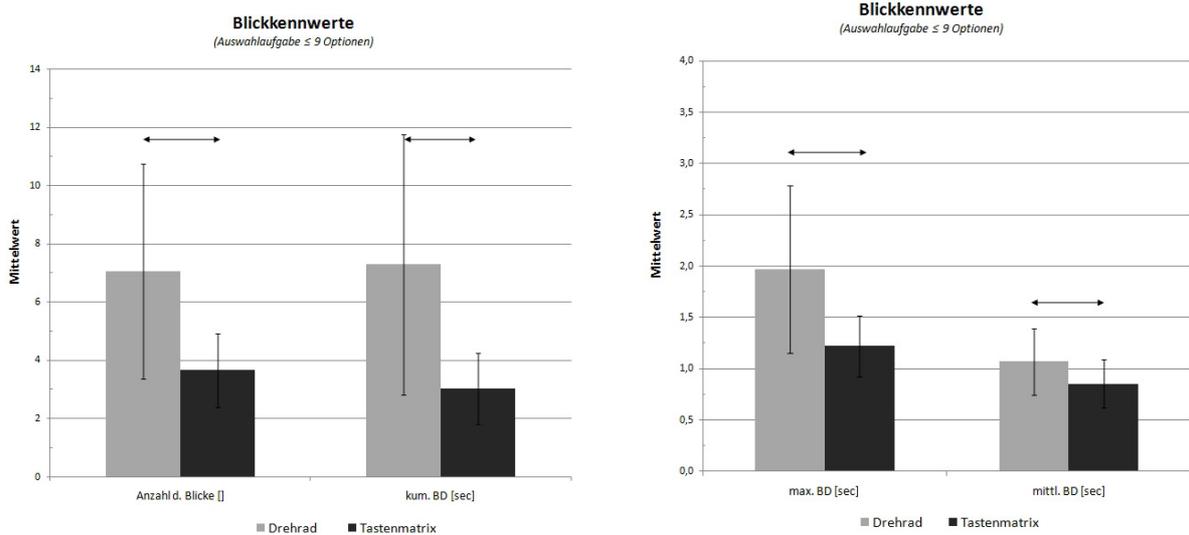


Abbildung 6-11: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie mittlere Bewertung der Einzelblicke (rechts) bei der Bearbeitung einer Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad

Tabelle 6-2 bestätigt die Eindeutigkeit dieses Ergebnisses und zeigt, dass auch diese vier Ergebnisse allesamt signifikant sind und eine große Effektstärke haben. Hier kann jedoch auch angemerkt werden, dass hinsichtlich der in den aktuell gültigen AAM (2006) Guidelines geforderten Kriterien bezüglich der mittleren Einzelblickdauer, welche unter einem Grenzwert von 2 Sekunden liegen muss, beide Varianten mit Einzelblickdauern knapp unter und knapp über einer Sekunde akzeptable Werte liefern.

Tabelle 6-2: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen

		Anzahl Blicke		kum. BD		max. BD		mittl. BD	
		Drehrad	Tastenmatrix	Drehrad	Tastenmatrix	Drehrad	Tastenmatrix	Drehrad	Tastenmatrix
Mittelwert		7,06	3,67	7,29	3,03	1,97	1,22	1,07	0,85
Standardabw.		3,70	1,26	4,47	1,23	0,82	0,30	0,32	0,24
α-Fehler	Drehrad		0,00		0,00		0,00		0,00
	Tastenmatrix								
partielles η <sup>2</sup>		ω <sup>2</sup> = 0,45		ω <sup>2</sup> = 0,47		ω <sup>2</sup> = 0,45		ω <sup>2</sup> = 0,31	

Abbildung 6-12 und Tabelle 6-3 zeigen, dass die Variable Interaktionselement auch einen nachweisbaren signifikanten Effekt auf die Fahrperformance in Form der Spurhaltung aufweist. Dieses Ergebnis, welches ebenfalls mit einer großen Effektstärke nachgewiesen werden kann, komplettiert die Darstellung der objektiven Verhaltensdaten.

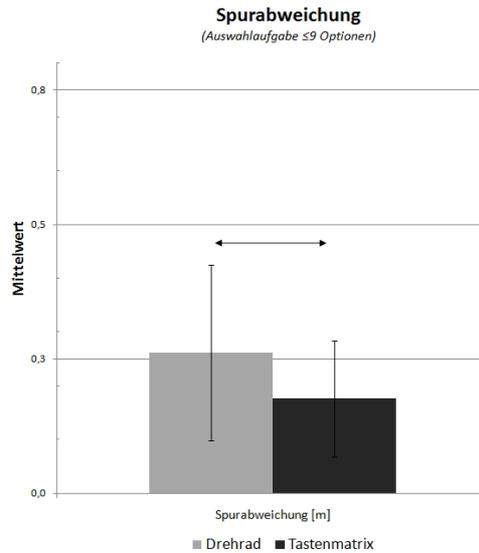


Abbildung 6-12: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen

Tabelle 6-3: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurhaltung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen

		Spurabweichung	
		Drehrad	Tastenmatrix
Mittelwert		0,26	0,18
Standardabw.		0,16	0,11
α-Fehler	Drehrad		0,01
	Tastenmatrix		
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,17$	

Die subjektive Einschätzung der Probanden hinsichtlich der empfundenen Ablenkung und des Bedienkomforts auf einer fünfstufigen Skala untermauert, wie in Abbildung 6-13 und Tabelle 6-4 zu sehen ist, die objektiven Daten mit ebenfalls signifikanten Ergebnissen. Beide Ergebnisse weisen zudem ebenfalls große Effektstärken auf.

Tabelle 6-4: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Aussagen bei der Bedienung der Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen

		Ablenkung		Bedienung	
		Drehrad	Tastenmatrix	Drehrad	Tastenmatrix
Mittelwert		3,42	2,36	3,31	1,81
Standardabw.		1,05	0,68	1,19	0,67
α-Fehler	Drehrad		0,00		0,00
	Tastenmatrix				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,56$		$\omega^2 = 0,64$	

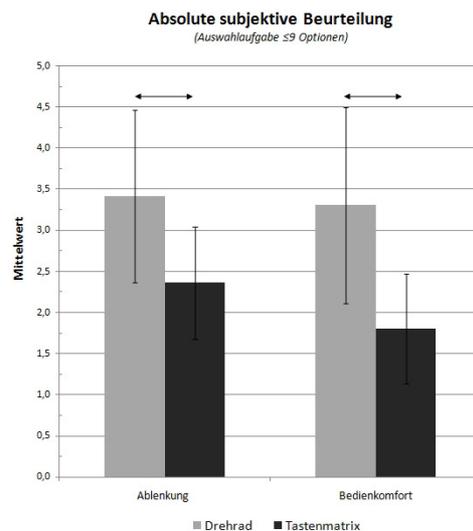


Abbildung 6-13: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Alternativhypothese  $H_1-Int_1$  für alle gemessenen Kennwerte bestätigt werden kann. Dies lässt auf einen höheren Bedienkomfort sowie eine geringere Ablenkung von der Fahraufgabe durch die Bedienung der Nebenaufgabe mit der Tastenmatrix schließen.

#### 6.1.2.1.2 Ergebnisse für Auswahlaufgaben > 9 Optionen

Als nächstes werden die Ergebnisse für die Interaktion mit der Auswahlaufgabe > 9 Optionen vorgestellt. Die Auswahl der Zieloption im sichtbaren Bereich der Liste erfolgt bei allen vier Optionen durch direktes Drücken des Listenelements auf einer Taste. Variiert wird hingegen das Interaktionsmittel zum Verschieben der Liste. Hierzu stehen aus Kapitel 3.2.2 die vier Interaktionskonzepte des kontinuierlichen Schiebers in relativer und absoluter Ausführung, eine kontinuierliche Kreisbahn sowie zwei diskrete Tasten zum zeilenweise auf- und ab Bewegen der Liste zur Verfügung. Die der Untersuchung zugrunde liegende Alternativhypothese lautet wie folgt:

*$H_1-Int_2$ : Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

Die Betrachtung der benötigten Aufgabenbearbeitungszeit zur Beurteilung der Bedienleistung in Abbildung 6-14 zeigt, dass der relative Schieber die schnellste Aufgabenbearbeitung ermöglicht.

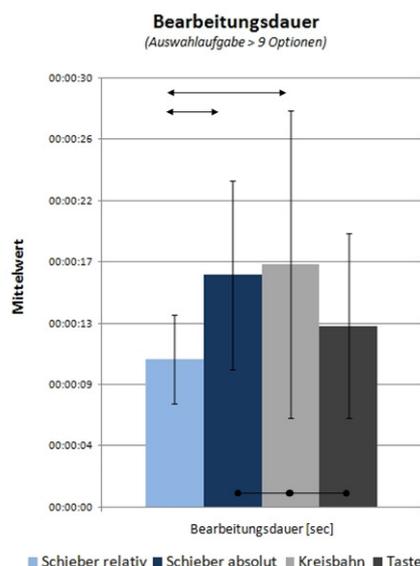


Abbildung 6-14: Bearbeitungsdauer bei der Bedienung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen

Tabelle 6-5 ist zu entnehmen, dass der Unterschied zur absoluten Variante des Schiebers und zum kontinuierlichen Drehrad mit  $p < .05$  signifikant ist. Die Variablen Drehrad, Schieber absolut und diskrete Tasten sind mit  $p > .25$  statistisch gleich hinsichtlich der Bearbeitungsdauer. Lediglich bezüglich des direkten Vergleichs zwischen dem Schieber relativ und den Tasten lässt sich keine statistische Aussage treffen.

Tabelle 6-5: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Auswahlaufgabe > 9 Optionen

		Bedienzeiten			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		00:00:10	00:00:16	00:00:17	00:00:13
Standardabw.		00:00:03	00:00:07	00:00:11	00:00:06
α-Fehler	Schieber relativ		0,00	0,01	0,21
	Schieber absolut			1,00	0,07
	Drehrad				0,27
	Taste				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,17$			

Die Betrachtung der Blickkennwerte setzt den Trend der Ergebnisse aus der Bearbeitungszeit fort. Das aggregierte Blickverhalten über die gesamte Aufgabendauer zeigt mit  $p < .05$  sowohl eine signifikant geringere Anzahl an Blicken zur Nebenaufgabe bei der Bedienung mit dem relativen Schieber im Vergleich zum absoluten Schieber als auch eine signifikant kürzere Gesamtblickdauer zur Nebenaufgabe im Vergleich zum absoluten Schieber sowie zum Drehrad. Hinsichtlich der maximalen Einzelblickdauer besteht hier allerdings kein statistischer Unterschied zwischen den genannten Varianten und auch die Betrachtung der mittleren Einzelblickdauer zeigt keinen statistischen Unterschied zwischen dem relativen Schieber und dem Drehrad.

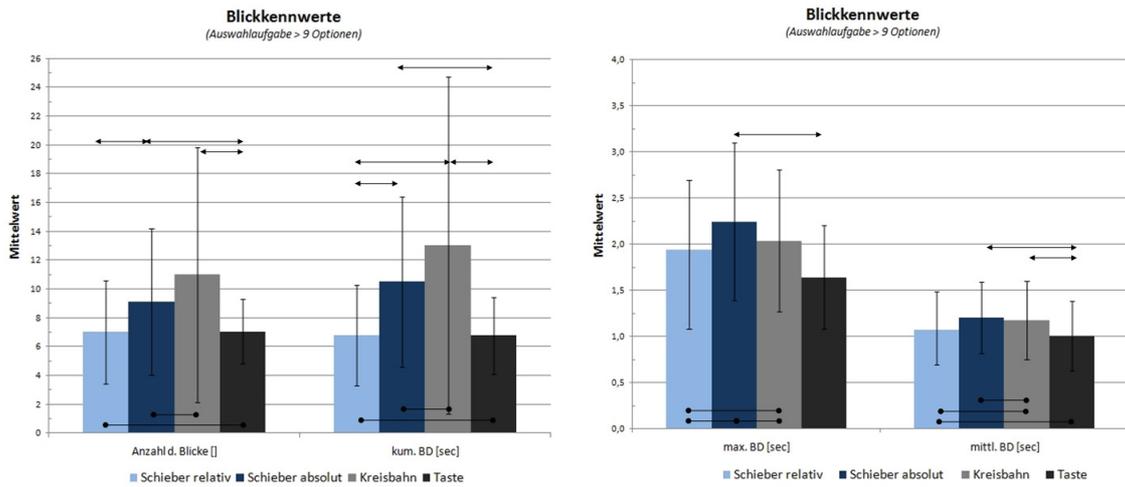


Abbildung 6-15: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Auswahlaufgabe > 9 Optionen mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad

Der Unterschied des relativen Schiebers und des absoluten Schiebers liegt bei der mittleren Blickdauer im statistischen Graubereich. Der Vergleich zwischen dem relativen Schieber und den Tasten zeigt bis auf die maximale Einzelblickdauer, wo mit  $p=.19$  keine Aussage bezüglich eines Unterschieds geliefert werden kann, statistische Gleichheit zwischen den beiden Varianten. Im Vergleich zum absoluten Schieber und zum Drehrad schneiden die Tasten in allen Kennwerten bis auf die maximale Blickdauer signifikant besser ab. Lediglich bei der maximalen Blickdauer lässt sich zwischen den Tasten und der Kreisbahn keine Aussage treffen. Die Blickergebnisse sind in Tabelle 6-6 nochmals in Zahlen nachlesbar.

Tabelle 6-6: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Auswahlaufgabe > 9 Optionen

	Anzahl Blicke				kumulierte Blickdauer				max. Blickdauer				mittl. Blickdauer				
	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	
Mittelwert	7,00	9,09	11,00	7,06	6,77	10,52	13,05	6,78	1,94	2,24	2,04	1,64	1,08	1,21	1,18	1,01	
Standardabw.	3,56	5,08	8,85	2,22	3,48	5,91	11,70	2,66	0,76	0,85	0,77	0,56	0,41	0,39	0,43	0,38	
$\alpha$ Fehler	Schieber relativ		0,01	0,06	1,00		0,00	0,00	1,00		0,29	1,00	0,19		0,07	0,73	1,00
	Schieber absolut			0,97	0,04		1,00	0,00			0,91	0,00			1,00	0,02	0,02
	Drehrad				0,05			0,01				0,06					0,00
	Taste																0,00
partielles $\eta^2$	$\omega^2=0,15$				$\omega^2=0,19$				$\omega^2=0,15$				$\omega^2=0,12$				

Hinsichtlich der Fahrperformance schneiden die Tasten bei der gemessenen Spurhaltung signifikant besser ab als die Kreisbahn und der absolute Schieber. Die Tasten und der relative Schieber hingegen liefern ein statistisch gleiches Ergebnis (siehe Abbildung 6-16).

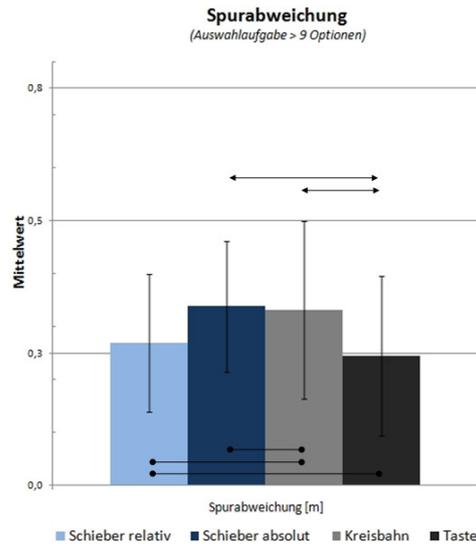


Abbildung 6-16: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Auswahlaufgabe > 9 Optionen

Zwischen den restlichen Varianten ist entweder keine Aussage möglich oder statistisch kein Unterschied vorhanden.

Tabelle 6-7: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurhaltung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe > 9 Optionen

		Spurabweichung			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		0,27	0,34	0,33	0,24
Standardabw.		0,13	0,12	0,17	0,15
α-Fehler	Schieber relativ		0,09	0,59	1,00
	Schieber absolut			1,00	0,04
	Drehrad				0,01
	Taste				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,11$			

Tendenziell kann man jedoch der Abbildung 6-16 entnehmen, dass der Mittelwert der Spurabweichung beim relativen Schieber auch geringer ist als bei den Varianten Drehrad und Schieber absolut. Das Ergebnis der Post-Hoc Vergleiche, welche keinen Nachweis von Effekten zulassen, beruhen vermutlich auf den durchgängig im Vergleich zu den Mittelwerten hohen Standardabweichungen. Diese Vermutung wird auch durch die nur mittlere Effektstärke der Varianzanalyse unterstützt, wie Tabelle 6-7 zu entnehmen ist.

Die subjektiven Beurteilungen durch die Probanden gehen einher mit den objektiv gemessenen Ergebnissen. Abbildung 6-17 zeigt, dass die Probanden bezüglich der empfundenen Ablenkung von der Primäraufgabe bei der Bedienung der Nebenaufgabe hinsichtlich der unterschiedlichen Varianten zwar keinen Unterschied sehen, bezüglich des Bedienkomforts der relative Schieber aber als signifikant besser empfunden wird. Zwischen dem Drehrad und dem absoluten Schieber sowie den Tasten sehen die Probanden keinen messbaren Unterschied. Lediglich zwischen den Tasten und dem absoluten Schieber

besteht hinsichtlich des subjektiv empfundenen Bedienkomforts ein statistisch signifikanter Unterschied. Die Ergebnisse sind zahlenmäßig Tabelle 6-8 zu entnehmen.

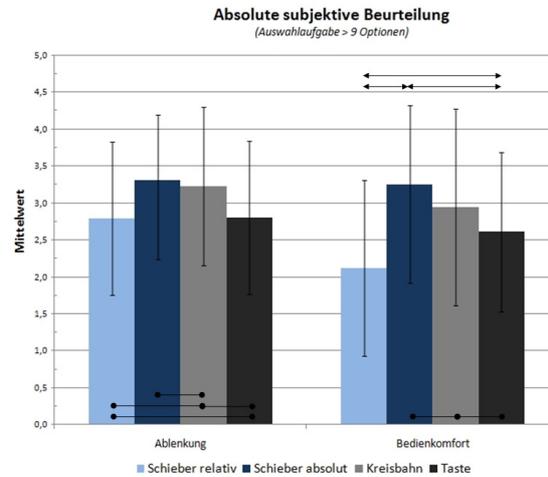


Abbildung 6-17: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Auswahlaufgabe > 9 Optionen (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Tabelle 6-8: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung der Auswahlaufgabe > 9 Optionen

		Ablenkung				Bedienung			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		2,79	3,31	3,22	2,81	2,12	3,25	2,94	2,61
Standardabw.		1,04	0,88	1,07	1,04	1,19	1,07	1,33	1,08
α-Fehler	Schieber relativ		0,08	0,44	1,00		0,00	0,05	0,03
	Schieber absolut			1,00	0,13			1,00	0,04
	Drehrad				0,42				1,00
	Taste								
partielles η²		ω² = 0,09				ω² = 0,17			

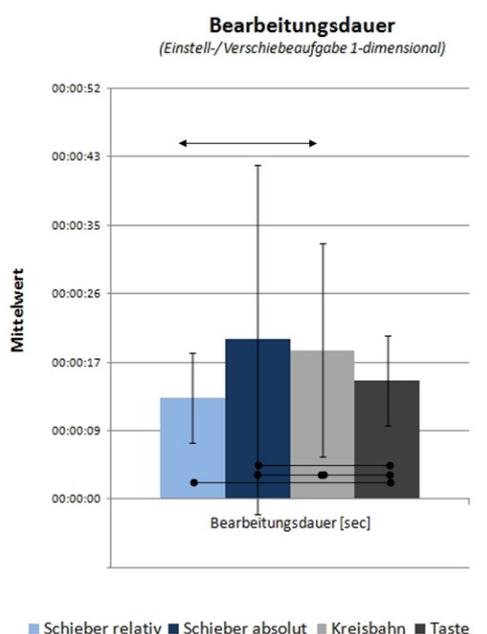
Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich durch die Varianzanalyse in den Kennwerten der Fahrperformance, des Blickverhaltens sowie der Bedienleistung jeweils ein Effekt nachweisen lässt, was eine Bestätigung der Alternativhypothese  $H_1-Int\_2$  für diese Kennwerte zulässt. Für die subjektive Beurteilung hinsichtlich des Bedienkomforts lässt sich  $H_1-Int\_2$  ebenfalls bestätigen. Lediglich für die subjektiv empfundene Ablenkung lässt sich kein Effekt nachweisen, was zu einer Beibehaltung der Nullhypothese für diesen Kennwert führt. Die Paarvergleiche ergeben einen deutlichen Vorteil für den relativen Schieber sowie die Tasteninteraktion im Vergleich zu den restlichen Varianten. Der relative Schieber hat einen Vorteil in der Bearbeitungsdauer und wird im Vergleich zu den restlichen Varianten als signifikant komfortabler zu bedienen beurteilt. Insgesamt lässt dieses Ergebnis darauf schließen, dass sowohl die Tasten als auch der Schieber für die Auswahlaufgabe 9 > Optionen im Vergleich zu den restlichen Bedienvarianten sowohl einen Vorteil zur Reduzierung der Ablenkung von der Fahraufgabe als auch zur Erhöhung des Bedienkomforts bringen. Im direkten Vergleich schneidet in puncto Bedienkomfort der relative Schieber vor allem subjektiv noch besser ab.

### 6.1.2.1.3 Ergebnisse für Einstell-/ Verschiebeaufgaben 1-dimensional

Zur Bearbeitung der eindimensionalen Verschiebe-/Einstellaufgabe hatten die Probanden dieselben Interaktionselemente wie für die zuvor behandelte Auswahlaufgabe > 9 Optionen (vgl. Kapitel 3.2.2). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse dienen der Überprüfung folgender Hypothese:

*H<sub>1</sub>-Int\_3: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem Drehrad, Tasten, einem relativen und einem absoluten Schieber in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

Zunächst werden mit Abbildung 6-18 wieder die Bearbeitungsdauern betrachtet. Bis auf einen signifikanten Unterschied zwischen dem relativen Schieber und der Kreisbahn sind alle weiteren Vergleiche statistisch gesehen gleich. Auffallend ist eine sehr große Standardabweichung bei der Variante des absoluten Schiebers. Werden die Mittelwerte absolut betrachtet schneidet dieser im Vergleich zu den restlichen Varianten auch am schlechtesten ab.



*Abbildung 6-18: Bearbeitungsdauern bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional*

Absolut gesehen erreicht der relative Schieber knapp gefolgt von den Tasten das beste Ergebnis (vgl. Tabelle 6-9).

Tabelle 6-9: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional

		Bedienzeiten			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		00:00:13	00:00:20	00:00:19	00:00:15
Standardabw.		00:00:06	00:00:22	00:00:13	00:00:06
α-Fehler	Schieber relativ		0,17	0,03	0,33
	Schieber absolut			1,00	0,60
	Drehrad				0,30
	Taste				
partielles η <sup>2</sup>		ω <sup>2</sup> = 0,025			

Bei der Betrachtung des Blickverhaltens in Abbildung 6-19 muss zwischen der aggregierten Blickbetrachtung über die ganze Aufgabe und der Betrachtung der Einzelblicke unterschieden werden.

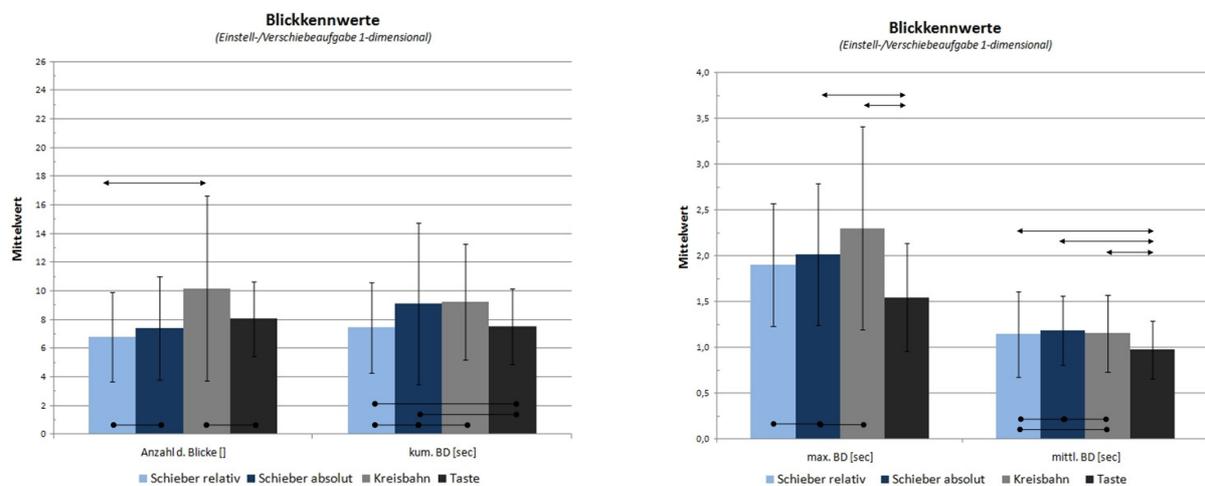


Abbildung 6-19: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad

Bezüglich der Anzahl der Blicke und der kumulierten Blickdauer gibt es so gut wie keine statistisch nachweisbaren Unterschiede. Lediglich bei der Anzahl der Blicke weist der relative Schieber im Vergleich zur Kreisbahn einen signifikant geringeren Wert auf. Bei Betrachtung der Einzelblicke hingegen weisen die Tasten im Vergleich zu den anderen drei Varianten signifikant kürzere mittlere Einzelblickdauern auf, während zwischen diesen drei bezüglich dieses Kennwerts kein statistischer Unterschied besteht. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der maximalen Blickdauer. Jedoch kann auch festgehalten werden, dass die mittleren Einzelblickdauern der vier Varianten bei der Bedienung dieses Aufgabentyps allesamt unter der kritischen 2- Sekunden Grenze liegen. In Tabelle 6-10 sind die Ergebnisse in Zahlenform nochmals gegenübergestellt.

Tabelle 6-10: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional

		Anzahl Blicke				kum. BD				max. BD				mittl. BD			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		6,80	7,39	10,17	8,06	7,44	9,11	9,25	7,52	1,90	2,02	2,30	1,55	1,15	1,19	1,15	0,97
Standardabw.		3,12	3,59	6,45	2,60	3,16	5,61	4,04	2,62	0,67	0,77	1,11	0,59	0,47	0,38	0,42	0,31
α-Fehler	Schieber relativ		1,00	0,01	0,12		0,50	0,13	1,00		1,00	0,07	0,06		1,00	1,00	0,04
	Schieber absolut			0,08	1,00			1,00	0,39			1,00	0,00			1,00	0,00
	Drehrad				0,22				0,05				0,00				0,01
	Taste																
partielles η²		ω²=0,066				ω²=0,117				ω²=0,170				ω²=0,117			

Bezüglich der Spurabweichung kann statistisch kein Unterschied zwischen den verschiedenen Interaktionsvarianten nachgewiesen werden (siehe Abbildung 6-20 und Tabelle 6-11).

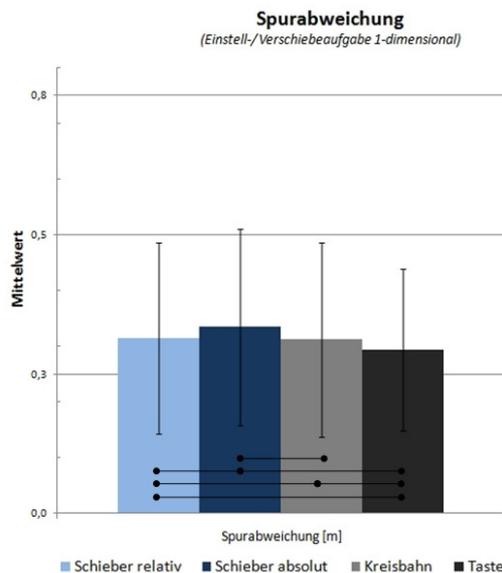


Abbildung 6-20: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional

Tabelle 6-11: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurabweichung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional

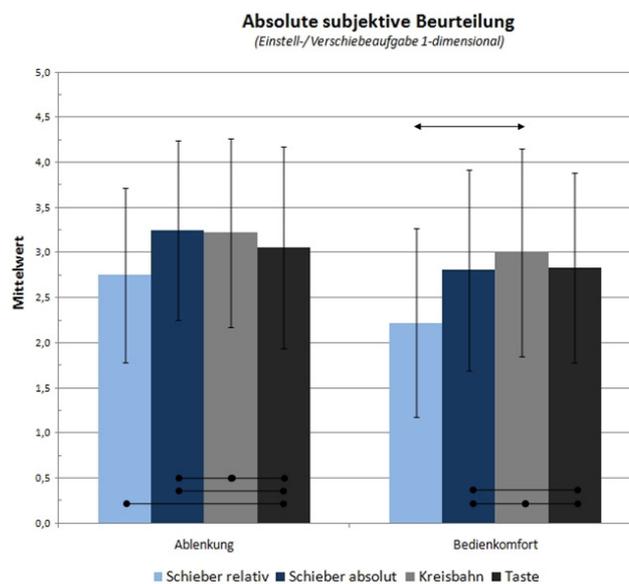
		Spurabweichung			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		0,31	0,33	0,31	0,29
Standardabw.		0,17	0,18	0,17	0,15
α-Fehler	Schieber relativ		1,00	1,00	1,00
	Schieber absolut			1,00	1,00
	Drehrad				1,00
	Taste				
partielles η²		ω²=0,01			

Dies deckt sich ebenfalls mit der subjektiv empfundenen Ablenkung der Probanden. Auch hier kann, wie in Abbildung 6-21 und Tabelle 6-12 ersichtlich, kein Unterschied zwischen den Varianten nachgewiesen werden. Lediglich beim subjektiv empfundenen Bedienkomfort ergibt sich eine Tendenz. Absolut gesehen erreicht der relative Schieber die beste Bewertung. Im Vergleich zur Kreisbahn ist dieser Unterschied sogar signifikant. Zu den anderen Varianten liegt die Fehlerwahrscheinlichkeit p im statistischen Graubereich.

Zwischen den drei Varianten absoluter Schieber, Kreisbahn und Tasten sehen die Probanden hingegen keinen Unterschied bezüglich des Bedienkomforts.

*Tabelle 6-12: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional*

		Ablenkung				Bedienung			
		Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste	Schieber relativ	Schieber absolut	Drehrad	Taste
Mittelwert		2,75	3,25	3,22	3,06	2,22	2,81	3,00	2,83
Standardabw.		0,97	1,00	1,05	1,12	1,05	1,12	1,15	1,06
$\alpha$ -Fehler	Schieber relativ		0,06	0,15	1,00		0,14	0,03	0,06
	Schieber absolut			1,00	1,00			1,00	1,00
	Drehrad				1,00				1,00
	Taste								
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,07$				$\omega^2 = 0,1$			



*Abbildung 6-21: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)*

Zusammenfassend lässt sich aufgrund der Ergebnisse die Alternativhypothese  $H_1$ -Int 3 für die Bedienleistung bestätigen. Hier ergibt sich ein signifikanter Effekt zwischen dem relativen Schieber und der Kreisbahn. Die restlichen Paarvergleiche ergeben keine signifikanten Unterschiede.  $H_1$ -Int 3 kann, bis auf die kumulierte Blickdauer, auch für die Kennwerte des Blickverhaltens bestätigt werden. Hier ergeben die Paarvergleiche einen signifikanten Vorteil für die Tasten, was die Länge der Einzelblicke angeht. Jedoch bleiben alle Werte unter der sicherheitskritischen 2-Sekunden Grenze. Bezüglich der Fahrperformance lässt sich kein Effekt feststellen, was zur Beibehaltung der Nullhypothese für diesen Kennwert führt. Bezüglich der subjektiven Empfindung lässt sich  $H_1$ -Int 3 hinsichtlich des Bedienkomforts bestätigen. Der subjektive Kennwert der Ablenkung lässt keinen Effektnachweis zu.

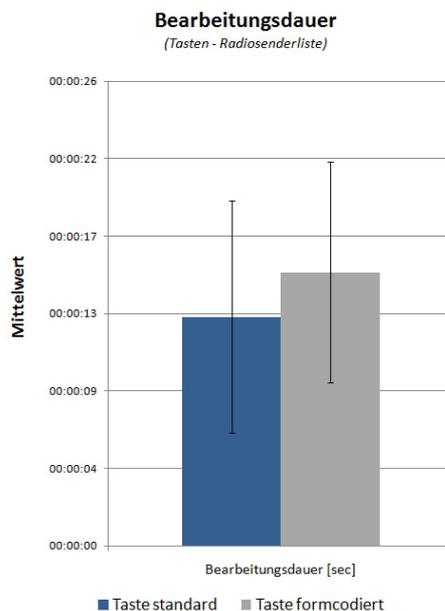
### 6.1.2.2 Informationsübermittlung durch haptische Formgebung

Des Weiteren wird betrachtet, welchen Effekt eine haptische Formgebung auf das Bedien- und das Fahrverhalten sowie die subjektive Beurteilung durch den Probanden hat. Teile dieser Ergebnisse sind bereits unter Spies et al. (2010a) nachzulesen. Die hier untersuchte Alternativhypothese lautet:

*H<sub>1</sub>-Orient\_1: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit haptischen Formen und haptischen Standardelementen in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie der subjektiven Beurteilung.*

Zunächst werden die Ergebnisse für die Auswahl Aufgabe >9 Optionen mit einer Standardtastenvariante und einer formkodierte Tastenvariante dargestellt.

Abbildung 6-22 zeigt die Bearbeitungsdauer der Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit den beiden Tastenvarianten. Es kann festgestellt werden, dass der Mittelwert der Bearbeitungszeit bei der Taste mit Formkodierung höher ist als bei der Standardtaste.



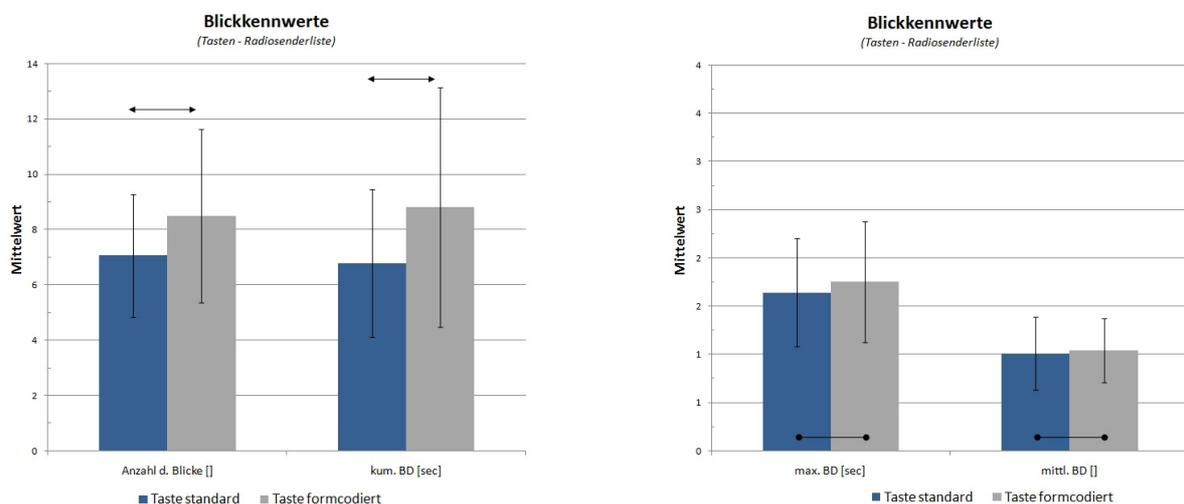
*Abbildung 6-22: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierten Tasten*

Der Post-Hoc Vergleich lässt jedoch keinen signifikanten Unterschied nachweisen. Aufgrund des  $\alpha$ -Fehlers von  $p=.08$  kann keine statistische Aussage getroffen werden (vgl. Tabelle 6-13)

*Tabelle 6-13: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten*

	Bedienzeiten	
	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	00:00:13	00:00:15
Standardabw.	00:00:06	00:00:06
$\alpha$ -Fehler	0,08	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,09$	

Die Begutachtung der Blickkennwerte zeigt, dass sich auch hier die längere Bearbeitungszeit negativ auf die aggregierte Betrachtung der Blickanzahl und -dauer auswirkt. Für beide Kennwerte kann ein signifikant höherer Wert für die formkodierte Variante nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 6-23).



*Abbildung 6-23: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierten Tasten*

Die Einzelblickbewertung hingegen zeigt, dass kein Unterschied zwischen den beiden Varianten bezüglich maximaler und mittlerer Blickdauern besteht. Eine Reduzierung des Blickaufwandes sowohl hinsichtlich der Blickdauern als auch hinsichtlich der Anzahl der Kontrollblicke aufgrund der haptischen Formgebung kann in diesem Experiment somit nicht nachgewiesen werden. Die Ergebnisse des Blickverhaltens sind in Tabelle 6-14 nochmals gegenübergestellt.

Tabelle 6-14: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten

	Anzahl Blicke		kum. BD		max. BD		mittl. BD	
	Taste standard	Taste formcodiert						
Mittelwert	7,06	8,50	6,78	8,81	1,64	1,75	1,01	1,04
Standardabw.	2,22	3,14	2,66	4,33	0,56	0,63	0,38	0,33
$\alpha$ -Fehler	0,02		0,02		0,40		0,59	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,15$		$\omega^2 = 0,15$		$\omega^2 = 0,02$		$\omega^2 = 0,01$	

Bezüglich der Fahrperformance wird zur Bewertung der Querführung die Spurabweichung und der Lenkwinkel betrachtet. Die Standardabweichung der Spurrhaltung lässt keine statistische Aussage zu. Jedoch liefert in diesem Fall die Standardabweichung des Lenkwinkels einen signifikanten Wert zugunsten der Standardvariante ohne Formkodierung (siehe Abbildung 6-24; Tabelle 6-15).

Tabelle 6-15: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Fahrperformance bei der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten

	Spurabweichung		Lenkwinkel	
	Taste standard	Taste formcodiert	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	0,24	0,28	0,0047	0,0064
Standardabw.	0,15	0,14	0,0034	0,0039
$\alpha$ -Fehler	0,22		0,03	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,04$		$\omega^2 = 0,13$	

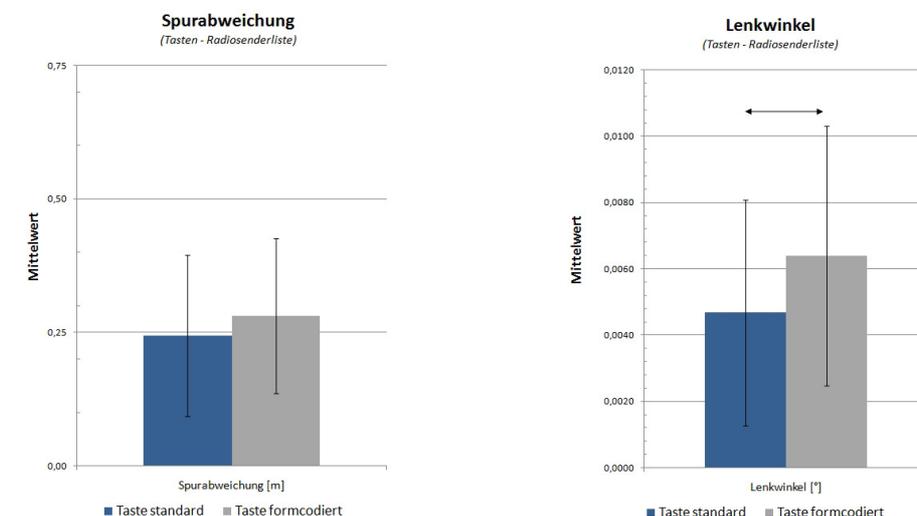


Abbildung 6-24: Standardabweichungen der Spurrhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten

Die subjektive Beurteilung hinsichtlich Ablenkung von der Fahraufgabe und Bedienkomfort für die Nebenaufgabe liefert lediglich tendenziell ein besseres Ergebnis für die Tasten ohne Formkodierung. Der Paarvergleich lässt jedoch aufgrund seines  $\alpha$ -Fehlers von  $p=.16$  keine Aussage zu (siehe Abbildung 6-25 und Tabelle 6-16).

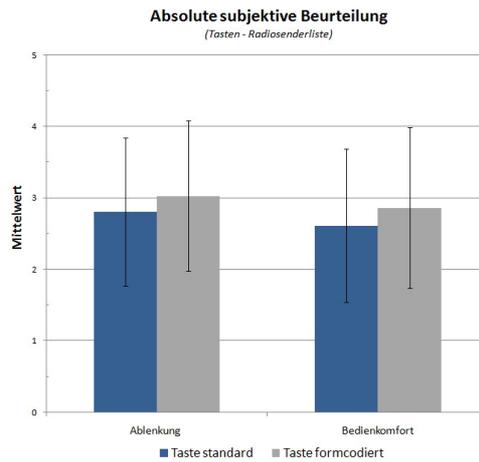


Abbildung 6-25: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Tabelle 6-16: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der subjektiven Beurteilung bei der Bedienung einer Auswahl Aufgabe > 9 Optionen mit Standard- und formkodierte Tasten

	Ablenkung		Bedienkomfort	
	Taste standard	Taste formcodiert	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	2,81	3,03	2,61	2,86
Standardabw.	1,04	1,06	1,08	1,13
$\alpha$ -Fehler	0,16		0,13	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,06$		$\omega^2 = 0,06$	

Derselbe Test wurde ebenfalls mit einer Standardversion und einer formkodierte Version von Tasten mit dem Aufgabentyp Einstell-/Verschiebeaufgaben 1-dimensional durchgeführt. Abbildung 6-26 und Tabelle 6-17 zeigt für die Bearbeitungszeit tendenziell das gleiche Ergebnis wie bei der Auswahl Aufgabe > 9 Optionen.

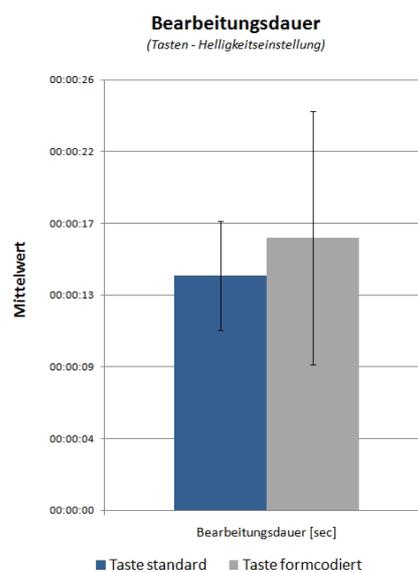


Abbildung 6-26: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Tasten

Tabelle 6-17: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Buttons

	Bedienzeiten	
	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	00:00:14	00:00:16
Standardabw.	00:00:03	00:00:08
$\alpha$ -Fehler	0,060	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,10$	

Hinsichtlich der Betrachtung des Blickverhaltens in Abbildung 6-27 ist zu sehen, dass auch hier kein Unterschied nachweisbar ist zwischen den beiden Varianten. Bezüglich der Kennwerte kumulierte Blickdauer und mittlere Einzelblickdauer kann sogar statistische Gleichheit ( $p > .25$ ) nachgewiesen werden.

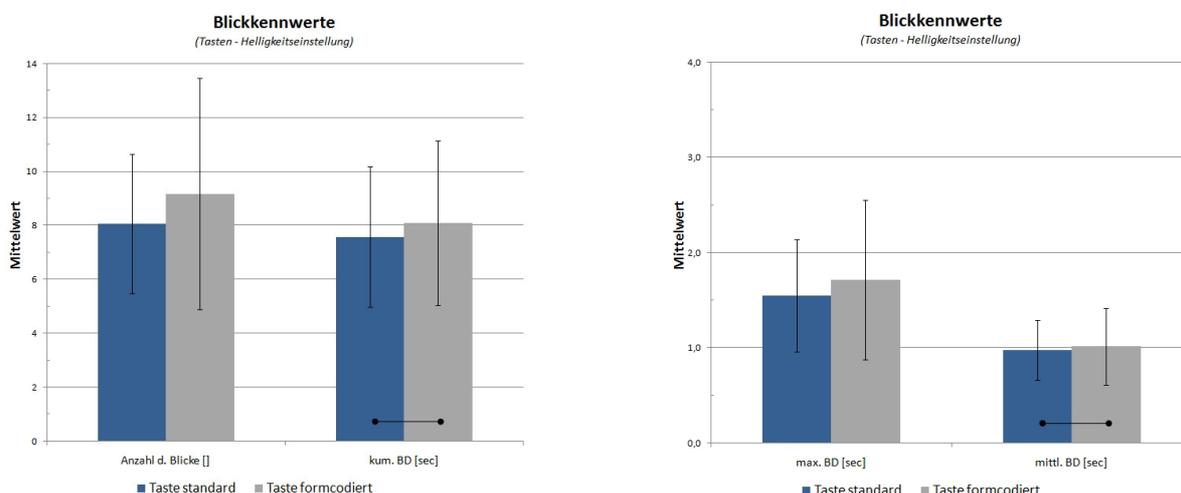


Abbildung 6-27: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Tasten

Tabelle 6-18: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Buttons

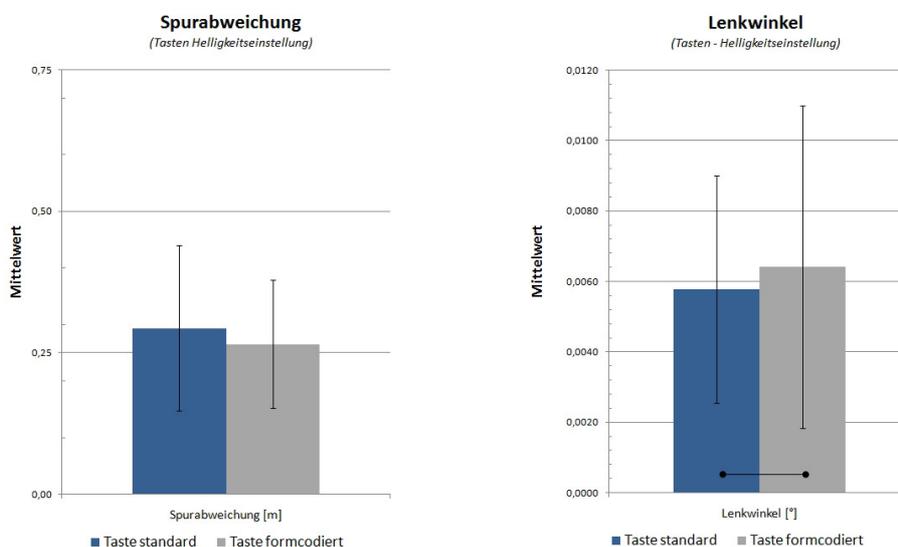
	Anzahl Blicke		kum. BD		max. BD		mittl. BD	
	Taste standard	Taste formcodiert						
Mittelwert	8,06	9,17	7,57	8,08	1,55	1,71	0,97	1,01
Standardabw.	2,60	4,29	2,60	3,05	0,59	0,84	0,31	0,40
$\alpha$ -Fehler	0,08		0,33		0,21		0,45	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,08$		$\omega^2 = 0,03$		$\omega^2 = 0,04$		$\omega^2 = 0,02$	

Abbildung 6-28 und Tabelle 6-19 zeigen die Ergebnisse zur Fahrperformance in Form von Spurhaltung und Standardabweichung des Lenkwinkels bei der Bedienung der eindimensionalen Einstell-/Verschiebeaufgabe mit den beiden Tastenvarianten. Wie die

Abbildung zeigt, ist auch hier kein signifikanter Unterschied bzw. Mehrwert durch eine Formkodierung der Tasten erkennbar.

*Tabelle 6-19: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Fahrperformance einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Buttons*

	Spurabweichung		Lenkwinkel	
	Taste standard	Taste formcodiert	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	0,29	0,26	0,01	0,01
Standardabw.	0,15	0,11	0,00	0,00
$\alpha$ -Fehler	0,24		0,40	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,04$		$\omega^2 = 0,02$	



*Abbildung 6-28: Standardabweichungen der Spurhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Tasten*

Die subjektive Einschätzung der Nutzer zur Ablenkung durch die Bedienung der Nebenaufgabe sowie dem Bedienkomfort mit den beiden Interaktionsvarianten unterschiedlicher Orientierungshilfe weisen ebenso statistische Gleichheit auf (siehe Abbildung 6-29).

*Tabelle 6-20: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der subjektiven Einschätzung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Buttons*

	Ablenkung		Bedienung	
	Taste standard	Taste formcodiert	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	3,06	2,92	2,83	2,81
Standardabw.	1,12	1,02	1,06	1,12
$\alpha$ -Fehler	0,48		0,88	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,014$		$\omega^2 = 0,001$	

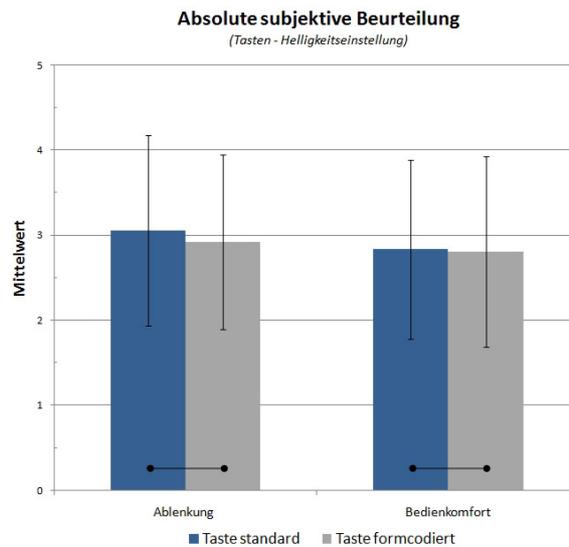


Abbildung 6-29: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Tasten (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Bei einem weiteren Test wird die eindimensionale Einstell-/ Verschiebeaufgabe beibehalten und die Interaktionsform variiert, um herauszufinden, ob dies in Kombination mit einer Formkodierung einen Einfluss auf das objektive und subjektive Verhalten der Nutzer hat. Abbildung 6-30 und

Tabelle 6-21 zeigen einen signifikanten Unterschied in der Bearbeitungszeit zwischen der formkodierten Version des Schiebers und der Standardform zugunsten der letzteren. Dies kann sogar mit einer großen Effektstärke nachgewiesen werden.

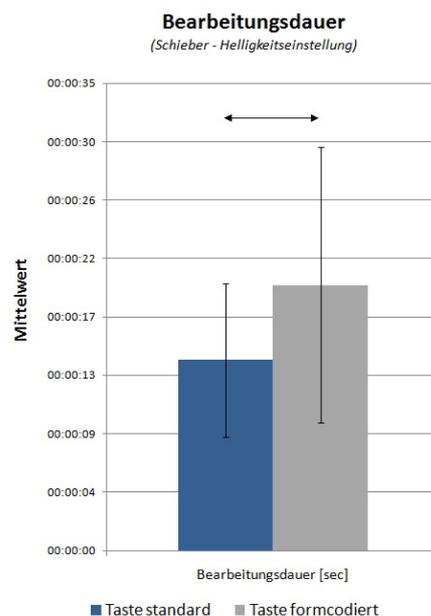


Abbildung 6-30: Vergleich der Bearbeitungsdauern der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Schiebern

Tabelle 6-21: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern der einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern

	Bedienzeiten	
	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	00:00:14	00:00:20
Standardabw.	00:00:06	00:00:10
$\alpha$ -Fehler	0,01	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,20$	

Wie in den vorherigen Ergebnissen überträgt sich der signifikant nachweisbare Unterschied der Bearbeitungsdauern auch hier auf das aggregierte Blickverhalten (siehe Abbildung 6-31).

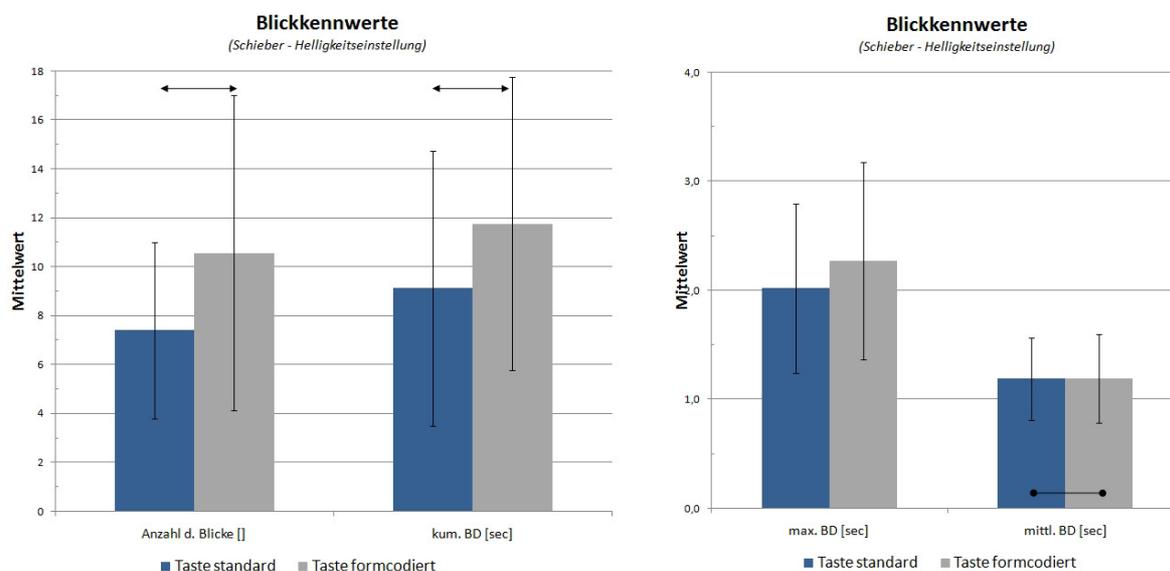


Abbildung 6-31: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern

In der Einzelblickbetrachtung hingegen kann kein Unterschied zwischen den beiden Bedienvarianten festgestellt werden. Die zahlenmäßige Darstellung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 6-22 wieder.

Tabelle 6-22: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierte Schiebern

	Anzahl Blicke		kum. BD		max. BD		mittl. BD	
	Taste standard	Taste formcodiert						
Mittelwert	7,39	10,56	9,11	11,76	2,02	2,27	1,19	1,19
Standardabw.	3,59	6,43	5,61	6,00	0,77	0,90	0,38	0,40
$\alpha$ -Fehler	0,01		0,04		0,15		0,95	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,19$		$\omega^2 = 0,11$		$\omega^2 = 0,06$		$\omega^2 = 0,00$	

Die Ergebnisse der Fahrperformance in Abbildung 6-32 lassen ebenfalls keinen Vorteil durch eine haptische Kodierung des Interaktionselements Schieber erkennen.

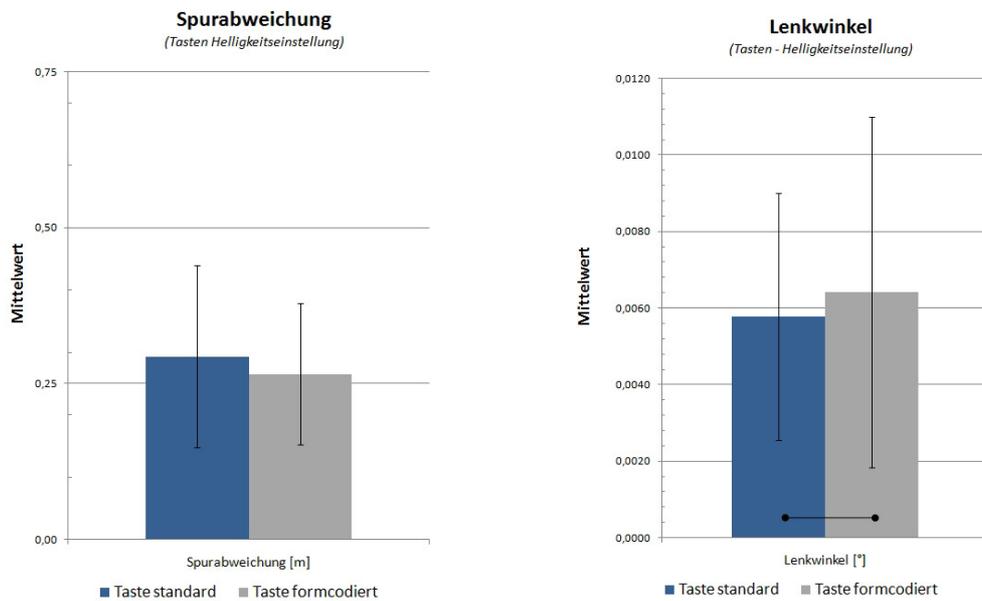


Abbildung 6-32: Standardabweichungen der Spurhaltung und des Lenkwinkels bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Schiebern

Selbiges gilt für die Ergebnisse der subjektiven Einschätzung hinsichtlich Ablenkung und Bedienkomfort in Tabelle 6-23 und Abbildung 6-33.

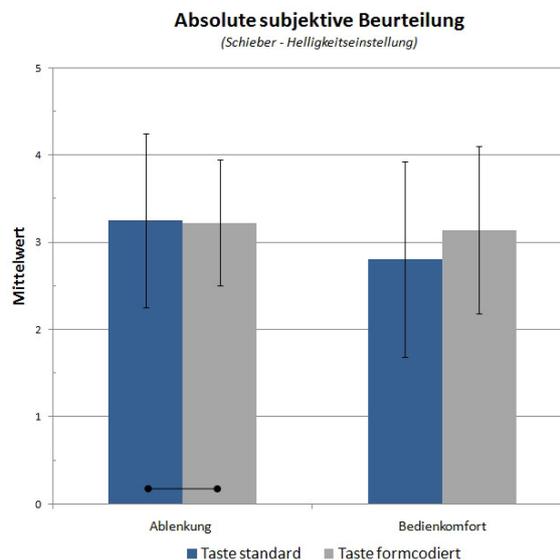


Abbildung 6-33: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Schiebern (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

*Tabelle 6-23: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der subjektiven Beurteilung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit Standard- und formkodierten Schiebern*

	Ablenkung		Bedienung	
	Taste standard	Taste formcodiert	Taste standard	Taste formcodiert
Mittelwert	3,25	3,22	2,81	3,14
Standardabw.	1,00	0,72	1,12	0,96
$\alpha$ -Fehler	0,87		0,14	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,01$		$\omega^2 = 0,06$	

Die Alternativhypothese  $H_1$ -Orient\_1 lässt sich nur für ein paar wenige Kennwerte bestätigen. Bei den meisten der getesteten Varianten und Aufgabenformen muss aufgrund des Ergebnisses die Nullhypothese beibehalten werden. Jedoch kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse, unabhängig vom Aufgabentyp und auch unabhängig von der Art des Interaktionsmittels, keinen Vorteil durch eine haptische Formgebung erkennen lassen. Wenn die Alternativhypothese bestätigt wird, dann nur zu Gunsten der Standardvarianten. Insbesondere die vermutete Reduzierung des visuellen Aufwandes kann in den vorliegenden drei Testfällen anhand der erhobenen Blickkennwerte nicht nachgewiesen werden. Aus den subjektiven Urteilen der Nutzer geht durchgängig hervor, dass kein Unterschied zu spüren ist. Einzelaussagen der Probanden zur Folge, empfinden manche sogar eine Komplexitätssteigerung durch die Formgebung.

### **6.1.3 Zusammenfassung**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich durch die Untersuchungen Effekte durch die Variation der Interaktionskonzepte bei den verschiedenen Aufgabentypen nachweisen lassen. Für die Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen fällt das Ergebnis eindeutig zu Gunsten der Tastenmatrix aus. Dies kann durchgängig für alle Kennwerte bestätigt werden. Für die Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen kann der relative Schieber und die Tastenkombination als geeignetes Interaktionsmittel identifiziert werden. Der relative Schieber ermöglicht im Vergleich zu den Tasten noch eine schnellere Bedienung was sich auch in der subjektiven Beurteilung des Bedienkomforts niederschlägt. Für die Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional lassen sich tendenziell ähnliche Effekte nachweisen wie für die Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen. Somit kann für beide Aufgabentypen der relative Schieber als Interaktionsmittel empfohlen werden.

Bezüglich haptischer Formen für Interaktionselemente können die in der Alternativhypothese formulierten Unterschiede nur selten nachgewiesen werden. Wenn ein Effekt gemessen werden kann, dann immer zu Gunsten der Standardformen. Somit kann auch hier eine

eindeutige Empfehlung zu Gunsten einfacher Standardformen ausgesprochen werden. Eine haptische Formgebung bringt keinen nachweisbaren Mehrwert.

## 6.2 Fahrsimulatorstudie zur Auslegung einer Touchpadinteraktion

### Teil 2

Diese Studie beschäftigt sich mit dem Vergleich verschiedener Interaktionsvarianten für „Einstell- und Verschiebeaufgaben 2-dimensional“. Außerdem werden haptische und optische Orientierungshilfen untersucht. Zuletzt wird eine relative Auslegung der Touchpadbedienung mit einer absoluten Bedienlogik verglichen.

#### 6.2.1 Versuchsdesign

Im weiteren Verlauf werden das verwendete Probandenkollektiv, die zu Grunde liegenden unabhängigen Variablen und die Versuchsaufgaben genau erklärt.

##### 6.2.1.1 Probandenkollektiv

Die Studie wird mit 32 Probanden (22 M, 10 F,  $\bar{X}$ =39,38 Jahre,  $s_d$ =11,35 Jahre) in einem within subject design durchgeführt. Die Verteilung der Stichprobe ist Abbildung 6-34 zu entnehmen.

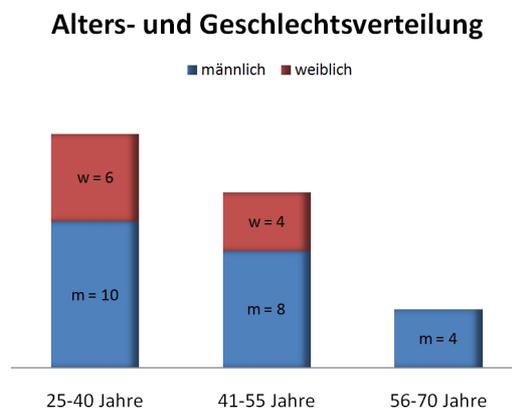


Abbildung 6-34: Altersverteilung der in Studie 2 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts

##### 6.2.1.2 Untersuchungsvariablen

Zunächst wird auf die Untersuchung der Interaktionsformen für den Aufgabentyp „Einstell-/ Verschiebeaufgaben 2-dimensional“ eingegangen. Dieser Aufgabentyp wird anhand einer Verschiebung der Navigationskarte repräsentiert. Die drei Interaktionsvarianten sind in Anlehnung an Kapitel 3.2.2 zum einen das direkte Verschieben der Karte, eine

kontinuierliche Variante mit einem horizontalen und einem vertikalen relativen Schieber sowie eine diskrete Variante mit acht Tasten an den Touchpadrändern für die jeweilige Verschieberichtung. Bei allen Interaktionsformen wird die Karte verschoben, während das Fadenkreuz in der Mitte des Bildschirms fest steht. D.h. wird eine der Pfeiltasten an den Touchpadrändern gedrückt, bewegt sich die Karte in Pfeilrichtung. Wird mit einem Finger eine translatorische Bewegung auf der relativen Schieberbahn ausgeführt, bewegt sich die Karte ebenfalls analog zur Fingerbewegung in die gleiche Richtung. Der 1x3 Zellenplan ist Abbildung 6-35 zu entnehmen.



Abbildung 6-35: Zellenplan zum Vergleich der drei Interaktionsformen für Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional

Der zweite Themenblock dieser Studie beschäftigt sich mit der Frage nach einer geeigneten Orientierungshilfe. Dabei wird zunächst geprüft, welchen Einfluss die haptisch strukturierte Touchpadoberfläche im Vergleich zu einem herkömmlichen glatten Touchpad hat. Des Weiteren ist in Anlehnung an eine herkömmliche Laptopbedienung ein Cursor auf dem Display als optische Rückmeldung der aktuellen Fingerposition auf der Touchpadoberfläche vorgesehen. Diese beiden Varianten können auch miteinander kombiniert werden, sodass sich die folgenden vier Varianten für die Untersuchung ergeben:

- Glatte Touchpadoberfläche ohne Cursor
- Glatte Touchpadoberfläche mit Cursor
- Haptische Touchpadoberfläche ohne Cursor
- Haptische Touchpadoberfläche mit Cursor

Diese vier Varianten werden in einer komplexen Aufgabe, welche die verschiedenen Aufgabentypen beinhaltet, getestet, um auszuschließen, dass der Aufgabentyp und die dafür nötige Interaktionsform einen Einfluss auf die Art der Orientierungshilfe haben. Dies bedeutet, dass die gesamte Aufgabe die Teilaufgaben „Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen“, „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional“ und „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-

dimensional“ beinhaltet. Der Vergleich wird durch die kumulierte Betrachtung der Kennwerte über die komplette Aufgabe durchgeführt.

Als dritter Punkt soll im Rahmen dieser Studie der Frage nach der richtigen Bedienlogik nachgegangen werden. Um diesen Effekt zu untersuchen werden folgende Varianten in einer 1x2 Versuchsmatrix durchgeführt:

- Relative Bedienlogik
- Absolute Bedienlogik

Bei einer relativen Auslegung wird unabhängig von der Fingerposition auf dem Touchpad ein Cursor auf dem Display relativ zur Fingerbewegung verschoben. Diese Bedienlogik ist nur mit Cursor und ohne Haptik möglich. Ist die Touchpadoberfläche analog zum angezeigten Displayinhalt haptisch strukturiert, so kann die Bedienung nur absolut erfolgen. Dies bedeutet, dass zum Vergleich der beiden obigen Bedienlogikalternativen die Auslegung mit Cursor und glatter Touchpadoberfläche herangezogen werden. Der Vergleich wird analog zum Vergleich der Orientierungshilfen ebenfalls anhand der komplexen Aufgabe, welche die einzelnen Aufgabentypen beinhaltet durchgeführt. Die Versuchsaufgabe wird im Folgenden erläutert.

### **6.2.1.3 Versuchsaufgaben und Durchführung**

Die Vergleiche werden allesamt mit derselben Aufgabe durchgeführt, wobei die Interaktionsvarianten, die Art der Orientierungshilfen und die Bedienlogik variiert werden. Die Aufgabe startet mit der „Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen“ in Form des Navigationshauptmenüs. Anschließend muss in der Navigationskarte ein Navigationsziel ausgewählt werden. Dies repräsentiert die „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional“. Das Ziel ist auf der Karte durch einen roten Punkt repräsentiert und muss durch Bewegen der Karte in das in der Bildschirmmitte feststehende Fadenkreuz gebracht werden. Durch Drücken einer OK- Taste auf dem Bedienteil ist diese Teilaufgabe erfolgreich beendet. Nach einem Zwischenbildschirm wird die „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional“ anhand der Einstellung der Kartenhelligkeit durchgeführt. Die Einstellaufgabe ist ebenfalls erfolgreich gelöst, sobald der korrekte Wert eingestellt wurde und die Taste „OK“ auf dem Bedienteil gedrückt wurde. Der Aufgabenablauf ist exemplarisch in Abbildung 6-36 dargestellt.

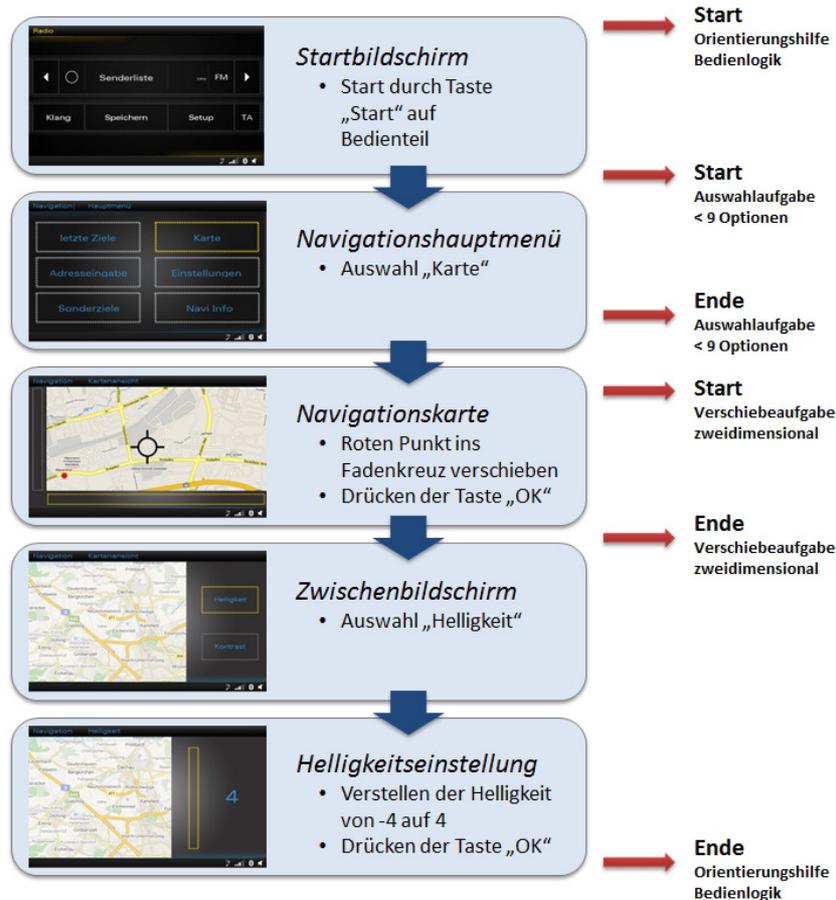


Abbildung 6-36: Exemplarische Darstellung der Versuchsaufgabe. Variiert werden die Interaktionsformen, die Art der Orientierungshilfen sowie die Bedienlogik

Der Versuchsablauf gliedert sich in Anlehnung an die in Abschnitt 5.2.3 erläuterten Versuchsphasen in die Einführungsphase, zwei Übungsphasen und zwei Durchführungsphasen. Eine Durchführungsphase erfolgt mit dem haptischen Touchpad, die zweite mit Touchpad ohne haptische Oberflächenstrukturierung. Vor den jeweiligen Durchführungsphasen wird jeweils eine Übungsphase, wie in Kapitel 5.2.3 beschrieben, mit der jeweiligen Oberfläche durchgeführt, um Effekte aufgrund des Erstkontakts bzw. der Umgewöhnung zu reduzieren. Jede Variante wird sowohl mit, als auch ohne einen Cursor als optische Orientierungshilfe getestet. Die Vergleiche zu den Interaktionsvarianten für die Einstell-/Verschiebeaufgabe 2-dimensional werden in Anlehnung an die erste Studie alle mit einer absoluten Auslegung der Bedienlogik, ohne Cursor und mit haptisch konturierter Oberfläche durchgeführt. Der Vergleich zwischen relativer und absoluter Bedienlogik ist nur bei glatter Touchpadoberfläche und mit Cursor möglich. Sämtliche Versuchsvarianten der zweiten Studie und deren Permutationen sind in Abbildung 6-37 dargestellt.

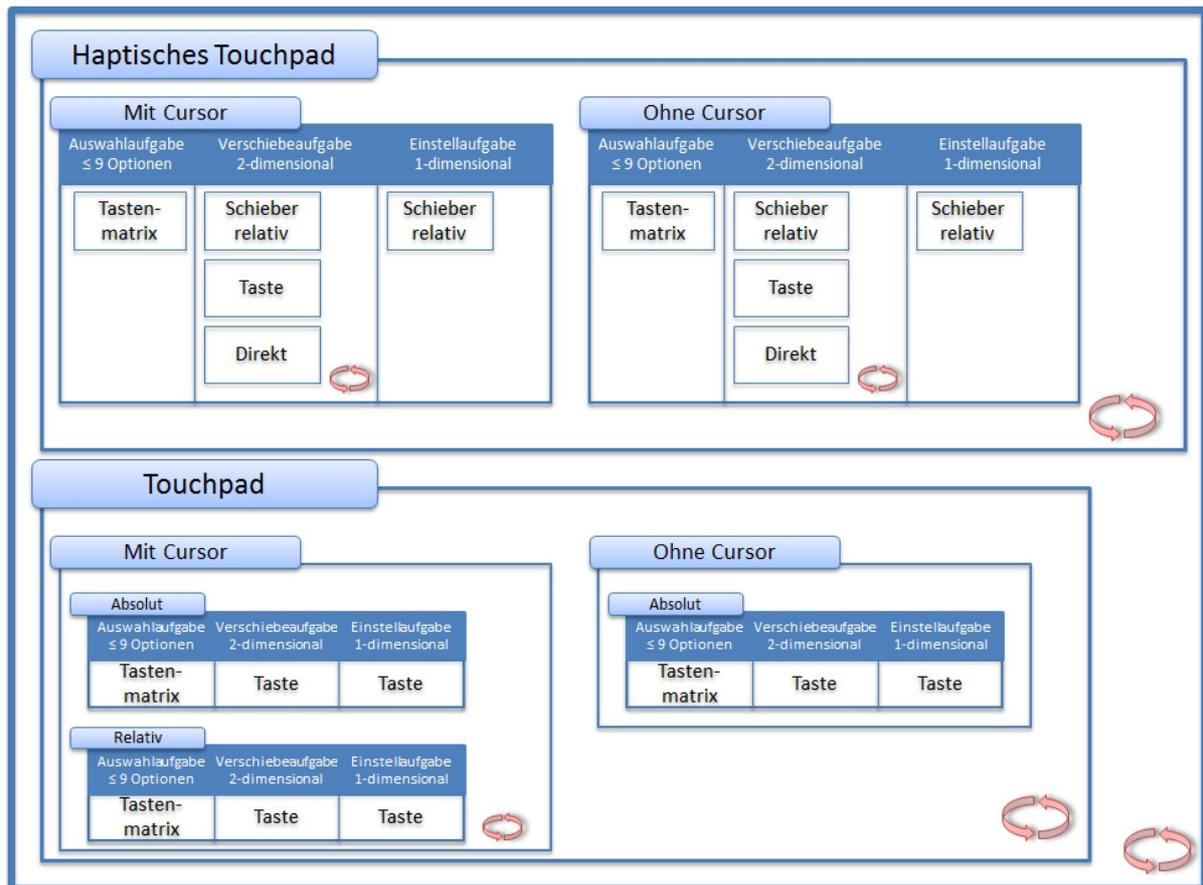


Abbildung 6-37: Permutationsplan der in Studie 2 verglichenen Varianten

## 6.2.2 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt. Dabei wird zunächst die Hypothese zur Interaktionsform für Einstell-/ Verschiebeaufgaben 2-dimensional, anschließend zur Orientierungshilfe und zum Schluss zur Bedienlogik überprüft.

### 6.2.2.1 Ergebnisse für Einstell-/ Verschiebeaufgaben 2-dimensional

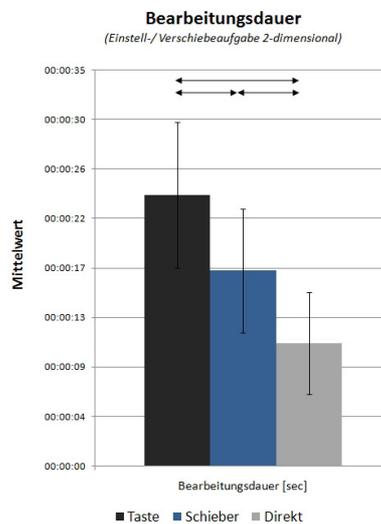
Im Folgenden werden die Ergebnisse des Vergleichs der drei Interaktionsformen aus Kapitel 3.2.2 zur Bedienung der zweidimensionalen Verschiebe-/Einstellaufgabe vorgestellt. Diese Ergebnisse sind ebenfalls teilweise in Spies & Bubb (2009) nachzulesen. Die Alternativhypothese hierzu lautet:

*H<sub>1-Int\_4</sub>: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 2-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt über ein haptisches Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit Tasten, relativen Schiebern und einer 2-dimensionalen x,y-Fläche in der Bedienleistung, der*

*Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers sowie bei der subjektiven Beurteilung.*

Es zeichnet sich ein sehr eindeutiges Ergebnis ab, was sich über alle Kennwerte hinweg gleichermaßen auswirkt. Als Anwendungsbeispiel dient das Verschieben der Navigationskarte. Es wird eine zweidimensionale Bedienvariante in Form der direkten Verschiebung auf dem Touchpad mit einer eindimensionalen diskreten Manipulation durch Tasten sowie einer eindimensionalen kontinuierlichen Bedienung in Form von relativen Schiebern verglichen.

Bezüglich der Bearbeitungsdauer zeigt Abbildung 6-38, dass das direkte zweidimensionale Verschieben der Karte signifikant am schnellsten geht. Die eindimensionale Schiebervariante ist ebenfalls signifikant schneller als die diskrete Tastenbedienung.



*Abbildung 6-38: Bearbeitungsdauern bei der Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional*

Tabelle 6-24 ist zu entnehmen, dass diese Ergebnisse allesamt signifikant sind und mit einer sehr großen Effektstärke nachgewiesen werden können.

*Tabelle 6-24: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Bediendauern bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional*

		Bedienzeiten		
		Taste	Schieber	Direkt
Mittelwert		00:00:24	00:00:17	00:00:11
Standardabw.		00:00:06	00:00:05	00:00:04
α-Fehler	Taste		0,00	0,00
	Schieber			0,00
	Direkt			
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,70$		

Bei Betrachtung der Blickkennwerte (siehe Abbildung 6-39) fällt auf, dass es hier ebenfalls wie bei der Verschiebe-/Einstellaufgabe 1-dimensional einen Unterschied zwischen der

aggregierten Betrachtung des Blickverhaltens über die gesamte Aufgabendauer und der Betrachtung der Einzelblicke gibt. Die Ergebnisse des aggregierten Blickverhaltens gehen einher mit den Ergebnissen der Bearbeitungsdauer. Die signifikant geringste Blickanzahl zur Nebenaufgabe sowie die signifikant geringste kumulierte Blickdauer zur Nebenaufgabe werden durch die direkte zweidimensionale Verschiebung erreicht. Die im Vergleich zu den anderen Varianten signifikant längste kumulierte Blickabwendung und die häufigsten Blicke zur Nebenaufgabe weist die Bedienung mit den Tasten auf. Die Betrachtung der Einzelblicke hingegen zeigt, dass in beiden Kennwerten, statistisch gesehen kein Unterschied in den Einzelblicklängen besteht. Dies bedeutet, dass die Blickstrategie bei der Bedienung bei allen drei Varianten gleich ist, sich die Aufgaben nur mit der direkten Bedienung mit einem geringeren Zeitaufwand erledigen lassen, was sich auf die Anzahl der Kontrollblicke und somit auf die kumulierte Blickdauer auswirkt. Somit beschränkt sich der Effekt auf die komfort-relevanten Kennwerte.

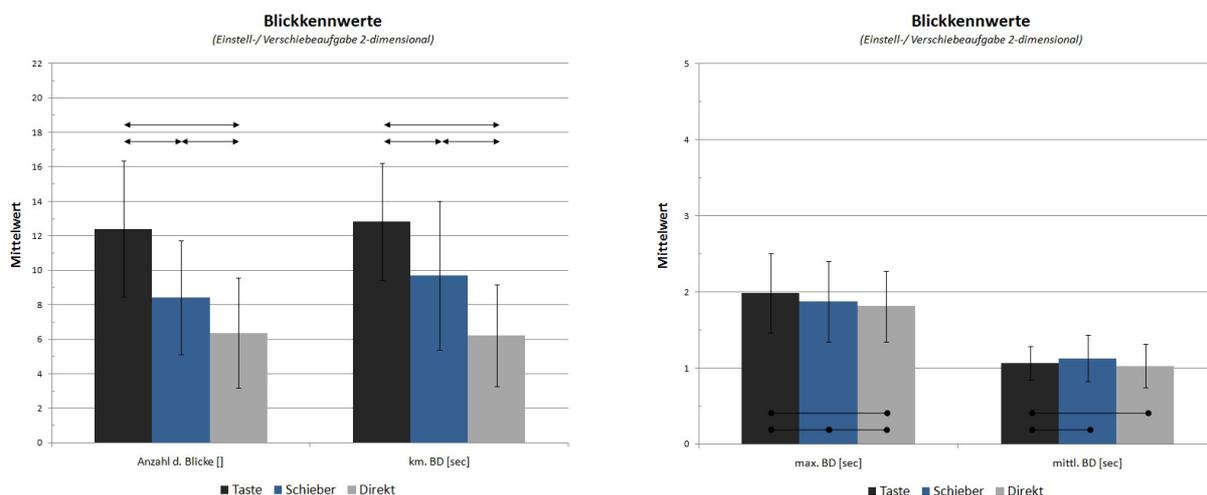


Abbildung 6-39: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bearbeitung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional mit verschiedenen Interaktionselementen auf einem haptischen Touchpad

In Tabelle 6-25 wird die Eindeutigkeit der gemessenen Ergebnisse anhand der geringen  $\alpha$ -Fehler sowie der großen Effektstärken untermauert.

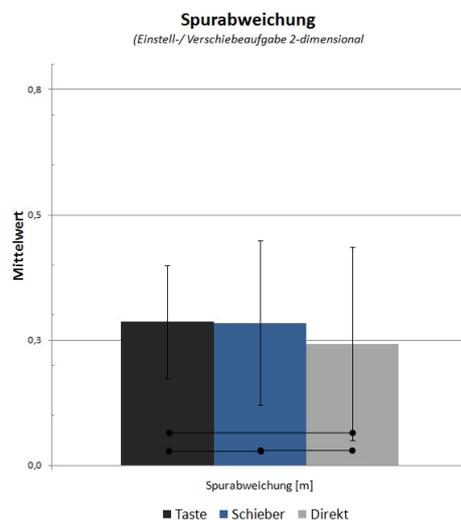
Tabelle 6-25: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Blickkennwerte bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional

		Anzahl Blicke			Kum. BD			max. BD			Mittl. BD		
		Taste	Schieber	Direkt									
Mittelwert		12,41	8,44	6,38	12,83	9,70	6,22	1,99	1,87	1,81	1,07	1,12	1,02
Standardabw.		3,96	3,31	3,21	3,39	4,33	2,96	0,52	0,53	0,47	0,22	0,31	0,29
$\alpha$ -Fehler	Taste		0,00	0,00		0,00	0,00		0,83	0,27		0,83	1,00
	Schieber			0,00			0,00			1,00			0,18
	Direkt												
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,68$			$\omega^2 = 0,61$			$\omega^2 = 0,05$			$\omega^2 = 0,06$		

Wie bei den vorherigen Ergebnissen ebenfalls schon zu beobachten war, gehen die Resultate der Spurbabweichung mit denen des Einzelblickverhaltens einher (siehe Abbildung 6-40 und Tabelle 6-26). Bezüglich der Fahrperformance gibt es statistisch gesehen keinen Unterschied zwischen den drei Interaktionsvarianten zur Bearbeitung der zweidimensionalen Verschiebe-/Einstellaufgabe.

*Tabelle 6-26: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der Spurbabweichung bei der Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional*

		Spurhaltung		
		Taste	Schieber	Direkt
Mittelwert		0,29	0,28	0,24
Standardabw.		0,11	0,16	0,19
α-Fehler	Taste		1,00	0,47
	Schieber			0,73
	Direkt			
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,04$		



*Abbildung 6-40: Mittlere Standardabweichung von der Sollspur beim Bedienen der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional*

Die subjektiven Ergebnisse untermauern sowohl hinsichtlich der empfundenen Ablenkung als auch des empfundenen Bedienkomforts die objektiven Ergebnisse. Hier schneidet in beiden Kennwerten die direkte zweidimensionale Verschiebung signifikant besser ab als die beiden eindimensionalen Varianten (siehe Abbildung 6-41, Tabelle 6-27).

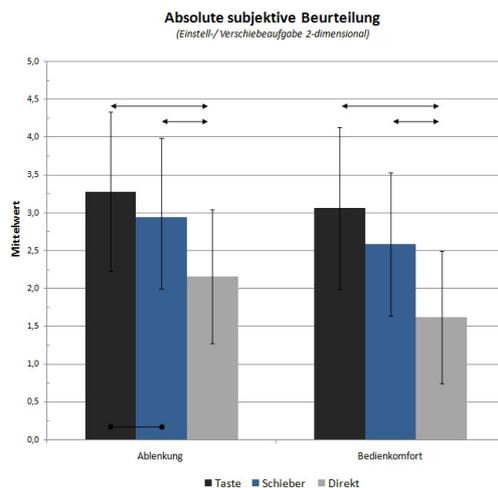


Abbildung 6-41: Absolute subjektive Beurteilung der Interaktionsvarianten zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Tabelle 6-27: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse der absoluten subjektiven Beurteilung zur Bedienung der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional

		Ablenkung			Bedienkomfort		
		Taste	Schieber	Direkt	Taste	Schieber	Direkt
Mittelwert		3,28	2,94	2,16	3,06	2,59	1,62
Standardabw.		1,05	1,05	0,88	1,08	0,95	0,87
α-Fehler	Taste		0,42	0,00		0,15	0,00
	Schieber			0,00			0,00
	Direkt						
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,34$			$\omega^2 = 0,42$		

Somit kann  $H_1$ -Int\_4 für die Bedienleistung, die Kennwerte für das aggregierte Blickverhalten, sowie die Kennwerte für die subjektive Einschätzung bestätigt werden. Lediglich für die Kennwerte der Einzelblickbetrachtung sowie der Fahrperformance konnten sich keine Effekte nachweisen lassen, weshalb hierfür die Nullhypothese beibehalten wird.

### 6.2.2.2 Ergebnisse zu Orientierungshilfen

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den verschiedenen Varianten der Orientierungshilfen aus Kapitel 3.2.3 vorgestellt. Es werden die Varianten glatte Touchpadoberfläche mit und ohne Cursor sowie haptisch konturierte Touchoberfläche mit und ohne Cursor verglichen. Teile der hier beschriebenen Ergebnisse sind auch in Spies et al. (2010) nachzulesen.

$H_1$ -Orient\_2: Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer haptisch konturierten Oberfläche und einer glatten Oberfläche sowie jeweils mit und ohne optischer Cursorunterstützung in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.

Die Betrachtung der Aufgabenbearbeitungsdauer zeigt ein sehr eindeutiges Ergebnis für die Bedieneffizienz (siehe Abbildung 6-42).

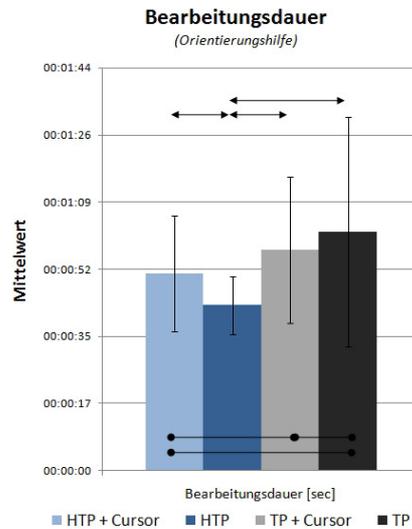


Abbildung 6-42: Vergleich der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

Wie auch in Tabelle 6-30 zu sehen ist, hat das Touchpad mit haptisch konturierter Oberfläche bezüglich der Bearbeitungsdauer den kleinsten Mittelwert vorzuweisen. Die Signifikanztests ergeben für alle Paarvergleiche mit den restlichen Varianten einen signifikanten Unterschied. Der Vergleich unter den Varianten glattes Touchpad mit und ohne Cursor sowie haptisches Touchpad mit Cursor zeigt statistisch gesehen keinen Unterschied.

Tabelle 6-28: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

		Bedienzeiten			
		HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP
Mittelwert		00:00:51	00:00:43	00:00:57	00:01:01
Standardabw.		00:00:15	00:00:07	00:00:19	00:00:29
α-Fehler	HTP + Cursor		0,00	0,76	0,27
	HTP			0,00	0,01
	TP + Cursor				1,00
	TP				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,209$			

Die Betrachtung des aggregierten Blickverhaltens während der Bedienung der Aufgaben mit den vier verschiedenen Touchpadauslegungen zeigt das gleiche Ergebnis wie die Bearbeitungsdauer (siehe Abbildung 6-43).

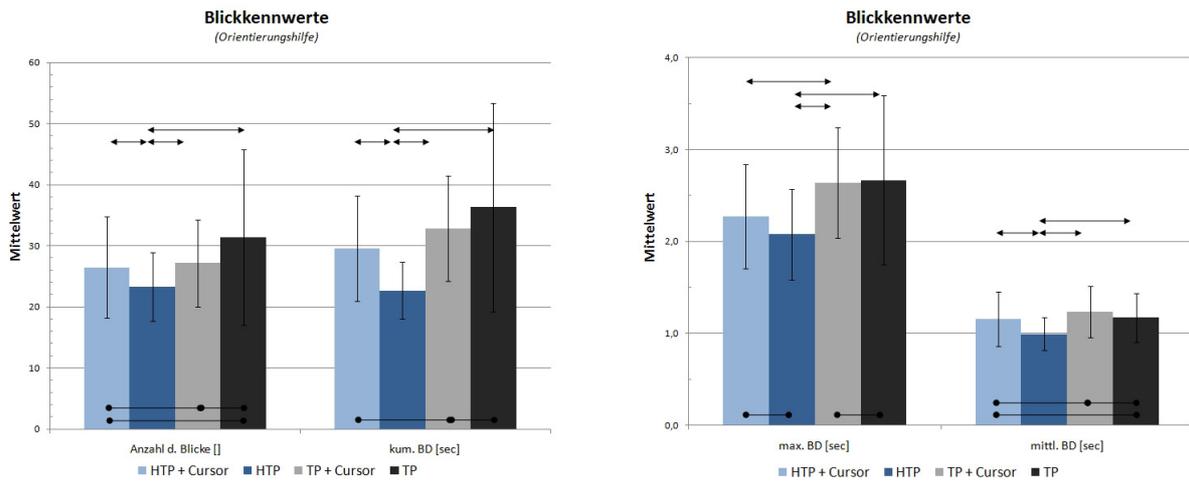


Abbildung 6-43: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

Bei der Betrachtung der Einzelblicke fällt auf, dass zwar die mittleren Einzelblickdauern ebenfalls das gleiche Ergebnis aufweisen, jedoch bezüglich der maximalen Einzelblickdauer die beiden Varianten mit Haptik signifikant kürzere Maximalblicke aufweisen. Die Ergebnisse zeigen jedoch keinen Vorteil des Cursoreinsatzes auf die Dauer und die Anzahl der Blicke zur Nebenaufgabe. Der Cursor verleitet eher zu signifikant mehr und längeren Blickabwendungszeiten von der Fahraufgabe (vgl. Tabelle 6-29).

Tabelle 6-29: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

		Anzahl d. Blicke				kum. BD				max. BD				mittl. BD			
		HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP	HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP	HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP	HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP
Mittelwert		26,44	23,28	27,17	31,35	29,56	22,66	32,84	36,32	2,27	2,08	2,63	2,67	1,16	0,99	1,23	1,17
Standardabw.		8,29	5,58	7,15	14,40	8,64	4,66	8,65	17,09	0,56	0,49	0,60	0,92	0,30	0,18	0,28	0,27
α-Fehler	HTP + Cursor		0,03	1,00	0,30		0,00	0,38	0,13		0,41	0,02	0,18		0,00	0,58	1,00
	HTP			0,02	0,01			0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00
	TP + Cursor				0,60				1,00				1,00				0,83
	TP																
partielles η <sup>2</sup>		ω <sup>2</sup> = 0,16				ω <sup>2</sup> = 0,29				ω <sup>2</sup> = 0,21				ω <sup>2</sup> = 0,30			

Die Ergebnisse des Blickverhaltens und der Bearbeitungszeit spiegeln sich auch in der Spurhaltung wieder. Auch hier hat die Touchpadvariante mit haptisch konturierter Oberfläche ohne Cursor signifikant die geringste Standardabweichung von der Sollspur. Die drei anderen Varianten sind allesamt statistisch gleich (siehe Abbildung 6-44 und Tabelle 6-30).

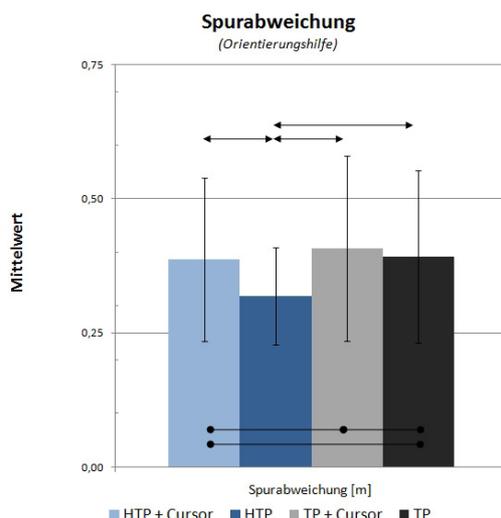


Abbildung 6-44: Vergleich der Spurabweichung bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

Tabelle 6-30: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Spurhaltung bei der Bedienung der Varianten Touchpad mit und ohne Cursor sowie mit und ohne Haptik

		Spurabweichung			
		HTP + Cursor	HTP	TP + Cursor	TP
Mittelwert		0,39	0,32	0,41	0,39
Standardabw.		0,15	0,09	0,17	0,16
α-Fehler	HTP + Cursor		0,03	1,00	1,00
	HTP			0,02	0,03
	TP + Cursor				1,00
	TP				
partielles $\eta^2$		$\omega^2 = 0,115$			

Aufgrund dieser Ergebnisse kann die Alternativhypothese  $H_1$ -Orient 2 für alle Kennwerte bestätigt werden. In allen gemessenen Kennwerten schneidet die Variante mit haptisch konturierter Oberfläche und ohne Cursor am besten ab.

### 6.2.2.3 Ergebnisse zur Bedienlogik

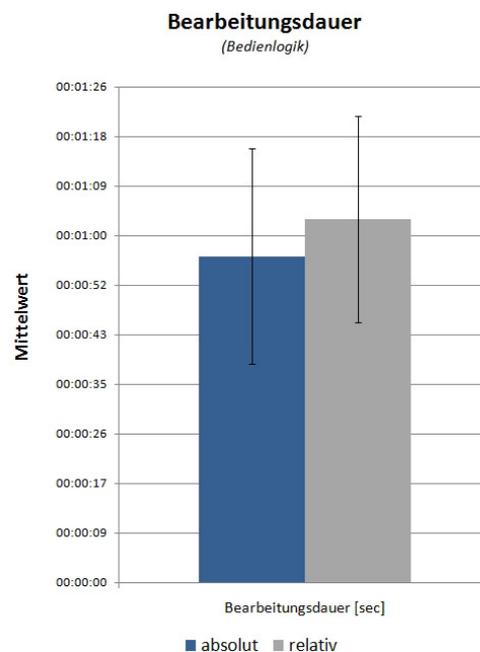
Zuletzt wird die Touchpadbedienung noch mit einer absoluten und einer relativen Bedienlogik verglichen. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Simulatorstudie dargestellt. Die zugrunde liegende Alternativhypothese lautet:

$H_1$ -Log\_1 Für das Bedienen von Nebenaufgaben während der Fahrt über ein Touchpad, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einer relativen und einer absoluten Bedienlogik in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.

Wie in Tabelle 6-31 und in Abbildung 6-45 ersichtlich ist, kann hinsichtlich der Bearbeitungsdauer keine Aussage bezüglich eines Unterschieds getroffen werden. Jedoch zeichnet sich tendenziell aufgrund des höheren Mittelwerts der Bearbeitungszeit bei der relativen Bedienung ein Vorteil für die absolute Bedienung ab.

*Tabelle 6-31: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik*

	Bedienzeiten	
	absolut	relativ
Mittelwert	00:00:57	00:01:03
Standardabw.	00:00:19	00:00:18
$\alpha$ -Fehler	0,11	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,082$	



*Abbildung 6-45: Vergleich der Bearbeitungsdauern bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik*

Die Betrachtungen der Anzahl der Blicke und der kumulierten Blickdauer zur Nebenaufgabe in Abbildung 6-46 zeigen beide einen signifikant höheren Wert bei der relativen Bedienlogik. Die Betrachtung der Einzelblicke hingegen liefern statistische Gleichheit ( $p > .25$ ).

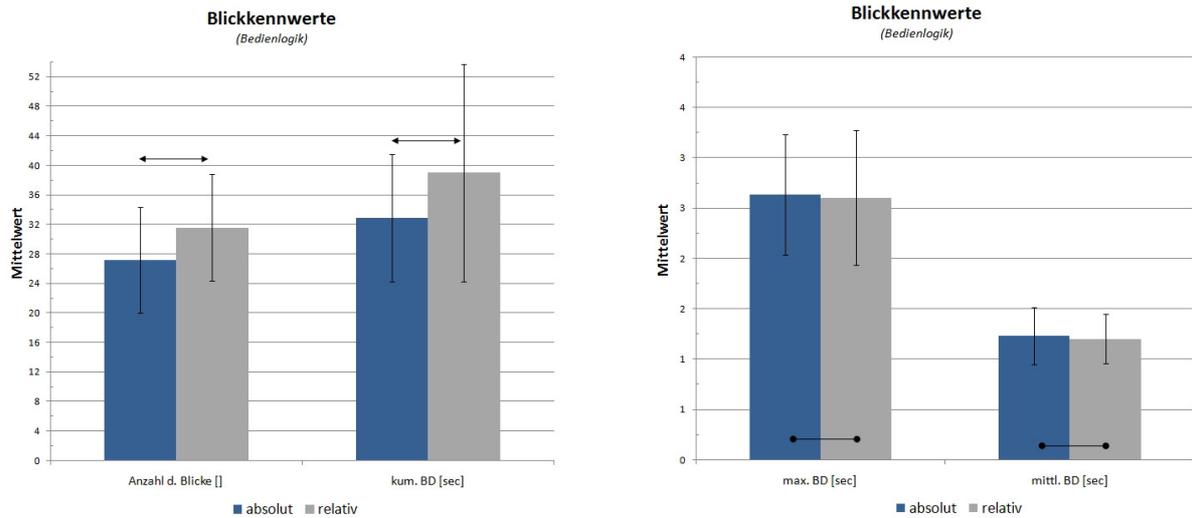


Abbildung 6-46: Aggregiertes Blickverhalten (links) sowie Blickbewertung (rechts) bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik

In Tabelle 6-32 werden diese Ergebnisse in Zahlenform nochmals detailliert dargestellt.

Tabelle 6-32: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Blickkennwerte bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik

	Anzahl Blicke		kum. BD		max. BD		mittl. BD	
	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ	absolut	relativ
Mittelwert	27,17	31,57	32,84	39,01	2,63	2,60	1,23	1,20
Standardabw.	7,15	7,23	8,65	14,75	0,60	0,67	0,28	0,24
$\alpha$ -Fehler	0,00		0,04		0,79		0,49	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,311$		$\omega^2 = 0,132$		$\omega^2 = 0,002$		$\omega^2 = 0,015$	

Auf die Spurhaltung hat die Bedienlogik, wie in Abbildung 6-47 und Tabelle 6-33 zu sehen ist, keinen Einfluss.

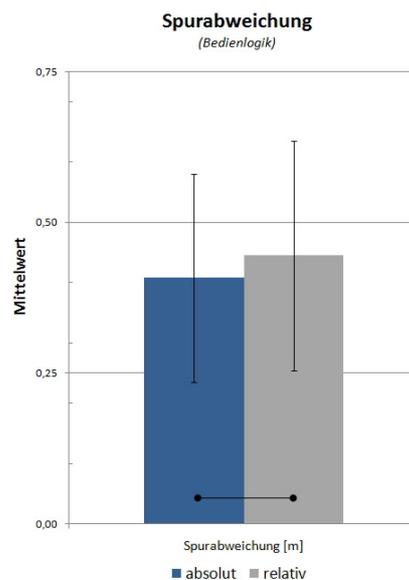


Abbildung 6-47: Vergleich der Spurabweichung bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik

*Tabelle 6-33: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse des Vergleichs der Spurabweichung bei der Bedienung des Touchpads mit relativer und absoluter Bedienlogik*

	Spurabweichung	
	absolut	relativ
Mittelwert	0,41	0,44
Standardabw.	0,17	0,19
$\alpha$ -Fehler	0,28	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,037$	

Lediglich für die Kennwerte des aggregierten Blickverhaltens kann die Alternativhypothese  $H_1$ -Log\_1 bestätigt werden. Hier zeichnet sich ein signifikanter Effekt zugunsten der absoluten Bedienung ab. Für die restlichen Kennwerte kann kein Effekt nachgewiesen werden, weshalb hierfür jeweils die Nullhypothese beibehalten wird.

### 6.2.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich für die im Rahmen dieser Studie untersuchten Fragestellungen eindeutige Ergebnisse abzeichnen. Für die Untersuchung verschiedener Interaktionsformen zur Bedienung einer Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional kann ein eindeutiges Ergebnis zu Gunsten einer direkten 2-dimensionalen Verschiebung auf einer X,Y-Fläche nachgewiesen werden. Dies kann durch fast alle gemessenen Kennwerte bestätigt werden. Lediglich auf die Spurhaltung hat die Variation der Interaktionsform bei diesem Aufgabentyp keinen nachweisbaren Einfluss.

Der Vergleich einer haptischen und einer glatten Bedienoberfläche, jeweils mit zusätzlichem Cursor auf dem Bildschirm zur Visualisierung der Fingerposition, hat ebenfalls ein sehr eindeutiges Ergebnis gezeigt. Hier kann ein deutlicher Effekt zu Gunsten einer haptisch konturierten Oberfläche gemessen werden. Ein Cursor als zusätzliche optische Orientierungshilfe auf dem Bildschirm hingegen hat keinen Einfluss. In Kombination mit der haptisch konturierten Oberfläche verschlechtert dieser das Ergebnis sogar.

Der Vergleich einer relativen und einer absoluten Touchpadbedienlogik lässt, bis auf die Betrachtung der aggregierten Blickkennwerte, keinen Nachweis eines Effekts zu. Der Effekt bei den aggregierten Blickkennwerten lässt sich zu Gunsten der absoluten Bedienlogik nachweisen.

## 6.3 Fahrsimulatorstudie zum Vergleich von Bedienvarianten

Im folgenden Kapitel wird die Simulatorstudie zum Vergleich verschiedener Bedienvarianten vorgestellt. Dabei ist die zentrale Frage, ob sich eine Kombination mehrerer für die jeweiligen Aufgabentypen geeigneter Bedienelemente oder ein Bedienelement zur Bedienung des kompletten Menüumfanges besser eignet.

Die Mittelkonsole ist, wie in Kapitel 5.2.2.1 beschrieben, so konzipiert, dass ein schneller Wechsel der Bedienelemente während dem Versuch problemlos möglich ist.

### 6.3.1 Versuchsdesign

Zunächst werden das verwendete Probandenkollektiv, die Untersuchungsvariablen sowie die Aufgaben und deren Durchführung im Versuch erläutert.

#### 6.3.1.1 Probandenkollektiv

Die Studie wird mit 33 Probanden (23 M, 10 F,  $\bar{X}$ =39,97 Jahre,  $s_d$ =11,22 Jahre) in einem within subject design durchgeführt. Die Verteilung der Stichprobe ist Abbildung 6-48 zu entnehmen.

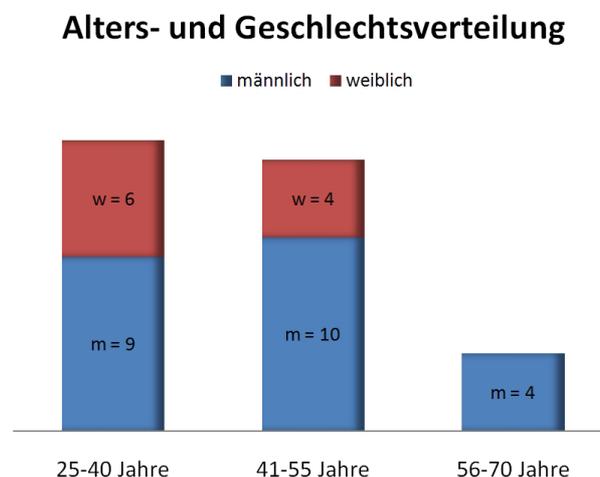


Abbildung 6-48: Altersverteilung der in Studie 3 verwendeten Stichprobe in Abhängigkeit des Geschlechts

#### 6.3.1.2 Untersuchungsvariablen

Der Untersuchung werden zwei verschiedene Bedienelementvarianten zu Grunde gelegt:

- Verteilte Bedienung: Für jeden Aufgabentyp ist ein separates Bedienelement vorhanden
- Integrierte Bedienung: Alle Aufgabentypen lassen sich über ein Bedienelement bedienen

Als Referenzbedienelement für die *verteilte Bedienung* dient im Rahmen dieser Arbeit eine Bedieneinheit aus separatem Dreh- Drück- Steller, separaten Tasten und einem Touchpad wie sie beim Audi MMI nach neuestem Stand der Technik Verwendung findet (siehe Abbildung 6-49).



Abbildung 6-49: Bedienelement der Kategorie „Verteilte Bedienung“

Dabei dient der Dreh- Drück- Steller den Aufgabentypen „Einstell-/ Verschiebeaufgaben 1-dimensional“, „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ eindimensional in einem Kreis angeordnet und „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als eindimensionale Liste dargestellt. Die redundanten Tasten ermöglichen einen direkten Menüzugriff und sind somit ebenfalls dem Aufgabentyp „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ zuzuordnen. Das separate Touchpad ist zur Bedienung des Aufgabentyps „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional“ vorgesehen. Die *integrierte Bedienung* wird durch das Touchpad vertreten. In Anlehnung an die Ergebnisse der beiden vorangegangenen Studien verfügt dieses über eine haptisch adaptive Oberfläche. Die Bedienlogik für das Touchpad ist absolut ausgelegt und es wird auf einen Cursor zur Visualisierung der aktuellen Fingerposition verzichtet. Abbildung 6-50 zeigt die beiden zu vergleichenden Varianten in einer 1x2 Versuchsmatrix.

Bedienelement	
Verteilte Bedienung (Dreh- Drück- Steller + Tasten + Touchpad)	Integrierte Bedienung (Haptisches Touchpad)
	

Abbildung 6-50: Zellenplan der zwei zu vergleichenden Bedienelemente

Zunächst soll der Frage nachgegangen werden, ob sich ein Umgreifen durch einen Bedienelementwechsel innerhalb eines Bedienzuges negativ auswirkt und ob eine integrierte Bedienung mit einem einzigen Bedienelement für alle Aufgabentypen einen solchen potenziellen Negativeffekt kompensieren kann. Zur Untersuchung dieser Frage werden zum einen die Wechselsituationen zwischen zwei verschiedenen Aufgabentypen und somit der Wechsel zwischen den Bedienelementen betrachtet, sowie zum anderen die Bedienung der einzelnen Aufgabentypen mit den dafür vorgesehenen Bedienelementen. Somit wird ebenfalls betrachtet, dass Vorteile durch die Reduktion auf eine einzige *integrierte Bedienalternative*, Nachteile bei der Interaktion mit verschiedenen Aufgabentypen mit sich bringen können.

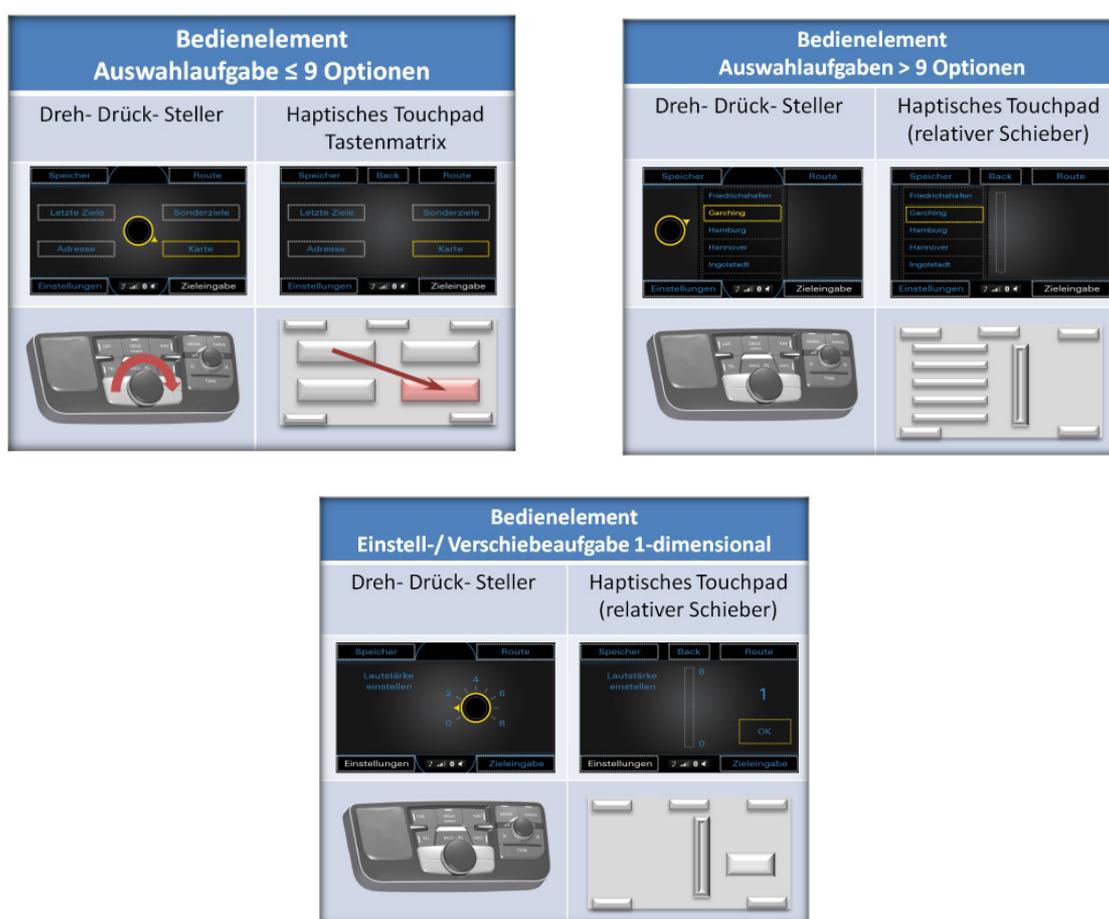


Abbildung 6-51: Zellenpläne zum Vergleich der Bedienung einer „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional“, einer „Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen“ und einer Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen mit den Bedienelementen Dreh- Drück- Steller und haptisches Touchpad

Die Bildschirmaufteilungen sowie die Menüführung sind aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Bedienvarianten gleich. So werden beispielsweise die vier Menüoptionen in den vier Bildschirmecken durch die Tasten um den Dreh- Drück- Steller aktiviert. Beim Touchpad und haptischen Touchpad sind die vier Optionen ebenfalls auf die vier Ecken verteilt. Somit kann eine zusätzliche Störvariable aufgrund verschiedener räumlicher Anordnungen eliminiert

werden und der gemessene Effekt ausschließlich auf den Einfluss der variierenden Bedienalternativen zurückgeführt werden.

Abbildung 6-51 zeigt die drei 1x2 Zellenpläne für die Vergleiche der drei verschiedenen Aufgabentypen mit den jeweiligen Bedienalternativen.

### 6.3.1.3 Versuchsaufgaben und Durchführung

Der Versuch wird in Anlehnung an Kapitel 5.2.3 in eine Vorabbefragung, eine Einführungsphase, eine Übungsphase, zwei Durchführungsphasen sowie eine Abschlussbefragung unterteilt.

Zur Untersuchung wird eine komplexe Navigationsaufgabe in drei separaten Teilschritten bearbeitet. Bei der Auswahl der Untersuchungsaufgabe werden mit Hinblick auf die zu untersuchenden Hypothesen folgende Situationen provoziert:

- Wechsel zwischen den Bedienteilen Tasten, Dreh- Drück- Steller und Touchpad
- Bearbeitung der Grundaufgabentypen

Die Probanden müssen zunächst das Ziel *Garching* aus der Liste der zuletzt angefahrenen Ziele auswählen. Dies repräsentiert die „Auswahlaufgabe > 9 Optionen“ (siehe Abbildung 6-52).

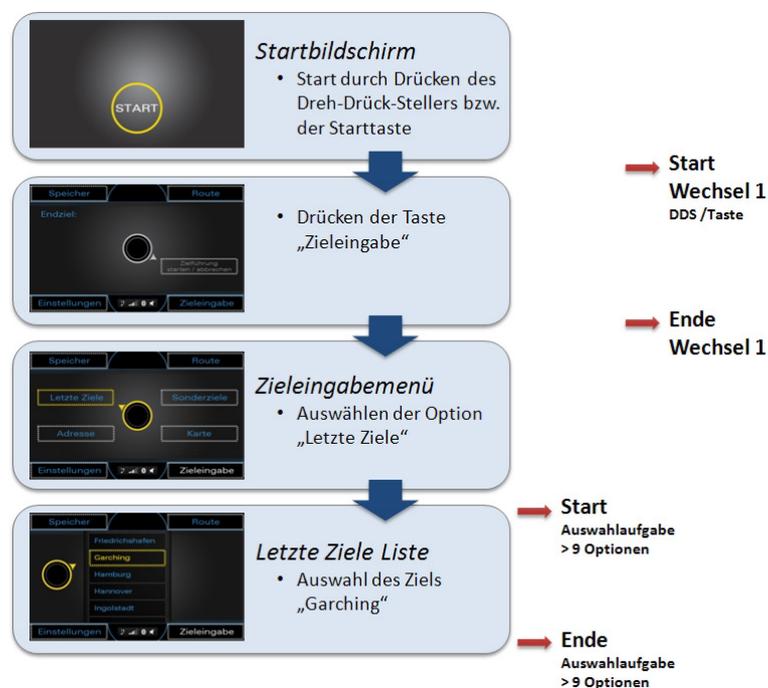


Abbildung 6-52: Aufgabe Teil 1 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh-Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen

Als zweiter Teil der Bedienaufgabe muss ein weiteres Zwischenziel über die Navigationskarte ausgewählt werden. Der Zwischenschritt in die Navigationskarte über das

Zieleingabemenü stellt dabei den Aufgabentyp „Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen“ dar, die Zieleingabe über die Karte den Aufgabentyp „Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional“. Letzterer Aufgabentyp unterscheidet sich, unter reiner Betrachtung der Auswahlinteraktion auf dem Touchpad, nicht zwischen den beiden Bedienalternativen und wird deshalb bei der Betrachtung der Bedienelemente für die jeweiligen Aufgabentypen nicht separat ausgewertet. Jedoch dient die Karteninteraktion mit dem verteilten Bedienelement einem provozierten Bedienelementwechsel zwischen Dreh- Drück- Steller und Touchpad. Anschließend muss das gewählte Ziel im Adressbuch abgespeichert werden. Die Teilaufgabe ist in Abbildung 6-53 dargestellt.

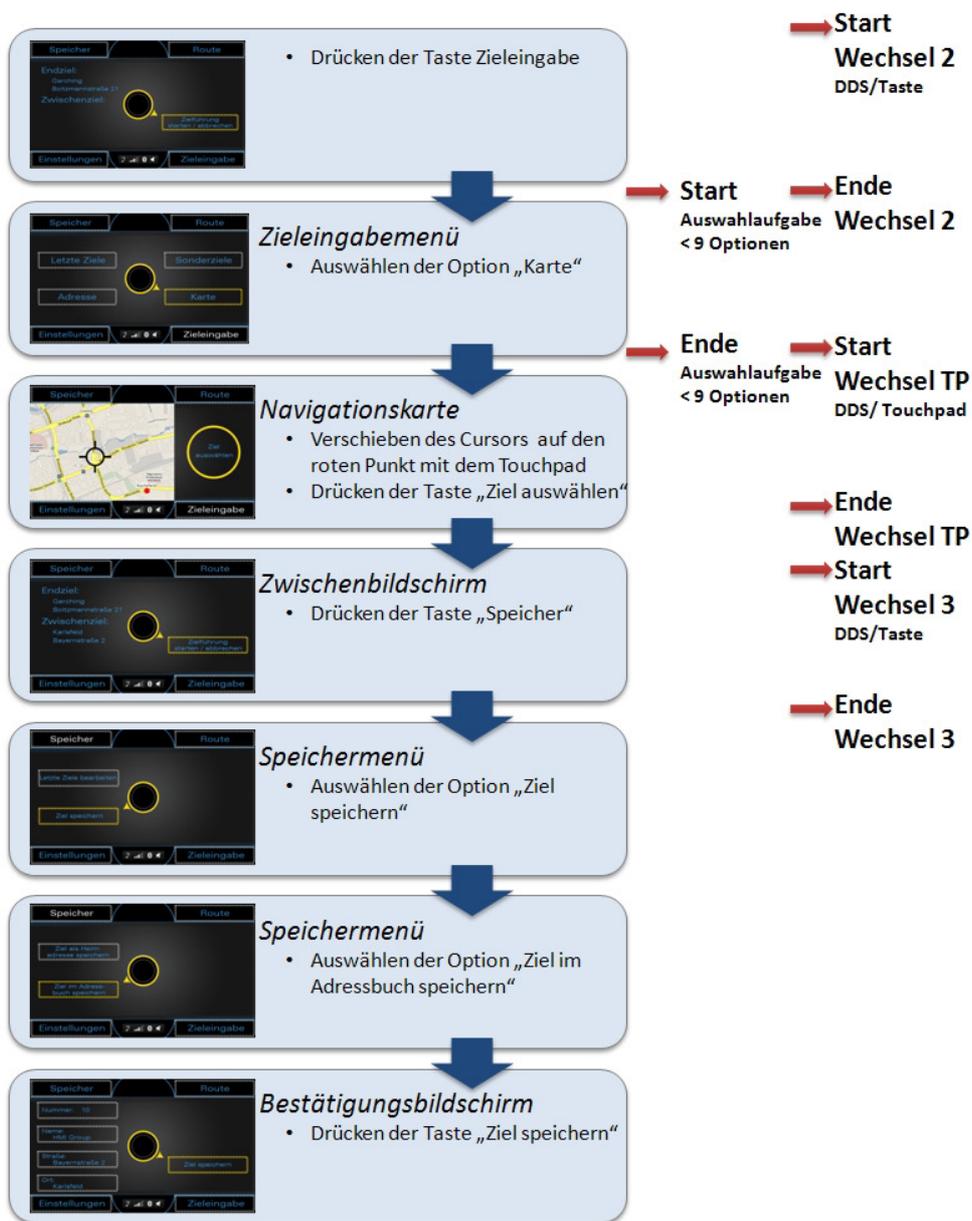


Abbildung 6-53: Aufgabe Teil 2 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh-Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen

Als dritter Teilschritt wird zunächst die Zielführung gestartet und anschließend die Navigationslautstärke verstellt. Letzteres stellt den Aufgabentyp „Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional“ dar. Dieser Aufgabenabschnitt ist in Abbildung 6-54 zu sehen.

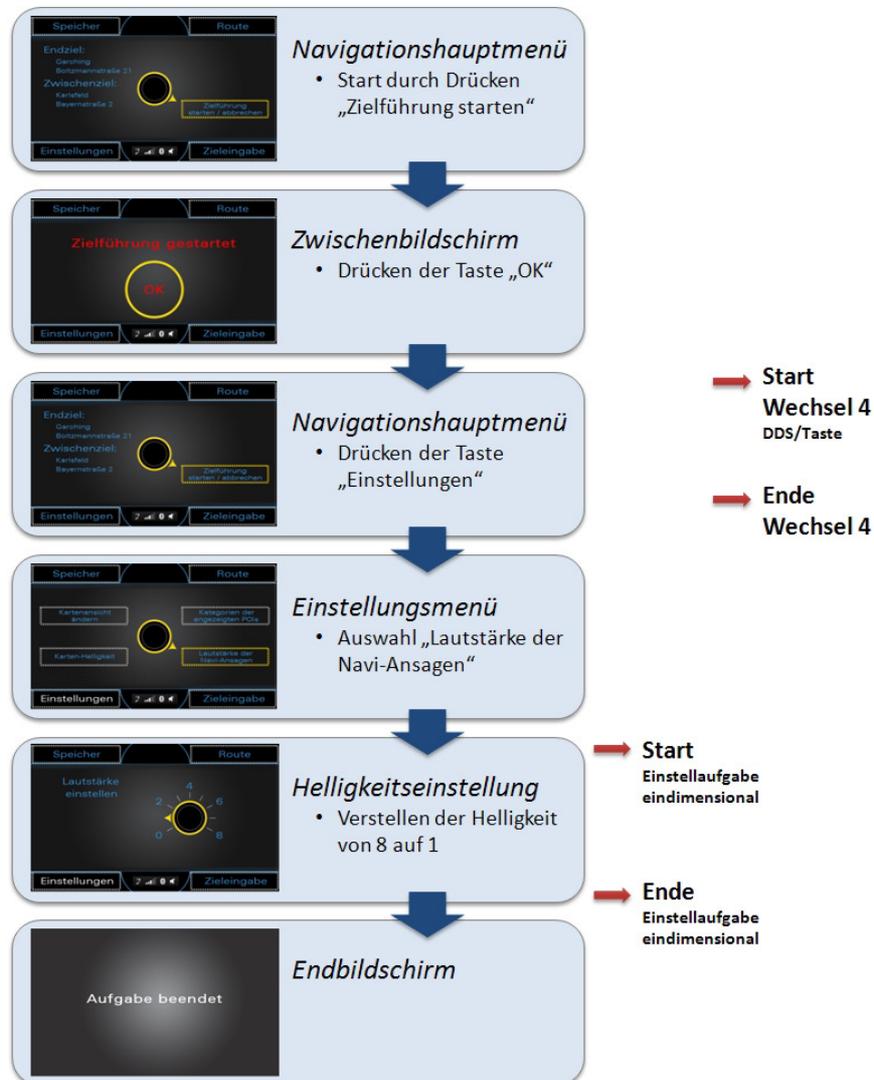


Abbildung 6-54: Aufgabe Teil 3 zur Untersuchung der Bedienelemente am Beispiel Dreh-Drück- Steller mit den Betrachtungsintervallen für die jeweiligen Hypothesen

Nach der vollständigen Bearbeitung aller drei Teilaufgaben mit einer Bedienvariante, wird von den Versuchspersonen eine Bewertung zu den folgenden Aussagen auf einer fünfstufigen Skala erfragt:

- Die Aufgabe war insgesamt leicht zu lösen
- Die gesuchte Menüseite war leicht aufzufinden
- Die Navigation durch die Menüebenen war sehr intuitiv
- Ich konnte die Aufgabe erledigen ohne auf das Bedienteil zu schauen
- Ich wusste bei jedem Bedienschritt, welches Element ich benutzen muss

Außerdem müssen die Probanden den Fragebogen AttrakDiff bezüglich der eben bearbeiteten Variante ausfüllen.

Letztlich soll für jede bearbeitete Bedienalternative ein entscheidender Vor- und ein entscheidender Nachteil genannt werden. Dabei wird den Probanden nichts vorgegeben. Kann ein Proband keinen Vor- oder Nachteil benennen, wird dies als „keine Aussage“ festgehalten. Die beiden Bedienvarianten werden in einem permutierten Versuchsplan durchgeführt.

### **6.3.2 Ergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der dritten Simulatorstudie dargestellt. Dies erfolgt in zwei Kapiteln. Das erste behandelt dabei Ergebnisse des Einflusses des erzwungenen Wechsels von Bedienelementen innerhalb einer Bedienaufgabe sowie deren Auswirkung auf die Akzeptanz. Im darauf folgenden Abschnitt wird die Bedienung der Grundaufgabentypen aus Kapitel 2.3.2 mit den jeweiligen Bedienelementen isoliert betrachtet.

#### **6.3.2.1 Gesamtvergleich verteilte vs. integrierte Bedienung**

Zunächst wird der Einfluss des erzwungenen Bedienelementwechsels betrachtet. Hierzu sind im Versuch die Aufgaben so konzipiert, dass die Probanden während des Versuchs immer wieder vom Dreh-Drück- Steller auf verschiedene Menütasten sowie vom Dreh-Drück- Steller auf das Touchpad umgreifen müssen (siehe Abschnitt 6.3.1.3). Dieses Umgreifen ist mit der verteilten Bedienung notwendig, da diese aus einer Kombination von Bedienelementen besteht, welche jeweils für unterschiedliche Aufgabentypen vorgesehen sind (siehe Kapitel 3.1). Es wird vermutet, dass der Bedienelementwechsel mit einem Blick auf das Bedienelement erfolgt, welcher als erhöhte Ablenkung von der Fahraufgabe als auch als negativer Einfluss auf die subjektive Bewertung vermutet wird. Die zu testenden Alternativhypothesen hierzu lauten:

*H<sub>1</sub>-Bed\_1: Es gibt einen Unterschied in der Anzahl der Personen, welche zum Bedienteil schauen, und der mittleren Anzahl an Blicken zum Bedienelement zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_2: Es gibt einen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Aufgabenwechsel zwischen der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen*

bestehenden Bedieneinheit, bei dem das Bedienelement beim Aufgabenwechsel ebenfalls gewechselt werden muss.

*H<sub>1</sub>-Bed\_3:* Es gibt einen Unterschied in der subjektiven Beurteilung der Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt mit einem haptischen Touchpad und einer aus mehreren einzelnen Bedienelementen bestehenden Bedieneinheit.

Abbildung 6-55 zeigt die Blickrate auf das Bedienelement in den angesprochenen Bedienelementwechselsituationen sowie die mittlere Anzahl an Blicken zum Bedienelement all derjenigen mit mindestens einer Blickabwendung.

### Blickrate auf das Bedienteil

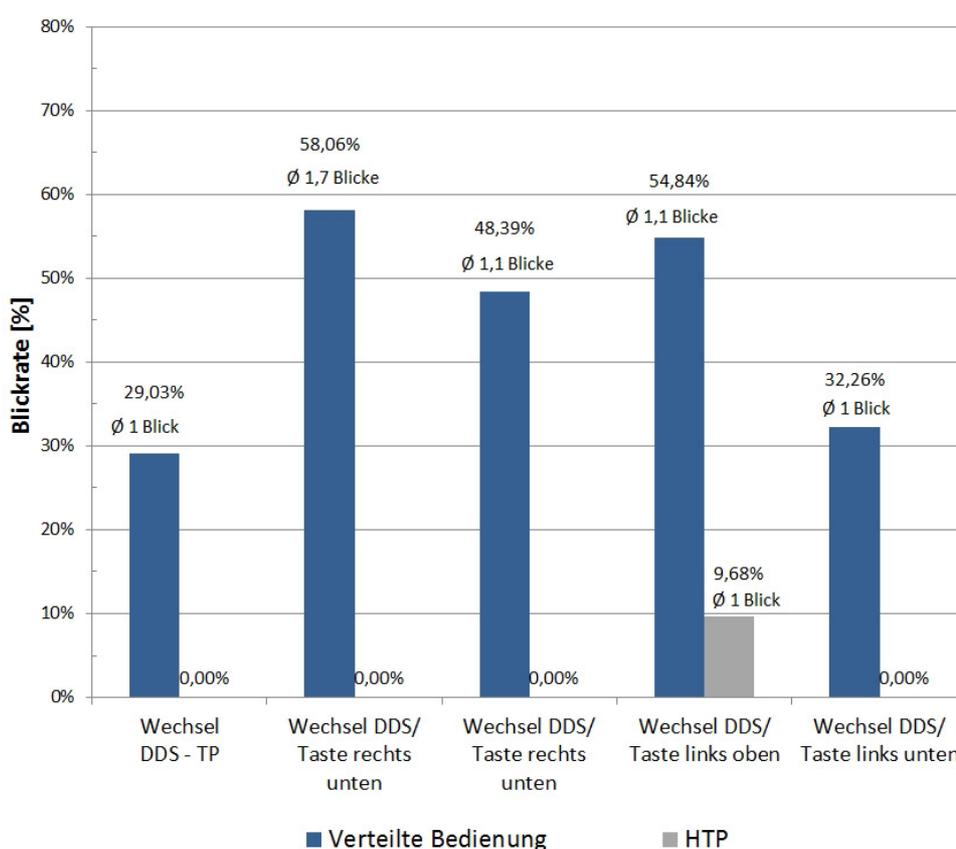


Abbildung 6-55: Vergleich zwischen verteilter Bedienung und haptischem Touchpad der Blickrate und der durchschnittlichen Blickanzahl auf das Bedienelement bei Aufgaben mit nötigem Bedienelementwechsel

Es lässt sich deutlich nachweisen, dass das haptische Touchpad im Vergleich zur verteilten Bedienung ohne Blickabwendung zum Bedienelement bedient werden kann. Die geringste Blickrate tritt mit 29,03% beim Wechsel zwischen Dreh- Drück- Steller und Touchpad auf. Die Blickraten bei den Wechseln zwischen Dreh- Drück- Steller und den darum liegenden Menütasten rechts unten und links oben ist mit zwischen 48,39% und 58,06% und im Mittel mit bis zu 1,7 Blickabwendungen pro Wechsel noch deutlich höher. Das haptische Touchpad

ist vergleichsweise dazu, bis auf die Ausnahme beim Wechsel auf die Taste links oben, absolut blind bedienbar. Beim Wechsel auf die Taste links oben ergibt sich beim Touchpad eine vergleichsweise geringe Blickrate zum Bedienelement von 9,68% mit durchschnittlich einer Blickabwendung. Diese Ausnahme lässt sich durch einen in der sehr frühen Versuchsphase auftretenden technischen Defekt erklären. Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, ist die komplette Touch-/Brailleeinheit auf drei FSR-Sensoren gelagert, welche die Betätigungskraft in z-Richtung detektieren. Zu Beginn der Versuchsphase fiel einer der drei Sensoren aus. Dies führte zu einer schlechten Aufnahme der Betätigungskraft im linken oberen Touchpadbereich, was vereinzelt zu Verwunderung der Probanden führte und eine Blickabwendung zum Bedienteil hervorrief.

Insgesamt kann aufgrund dieses Ergebnisses die Alternativhypothese  $H_1\text{-Bed}_1$  bestätigt werden.

Abbildung 6-56 zeigt den Vergleich der subjektiven Einschätzung der Probanden über beide Bedienelemente. Die Einschätzung der Probanden hinsichtlich der Blindbedienbarkeit geht auch hier signifikant zu Gunsten des haptischen Touchpads aus. Hinsichtlich der Frage, ob die Aufgabe insgesamt leicht zu lösen war, schneidet jedoch die verteilte Bedienung signifikant besser ab. Zu den restlichen Fragen zur Menüführung und zum Auffinden der zur Bedienung nötigen Elemente ist statistisch kein Unterschied nachweisbar.

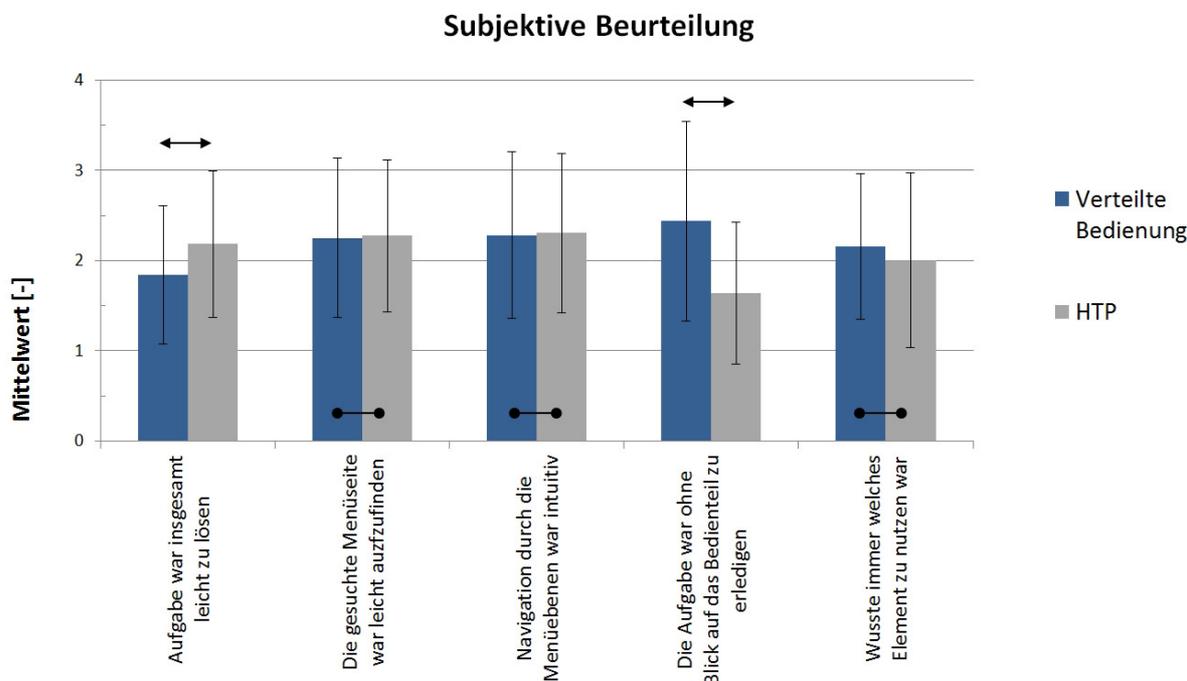


Abbildung 6-56: Vergleich der subjektiven Bewertung der verteilten Bedienung mit der Bedienung des haptischen Touchpads auf einer fünfstufigen Skala (1 sehr gut/ nicht ablenkend; 5 sehr schlecht/ sehr ablenkend)

Die Betrachtung der Ergebnisse des AttrakDiff zeigt einen signifikanten Vorteil der verteilten Bedienung bezüglich der pragmatischen Qualität und der Attraktivität. Dies deckt sich mit den subjektiven Bewertungen aus Abbildung 6-56. Die pragmatische Qualität verdeutlicht die Benutzbarkeit des Systems bzw. wie gut der Nutzer bei der Benutzung zurechtkommt.

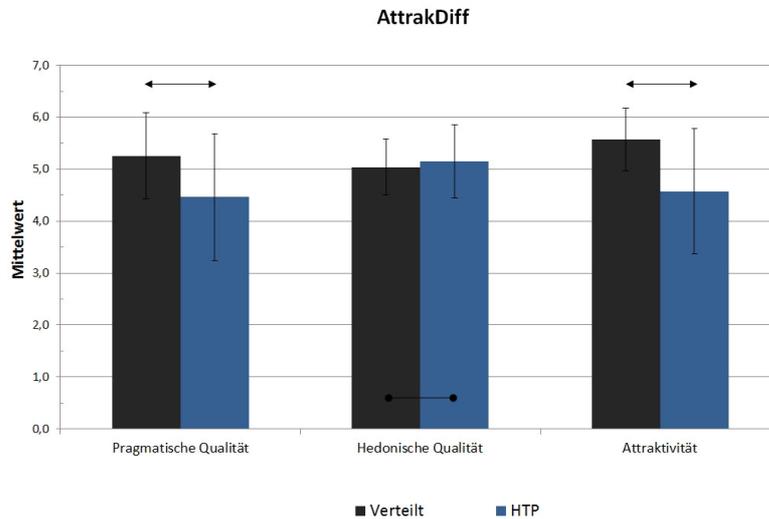


Abbildung 6-57: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Bewertung der subjektiv empfundenen Attraktivität für die Bedienung mittels verteiltem Bedienelement und haptischem Touchpad (7 = positiv; 1 = negativ)

Um das subjektiv schlechtere Abschneiden des haptischen Touchpads erklären zu können werden als nächstes die Aussagen der Probanden bezüglich Vor- und Nachteilen der beiden Bedienelemente herangezogen.

### Haptisches Touchpad

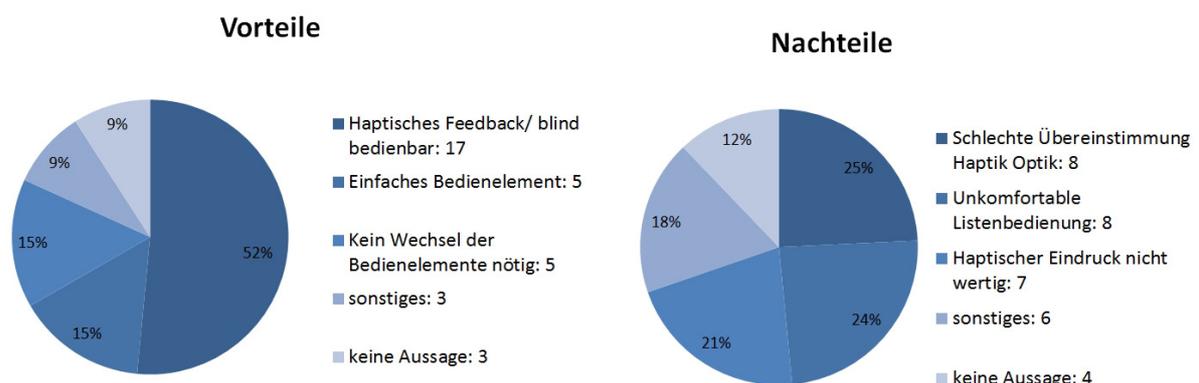


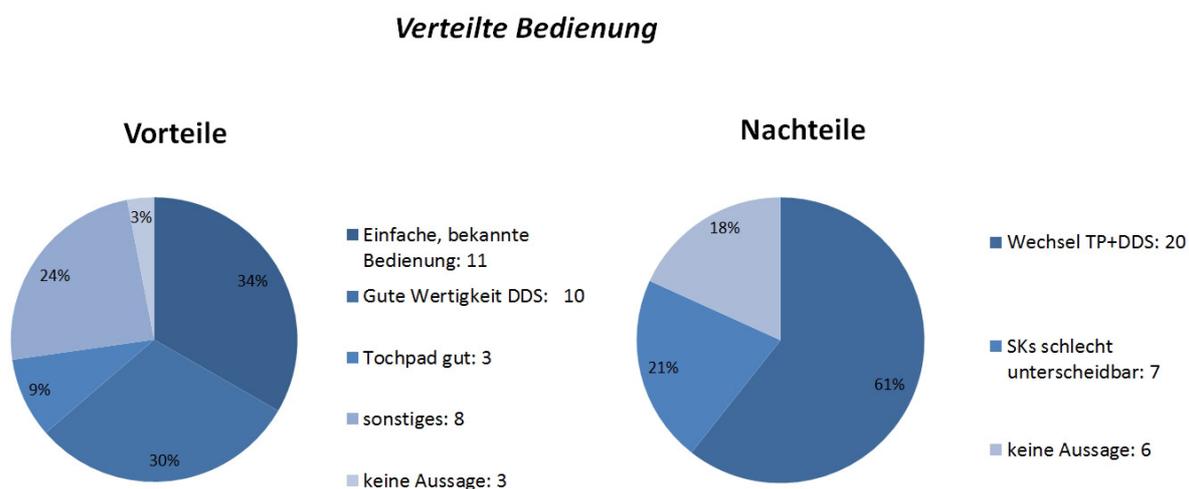
Abbildung 6-58: Freie subjektive Aussagen der Probanden zu Vor- und Nachteilen des haptischen Touchpads

Abbildung 6-58 geht dabei zunächst auf das haptische Touchpad ein. Es zeigt sich, dass mit 52% über die Hälfte der Probanden den großen Benefit des haptischen Touchpads in der Blindbedienbarkeit sehen. Weitere 15% nennen als Vorteil die einfache Handhabung des

Bedienteils. 15% der Probanden nennen sogar wörtlich den Vorteil, dass kein Wechsel zwischen Bedienelementen nötig ist.

Betrachtet man die Aussagen über Nachteile so lässt sich feststellen, dass sich die drei am häufigsten genannten Aussagen allesamt auf die prototypische und damit mangelnde technische Umsetzung zurückführen lassen. 25% der Probanden beklagen dabei die schlechte Übereinstimmung der Haptik mit der optischen Darstellung auf dem Display, was sich wohl auf gewisse Verzögerungen bedingt durch das Zusammenspiel der FSR- und der IR-Sensorik zurückführen lässt. Die mangelnde Wertigkeit bezüglich der Haptik wird von 18% als Nachteil bemängelt. Laut Aussage der Probanden fühlt sich das Drücken und anschließende Verschwinden der Braillestifte in der Touchpadoberfläche schlecht an. Manche Probanden äußern sogar Bedenken etwas kaputt gemacht zu haben.

Abbildung 6-59 zeigt die Vor- und Nachteile der verteilten Bedienung.



*Abbildung 6-59: Freie subjektive Aussagen der Probanden zu Vor- und Nachteilen der verteilten Bedienung*

Der mit 34% am häufigsten genannte Vorteil ist die einfache und bekannte Bedienung. Hier macht sich die Tatsache bemerkbar, dass die Probanden allesamt aus dem Audi-internen Probandenpool verwendet werden mussten und diese größtenteils Dienstwagen mit dem Audi MMI fahren. Weitere 30% befinden die hohe Wertigkeit des Bedienelementes als positiv. Anhand dieser Aussagen lassen sich die beiden Hauptursachen der vorliegenden Ergebnisse dieses Bedienteilvergleiches erklären. Zum einen wird ein ausgereiftes Serienbedienelement mit einem Prototypen verglichen, welcher schon in der Anfangsphase des Versuchs erste technische Probleme aufweist, welche sich massiv auf die Handhabung auswirken. Zum anderen weist das Probandenkollektiv durchgängig Erfahrung mit dem Audi

MMI auf. Das haptische Touchpad hingegen ist als neues Bedienelement bis auf ein paar Probanden, welche an den ersten Versuchen teilgenommen hatten, noch unbekannt.

Betrachtet man die genannten Nachteile der verteilten Bedienung sieht man, dass 61% der Probanden den erzwungenen Wechsel zwischen den Bedienelementen Touchpad und Dreh-Drück- Steller als negativ empfinden. Weitere 21% klagen über eine schlechte Auffindbarkeit bzw. Unterscheidbarkeit der Menütasten, was ebenfalls auf einen negativen Effekt aufgrund des Bedienteilwechsels deutet.

$H_1$ -Bed\_2 lässt sich aufgrund der genannten Vor- und Nachteile der beiden Bedienvarianten zwar nicht eindeutig bestätigen, zumindest lässt das Ergebnis jedoch eine Richtung der Hypothese zu Gunsten der Bedienung ohne Bedienelementwechsel zu, sodass mit einem Folgetest diese Hypothese nochmals untersucht und bestätigt werden kann.  $H_1$ -Bed\_3 kann für die Ergebnisse der pragmatischen Qualität und der Attraktivität bestätigt werden. Jedoch fallen diese Effekte zu Gunsten der herkömmlichen Bedienung aus. Dieses Ergebnis muss aufgrund der stark unterschiedlichen Entwicklungsstände der beiden getesteten Bedienelemente kritisch betrachtet werden und gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt mit einer Weiterentwicklung des haptischen Touchpads nochmals geprüft werden. Bezüglich der hedonischen Qualität aus dem AttrakDiff lässt sich kein Effekt feststellen, weshalb hier die Nullhypothese beibehalten werden muss.

Im Folgenden werden die Bedienteile bei der Bearbeitung der Grundaufgabentypen isoliert betrachtet, um zu sehen, ob das haptische Touchpad einen negativen Einfluss auf die Aufgabenbearbeitung hat.

### **6.3.2.2 Objektiver Vergleich der Grundaufgabentypen**

Der vorherige Abschnitt hat gezeigt, dass eine integrierte Bedienung mittels haptischem Touchpad und die damit verbundene Vermeidung von Bedienelementwechseln sowohl objektiv als auch subjektiv Vorteile haben. Zudem bietet ein Touchpad neuartige Interaktionsmöglichkeiten, welche mit bisherigen konventionellen Stellteilen nicht möglich sind. Im folgenden Abschnitt werden nun die Ergebnisse vorgestellt, welche die Bedienung der in Kapitel 2.3.2 definierten Grundaufgabentypen mit den beiden Bedienalternativen vergleicht. Die Grundaufgabentypen Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen, Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen und Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional werden bei der verteilten Bedienung allesamt mit dem Dreh- Drück- Steller bearbeitet. Demnach erfolgt bei der Betrachtung der Bearbeitung dieser drei Aufgabentypen der Vergleich zwischen Dreh-Drück- Steller und haptischem Touchpad. Um die Vorteile des haptischen Touchpads zu wahren, sollte die Bearbeitung dieser Aufgaben mit dem haptischen Touchpad nicht

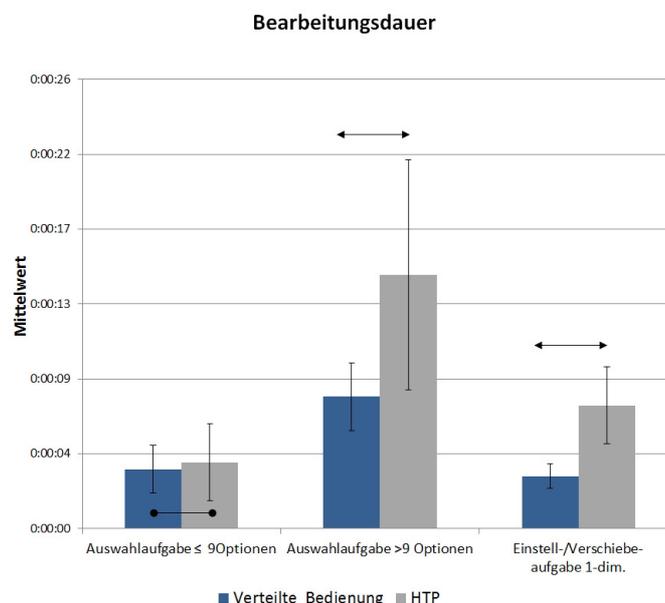
wesentlich schlechter als mit dem Dreh- Drück- Steller durchführbar sein. Folgende Alternativhypothesen aus Abschnitt 5.1.2 liegen der Untersuchung zu Grunde:

*H<sub>1</sub>-Bed\_4: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_5: Für das Bedienen von „Auswahlaufgaben > 9 Optionen“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

*H<sub>1</sub>-Bed\_6: Für das Bedienen von „Verschiebe-/Einstellaufgaben 1-dimensional“ als Nebenaufgabe während der Fahrt, gibt es einen Unterschied zwischen der Bedienung mit einem haptischen Touchpad und einem Drehsteller einer abgesetzten Bedieneinheit in der Bedienleistung, der Fahrperformance und dem Blickverhalten des Fahrers.*

Die Abbildung 6-60 zeigt die Bearbeitungsdauern mit den jeweiligen Bedienelementen für die drei Aufgabentypen.



*Abbildung 6-60: Vergleich der Bedienzeiten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad*

Für die Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen besteht bezüglich der Bearbeitungsdauer kein Unterschied. Für die Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen wird mit dem haptischen Touchpad im Mittel 15 Sekunden ca. doppelt so viel Zeit benötigt wie mit dem Dreh- Drücksteller. Die Standardabweichung ist mit 7 Sekunden ebenfalls sehr hoch. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich der bereits im vorherigen Abschnitt erwähnte Defekt einer der FSR- Sensoren ebenfalls bei der Bestätigung des Listenelementes negativ auswirkte und teilweise zu mehreren Fehlbedienungen führte. Dies erklärt zum einen den sehr hohen Mittelwert und zum anderen die sehr hohe Standardabweichung. Als Vergleich kann auch die Listenbedienung aus der ersten Simulatorstudie herangezogen werden. Der Mittelwert der Bearbeitungsdauer betrug nur 10 Sekunden mit einer Standardabweichung von 3 Sekunden, obwohl für diese Listeninteraktion die Liste wesentlich weiter verschoben werden musste, um das Zielelement auszuwählen. Die eindimensionale Einstellaufgabe lässt sich mit dem Dreh-Drücksteller ebenfalls signifikant schneller bearbeiten als mit dem haptischen Touchpad. Alle Werte sind in Tabelle 6-34 zusammengefasst dargestellt.

*Tabelle 6-34: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken des Vergleichs der Aufgabendauern für die Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen, Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad*

	Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen		Auswahlaufgabe $> 9$ Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	0:00:03	0:00:04	0:00:08	0:00:15	0:00:03	0:00:07
Standardabw.	0:00:01	0:00:02	0:00:02	0:00:07	0:00:01	0:00:02
$\alpha$ -Fehler	1,00		0,00		0,00	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,02$		$\omega^2 = 0,48$		$\omega^2 = 0,44$	

Betrachtet man die Ergebnisse des aggregierten Blickverhaltens mit den jeweiligen Bedienalternativen über die drei Aufgabentypen hinweg in Tabelle 6-35, so ist erkennbar, dass das Ergebnis für die Bearbeitungsdauer ebenso für die mittlere Blickanzahl als auch für die kumulierte Blickdauer gilt.

Tabelle 6-35: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die Anzahl der Blicke und kumulierte Blickdauer bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad

	Anzahl Blicke					
	Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen		Auswahlaufgabe > 9 Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	2,97	3,45	5,00	7,94	2,87	4,62
Standardabw.	0,95	1,31	1,29	3,12	0,72	1,54
α-Fehler	0,36		0,00		0,00	
partielles η²	ω² = 0,06		ω² = 0,40		ω² = 0,43	

	Kumulierte Blickdauer					
	Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen		Auswahlaufgabe > 9 Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	1,86	2,29	4,43	10,20	1,81	4,89
Standardabw.	0,70	1,22	1,48	4,38	0,58	2,51
α-Fehler	0,35		0,00		0,00	
partielles η²	ω² = 0,12		ω² = 0,53		ω² = 0,45	

Während sich für die Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen statistisch wiederum kein Unterschied nachweisen lässt, schneidet für die Auswahlaufgabe > 9 Optionen und die eindimensionale Einstellaufgabe die verteilte Bedienung jeweils mit  $p < .05$  signifikant besser ab. Abbildung 6-61 visualisiert das Ergebnis.

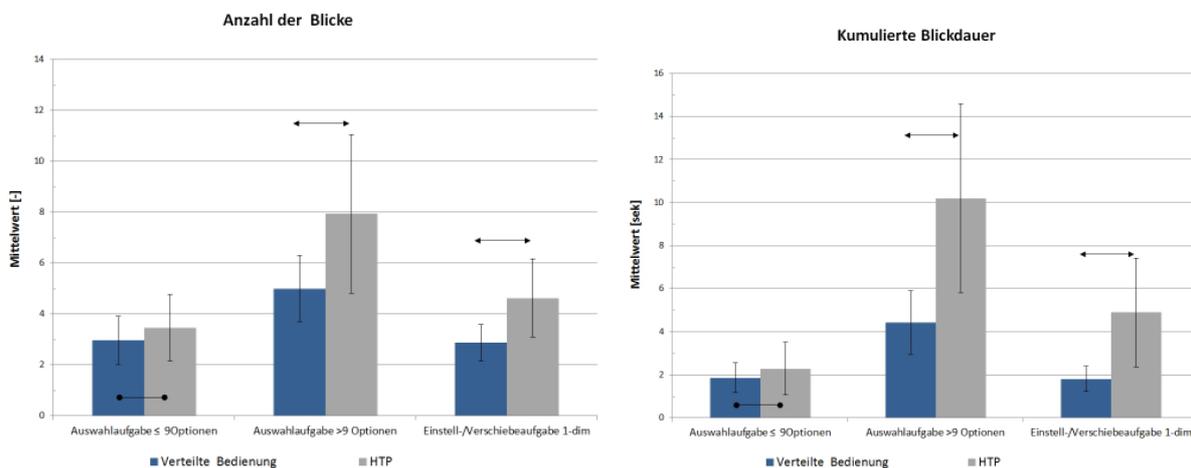


Abbildung 6-61: Vergleich des aggregierten Blickverhalten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad

Tabelle 6-36 zeigt sämtliche Ergebnisse für die Vergleiche der mittleren Blickdauern sowie der durchschnittlichen maximalen Blickdauern. Auch für diese beiden Kennwerte ergibt sich dasselbe Ergebnis.

Tabelle 6-36: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die mittlere und die maximale Blickdauer bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad

	Mittlere Blickdauer					
	Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen		Auswahlaufgabe > 9 Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	1,38	1,44	1,64	2,13	1,30	1,76
Standardabw.	0,52	0,49	0,53	0,68	0,43	0,66
α-Fehler	1,00		0,00		0,01	
partielles η <sup>2</sup>	ω <sup>2</sup> = 0,10		ω <sup>2</sup> = 0,24		ω <sup>2</sup> = 0,21	

	Maximale Blickdauer					
	Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen		Auswahlaufgabe > 9 Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	1,55	1,81	2,29	3,33	1,49	2,23
Standardabw.	0,60	0,72	0,86	1,03	0,49	0,74
α-Fehler	0,35		0,00		0,00	
partielles η <sup>2</sup>	ω <sup>2</sup> = 0,15		ω <sup>2</sup> = 0,33		ω <sup>2</sup> = 0,43	

Die Ergebnisse für die mittlere und die maximale Blickdauer ist in Abbildung 6-62 grafisch visualisiert.

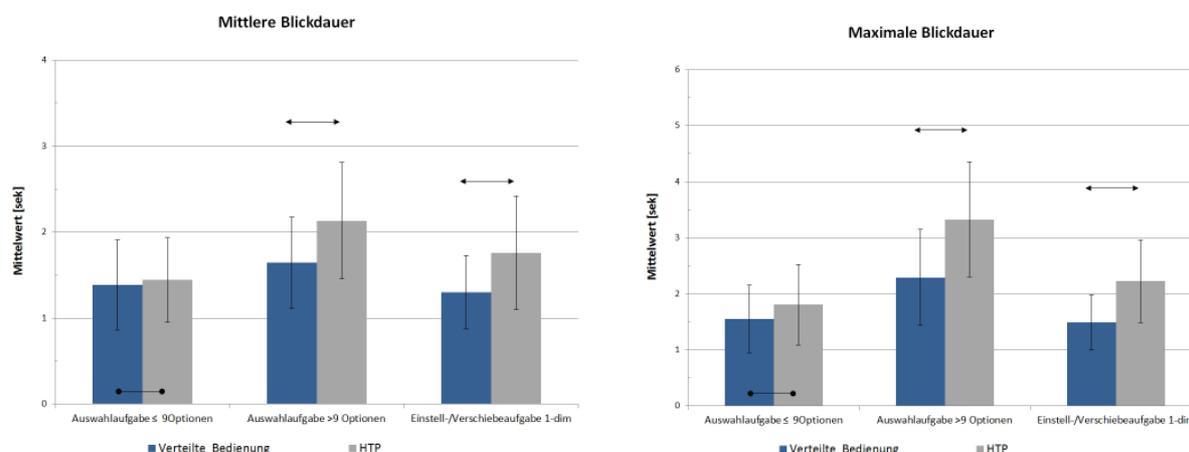


Abbildung 6-62: Vergleich der mittleren Einzelblickverhalten bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben ≤ 9 Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad

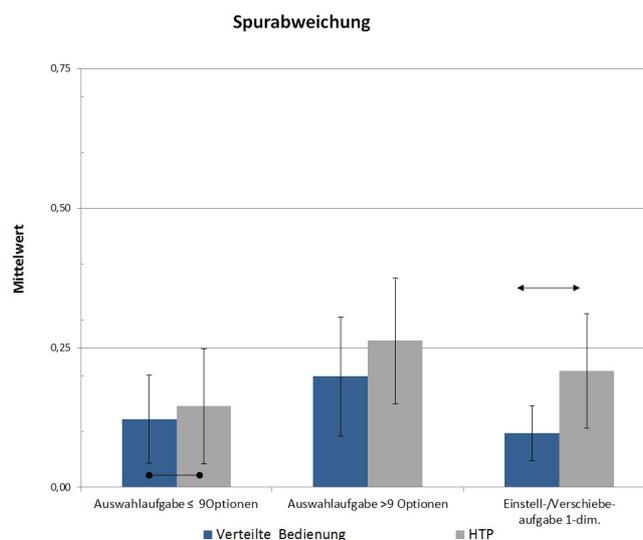
Zuletzt soll noch betrachtet werden, wie sich die Ergebnisse für die Bearbeitungsdauer und das Blickverhalten auf die Fahrperformance auswirken. Wie man in Tabelle 6-37 erkennen kann, ist auch für die Spurhaltung statistisch kein Unterschied bei der Bearbeitung des Aufgabentyps Auswahlaufgabe ≤ 9 Optionen vorhanden. Bezüglich der eindimensionalen Einstellaufgabe hat die Bedienvariante hingegen einen signifikanten Effekt zu Gunsten des Dreh- Drück-Stellers. Das Ergebnis des Vergleichs beider Bedienvarianten für die

Auswahlaufgabe > 9 Optionen befindet sich mit  $p > .05$  knapp im statistischen Graubereich. Jedoch zeigt auch der Vergleich der Mittelwerte einen deutlichen Trend zu Gunsten des Dreh- Drück- Stellers.

*Tabelle 6-37: Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken für die Spurabweichung bei der Bearbeitung der drei Aufgabentypen Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit der verteilten Bedienvariante und dem haptischen Touchpad*

	Auswahlaufgabe $\leq 9$ Optionen		Auswahlaufgabe > 9 Optionen		Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dim	
	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP	Verteilte Bedienung	HTP
Mittelwert	0,12	0,15	0,20	0,26	0,10	0,21
Standardabw.	0,08	0,10	0,11	0,11	0,05	0,10
$\alpha$ -Fehler	1,00		0,05		0,00	
partielles $\eta^2$	$\omega^2 = 0,02$		$\omega^2 = 0,17$		$\omega^2 = 0,35$	

Eine grafische Visualisierung der Ergebnisse für die Spurabweichung ist in Abbildung 6-63 visualisiert.



*Abbildung 6-63: Vergleich der Spurabweichung bei der Bearbeitung der Aufgabentypen Auswahlaufgaben  $\leq 9$  Optionen, Auswahlaufgabe > 9 Optionen und Einstell-Verschiebeaufgabe 1-dimensional mit verteilter Bedienung und haptischem Touchpad*

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich  $H_1$ -Bed 6 für alle Kennwerte, und  $H_1$ -Bed 5 für alle Kennwerte, außer für die Spurhaltung, bestätigen. Jedoch zeigen die Effekte einen Vorteil zu Gunsten der verteilten Bedienung.  $H_0$ -Bed 4 wird aufgrund des Ergebnisses beibehalten.

### 6.3.3 Zusammenfassung

Für diese Simulatorstudie kann zusammenfassend erwähnt werden, dass die Vermutung der Reduzierung der Bedienelemente zur Vermeidung der Bedienteilwechsel begründet ist und

dass somit das haptische Touchpad deutliches Potenzial zu Kompensierung dieses Nachteils aufweist. Objektiv kann nachgewiesen werden, dass ein Bedienelementwechsel meist nicht ohne Blickzuwendung vollzogen werden kann. Die subjektiven Aussagen untermauern, dass dieser Wechsel und die damit verbundene Blickzuwendung als störend empfunden werden. Der Vergleich des haptischen Touchpads mit dem herkömmlichen Dreh-Drück-Steller bei der Bedienung der Grundaufgabentypen zeigt, dass bei der Bedienung der Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen kein Nachteil durch das haptische Touchpad besteht. Bei den anderen beiden untersuchten Aufgabentypen weist der Dreh-Drück-Steller in allen gemessenen Kennwerten signifikante Vorteile auf, welche sich wohl auch auf den starken unterschiedlichen Entwicklungsstand der beiden Bedienelemente zurückführen lassen.

## 7 Schlussfolgerung

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit zunächst vor dem theoretischen Hintergrund dieser Arbeit diskutiert. Basierend darauf werden Empfehlungen in Form von Guidelines zur Infotainmentmenübedienung im Fahrzeug aufgestellt. Eine kritische Beleuchtung der Vorgehensweise dieser Arbeit und der gewonnenen Ergebnisse sowie ein Ausblick auf sinnvolle Folgearbeiten bilden das letzte Kapitel und runden diese Arbeit ab.

### 7.1 Diskussion der Ergebnisse

Die Diskussion der Ergebnisse wird untergliedert in Diskussion der Ergebnisse zu den Interaktionsformen, den Orientierungshilfen, der Bedienlogik und dem Bedienteilvergleich.

#### 7.1.1 Interaktionsformen

Zur Interpretation dieser Ergebnisse können die in Kapitel 2.4 vorgestellten Klassifikationsmöglichkeiten von Stellteilen und Interaktionsmitteln herangezogen werden (vgl. Boff und Lincoln, 1988; Rühmann, 1981), wonach die Dimensionalität, die Bewegungsart und die Bedienmöglichkeit unterschieden werden kann.

Für die Auswahlaufgabe  $\leq 9$  Optionen wurde eine Tastenmatrix mit einer haptisch angedeuteten Kreisbahn verglichen, wobei die Tastenmatrix in allen erhobenen Kennwerten signifikant besser abgeschnitten hat. Hier kommt wohl hauptsächlich die Tatsache zum Tragen, dass auf einer 2-dimensionalen Eingabefläche die direkte Auswahl natürlicher und einfacher ist, als die eindimensionale Darstellung der Interaktion mittels einer Kreisbahn. Außerdem wird beim Verschieben des Cursors durch das Bewegen des Fingers auf der Kreisbahn, die Auswahlreihenfolge in eine technisch erzwungene unnatürliche Sequenz gebracht. Dies bestätigt wiederum die Ergebnisse von Rassel (2004), dass simultane Aufgaben nicht in eine künstliche Sequenz gebracht werden dürfen.

Die direkte Auswahl der Menüelemente würde vermutlich auch bei einer Matrixdarstellung bei mehr als 9 Optionen am natürlichsten erfolgen. Dies ist jedoch aufgrund des begrenzten Darstellungsbereichs auf dem Bildschirm nicht möglich. Somit muss für den Aufgabentyp die Auswahlaufgabe  $> 9$  Optionen eine Interaktionsvariante gefunden werden, welche das Wechseln des dargestellten Auswahlbereichs auf dem Display ermöglicht. Hierfür wurden in

der Studie ein relativer und ein absoluter Schieber sowie zwei Tasten und eine Kreisbahn miteinander verglichen. Allesamt sind eindimensionale Interaktionsformen. Variiert wird somit die Bewegungsart und die Bedienmöglichkeit.

Bezüglich der Bewegungsart der Interaktionsformen lassen sich rotatorische und translatorische unterscheiden (vgl. Boff und Lincoln, 1988; Rühmann, 1993), wobei die Kreisbahn das rotatorische und der Schieber das translatorische Interaktionselement darstellen. Eine eindeutige Vergleichbarkeit zur Kreisbahn ist mit dem relativen translatorischen Schieber gegeben. Hier schneidet das Drehrad in nahezu allen Kennwerten signifikant schlechter ab. Lange (2008) hat ebenfalls verschiedene Interaktionselemente allerdings am Lenkrad zur Bedienung des ACC Systems untersucht und rät aufgrund seiner Ergebnisse von rotatorischen Bedienelementen am Lenkrad ab, da diese die Spurhaltung aufgrund von Interferenzen mit den Lenkbewegungen beeinflussen. Dieser Effekt kann zwar hier bei der rotatorischen Bewegung nicht nachgewiesen werden, jedoch kann von einer Rotationsbewegung als Interaktionsmittel auch aufgrund dieser Ergebnisse abgeraten werden.

Bleibt die Frage nach der Ursache für das signifikant schlechtere Abschneiden des absoluten Schiebers. Dieser wurde in Kapitel 3.2.2 als Metapher von der Touchscreenbedienung abgeleitet. Der Vorteil des absoluten Schiebers bei einer Touchscreenbedienung kann darin bestehen, dass der Schieber eine Rückmeldung gibt, wo sich die Liste gerade befindet. Dies muss bei einem haptischen Touchpad ertastet und mental in ein visuelles Bild gebracht werden. Hierdurch lässt sich wohl der erhöhte mentale Aufwand und somit der signifikant höhere Zeitaufwand erklären lässt. Somit schneidet der relative Schieber hinsichtlich der Bedieneffizienz bei der Auswahlaufgabe > 9 Optionen unter den kontinuierlichen Interaktionsmitteln am besten ab. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen der Einstell-/Verschiebeaufgabe 1-dimensional.

Bezüglich Bedienmöglichkeit kann zwischen einer kontinuierlichen und einer diskreten Manipulation unterschieden werden. Als diskretes Bedienelement wird im Rahmen dieser Arbeit die Taste, als kontinuierliche werden die Kreisbahn sowie der Schieber, verwendet. Wie in Abschnitt 2.3.2 festgestellt, können auch die Aufgabentypen in kontinuierliche und diskrete unterteilt werden. So handelt es sich bei einer Auswahlaufgabe um einen diskreten Aufgabentyp, während es sich bei einer Verschiebe-/Einstellaufgabe prinzipiell um einen kontinuierlichen Aufgabentyp handelt, welcher aber meist als diskrete Aufgabe dargestellt wird. Deshalb sind im Rahmen dieser Arbeit alle Aufgaben so konzipiert, dass ein diskreter Wert einzustellen, oder diskret zu manipulieren ist.

Bei der Einstell-/ Verschiebeaufgabe 2-dimensional führt das eindimensionale kontinuierliche Interaktionsmittel zu einer signifikant schnelleren Bedienung verglichen mit der diskreten eindimensionalen Variante. Zumindest was die Betrachtung des Mittelwertes angeht schneidet der Schieber relativ bei der Auswahlaufgabe ebenfalls im Vergleich zur diskreten Bedienform Taste besser ab. Statistisch ist dieser Unterschied jedoch nicht zu belegen. Bei der Verschiebe-/Einstellaufgabe sind diese beiden Interaktionsformen hinsichtlich Effizienz statistisch sogar gleich. Es kann hier die Vermutung aufgestellt werden, dass die Bedienmöglichkeit von der Größe des Einstell- bzw. Auswahlbereichs abhängt. Bei sehr langen Listen wird die diskrete Tastenbedienung definitiv zu einer längeren Bearbeitungsdauer führen als der relative Schieber. Der Effekt der höheren Bedieneffizienz wirkt sich auch in dieser Aufgabe auf den subjektiv empfundenen Komfort aus. Der relative Schieber wird bei der Auswahlaufgabe sogar als signifikant komfortabler als die zweitplatzierte Tastenvariante empfunden. Tendenziell, jedoch nicht statistisch belegbar, ist dieser Effekt auch bei der Einstellaufgabe zu beobachten. Zur Spurhaltung konnte durch Variation der Bedienmöglichkeit kein statistischer Unterschied nachgewiesen werden. Bezüglich des Blickverhaltens konnte bis auf die Verschiebe-/Einstellaufgabe ebenfalls kein Unterschied zwischen dem relativen Schieber und der Tastenbedienung beobachtet werden. Jedoch zeichnet sich bei der Mittelwertbetrachtung ein Trend dahingehend ab, dass die Tasten zu kürzeren Einzelblicken führen. Bei der eindimensionalen Einstell-/ Verschiebeaufgabe konnte dieser Effekt sogar signifikant nachgewiesen werden. Jedoch sind dennoch auch die Einzelblicke bei der Bedienung mit dem relativen Schieber unter der in den Richtlinien der AAM (2006) geforderten 2s- Grenze. Es können somit Trends hinsichtlich des Vorteils einer kontinuierlichen Bedienung für die Einstellung großer Wertebereiche hinsichtlich der Bedieneffizienz vermutet werden. Diskrete Einstellungen scheinen bei der Feinjustierung und zielgenauen Anwahl einer diskreten Aufgabe Vorteile zu haben, was sich auf die Dauer der Einzelblicke auswirken kann. Dies kann für nachfolgende Untersuchungen in folgende Thesen formuliert werden:

- Diskrete Interaktionen führen zu kürzeren Einzelkontrollblicken bei der Einstellung eines diskreten kleinen Wertebereichs
- Für die Grobeinstellung eines großen Wertebereichs führen kontinuierliche Interaktionsformen zu signifikant effizienteren Bedienungen

Die Untersuchung der drei Interaktionsvarianten für die Einstell-/Verschiebeaufgabe 2-dimensional bestätigen diese Rückführung auf die theoretische Grundlagen. Hier kann durchgängig mit allen Kennwerten die Theorie nach Rühmann (1993) bestätigt werden, dass für zweidimensionale Aufgaben auch eine zweidimensionale Interaktionsform verwendet werden muss. Die vorhin erwähnte Tatsache, dass eine kontinuierliche Verschiebung eine höhere Bedienleistung ermöglicht, was sich auch positiv auf die aggregierten Blickkennwerte

sowie den subjektiv empfundenen Bedienkomfort auswirkt, bestätigt sich auch bei diesem Aufgabentyp.

### **7.1.2 Orientierungshilfen**

Bezüglich der Orientierungshilfen wurden zwei Aspekte untersucht. Zunächst sollen die Ergebnisse zum Vergleich einer haptisch konturierten Oberfläche und einer glatten Oberfläche sowie der Einsatz eines Cursors zur Visualisierung der Fingerspur diskutiert werden. Dabei soll die Vermutung beleuchtet werden, dass durch die haptische Oberflächenkontur der visuelle Kanal entlastet wird. Dies müsste sich in den Ergebnissen in kürzeren und/oder einer geringeren Anzahl an Blicken zur Nebenaufgabe auswirken. Betrachtet man in den Ergebnissen von Kapitel 6.2.2.2 den Vergleich glatte Touchpadoberfläche mit haptischer Touchpadoberfläche isoliert, so lassen sich signifikant weniger Blicke zur Nebenaufgabe sowie signifikant kürzere Einzelblicke zur Nebenaufgabe bei der Bedienung mit der haptisch konturierten Oberfläche nachweisen. Somit lässt sich eine Entlastung des visuellen Kanals bei der Touchpadbedienung in Dual Task Situationen durch Einsatz einer haptischen Oberflächenkontur bestätigen. Die Betrachtung der Effizienz der Bedienung der Sekundäraufgabe zeigt ebenfalls eine signifikant schnellere Bearbeitungsdauer mit haptischer Oberfläche. Der Effekt überträgt sich sogar auf die Güte der Primäraufgabe. Hier lässt sich ebenfalls eine signifikant geringere Spurabweichung bei der Bedienung mit haptischer Touchoberfläche nachweisen. Dies geht einher mit der Forderung nach Bubb (1993), für die Informationsübermittlung möglichst viele Informationskanäle zu nutzen. Insbesondere die signifikant bessere Spurhaltung durch die Haptik zeigt, dass die Interferenzen, welche durch die Doppelaufgabe entstehen, durch den Einsatz der zusätzliche Modalität Haptik verringert werden können, was die Theorie von Wickens & Hollands (2000) unterstützt.

Darüber hinaus wurde vermutet, dass durch Formkodierung der haptischen Elemente ein zusätzlicher Effekt in den Kennwerten zur Bedienung der Primär- und Sekundäraufgabe sowie der Ablenkung zu messen ist. Um den Einfluss einer schlechten Formgebung und eine damit verbundene Ergebnisverfälschung zu verringern, wurden zwei verschiedene Tastenformen sowie eine Schiebervariante getestet. Ein Unterschied zu Gunsten einer haptischen Formgebung konnte in keinem der herangezogenen Vergleiche nachgewiesen werden. Vielmehr fällt auf, dass bei einzelnen Kennwerten, wie beispielsweise den aggregierten Blickkennwerten beim Vergleich der Tastenvarianten zur Bedienung der Radiosenderliste ein signifikanter Vorteil zu Gunsten der Standardtasten ohne Formkodierung nachgewiesen werden konnte. Dies lässt darauf hindeuten, dass entgegen der Vermutung, durch die Formgebung Information übermitteln zu können, eher eine erhöhte

Komplexität geschaffen wird. Dies zeigt sich in den häufigeren Kontrollblicken auf das Display und lässt den Schluss vermuten, dass die Formen vom Nutzer durch bloßes Ertasten nicht erkannt und gedeutet werden können. Die teils nachgewiesenen Unterschiede wirken sich wenn überhaupt nur zu Lasten der haptischen Formgebung aus. Um die Ursache dieses Ergebnisses zu deuten, muss die Theorie zur Somatovisceralen Sensibilität aus Kapitel 2.2.1 nochmals aufgegriffen werden. Nach Schmidt (1985) können Formen durch bloßes Auflegen des Fingers oder rein durch Berührung schlecht oder gar nicht erfasst werden. Die Erkennung der Form kommt erst durch die Bewegung hinzu und somit aus dem Zusammenspiel mehrerer Sinneseindrücke der Oberflächen- und Tiefensensibilität. Dies kann auch die teils längeren Bedienzeiten und häufigeren Kontrollblicke der Nutzer erklären, welche versucht haben die unterschiedlichen Formen zu ertasten. Nach Müller-Limmroth (1981) werden die haptischen Informationen erst in der Stufe der Informationsverarbeitung in Einklang gebracht, was auf eine zusätzliche mentale Belastung schließen lässt. Der Nutzer muss sich zunächst erst ein mentales Bild der Form aufbauen, indem er die Kanten mit dem Finger abfährt. Hier kann auch der Unterschied zu blinden Personen begründet werden. Dies unterstreicht ebenfalls die Theorie von Bubb (2001), dass ein Sinneseindruck zunächst über verschiedene Sensoren wahrgenommen wird und dann in einem mentalen Vorgang erst eine Interpretation der Sinneswahrnehmung folgt. Haptische Kanten können von Blinden und Sehenden aufgrund der Sinnesphysiologie vermutlich gleich gut wahrgenommen werden. Die Interpretation von haptischen Formen hingegen wie beispielsweise der Brailleschrift ist von blinden Personen trainiert worden. Somit besteht eine mentale Repräsentation was die Modellbildung erheblich erleichtert. Bei der hier getesteten Anwendung kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzer keine mentalen Repräsentationen zur Erkennung haptischer Formen haben und dies somit einen erhöhten mentalen Aufwand bedeutet und sich eher negativ auf die Ressourcenbindung und die damit verbundene Ablenkung von der Primäraufgabe zur Folge hat. Dies zeigen auch die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Tastenvarianten für die Radiosenderliste. Hier lässt sich sogar eine negative Beeinflussung der Primäraufgabe durch die Formkodierung anhand des Lenkwinkels nachweisen.

Als weitere Orientierungshilfe wurde ein optischer Cursor, welcher auf dem Display die aktuelle Fingerposition auf dem Touchpad visualisiert, sowohl in Kombination mit der Haptik als auch ohne, getestet. Die Paarvergleiche der einzelnen Kennwerte der glatten Touchpadoberfläche jeweils mit und ohne Cursor isoliert betrachtet lassen erkennen, dass hier bei keinem der gemessenen Kennwerte ein statistischer Unterschied nachgewiesen werden kann. Betrachtet man den Vergleich mit und ohne Cursor auf dem haptischen Touchpad, so kann ein Effekt festgestellt werden. Allerdings wirkt sich dieser in allen erhobenen Kennwerten zu Lasten des Cursors aus. Sowohl die Anzahl der Blicke als auch

die mittleren Einzelblickdauern sind bei Verwendung des Cursors in Verbindung mit dem haptischen Touchpad signifikant höher als ohne Cursor. Vergleicht man die Kombination haptisches Touchpad mit Cursor mit den beiden Touchpadvarianten ohne Haptik, lässt sich sogar feststellen, dass der Cursor die Bedienung des haptischen Touchpads so verschlechtert, dass kein Unterschied zu den Varianten mit der glatten Touchoberfläche mehr besteht. Eine Erklärung für das schlechte Abschneiden der Kombination Haptik und optische Fingerspur kann die zusätzliche Mapping- Aufgabe sein. Auch hier kann die Tatsache nach Müller-Limmroth (1981) zum Tragen kommen, dass die Informationen der einzelnen Sinneskanäle erst in der Phase der Informationsverarbeitung zusammengebracht werden. Somit scheint die zusätzliche optische Information der Fingerposition zunächst mit der haptischen Information in Übereinstimmung gebracht werden zu müssen, wodurch sich eine Verzögerung und ein zusätzlicher mentaler Aufwand erklären lassen, welcher sich negativ auf die Fahrperformance auswirkt. Die längeren mittleren Einzelblicke und die höhere Anzahl an Kontrollblicken lassen vermuten, dass der Cursor als eine Art Eye-Catcher fungiert. Die ist bei einer Single- Task Anwendung wie einer Laptopbedienung kein Problem, wirkt sich jedoch bei einer Dual Task Aufgabe wie der Menübedienung während der Fahrt ablenkend auf die Fahraufgabe aus. Ohne den Cursor scheint die Theorie einer verminderten Anzahl an Kontrollblicken und eine zusätzliche Orientierung durch die Haptik zu funktionieren.

### **7.1.3 Bedienlogik**

Bezüglich der Bedienlogik eines Touchpads wird zwischen einer relativen und einer absoluten Logik unterschieden. Die relative Bedienlogik kann jedoch nur in Verbindung mit einer glatten Touchoberfläche und einem Cursor verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei manchen Kennwerten ein Unterschied nachweisen lässt. So lässt sich ein Effekt für die Kennwerte des aggregierten Blickverhaltens zu Gunsten der absoluten Bedienlogik nachweisen. Dies lässt sich, wie schon bei Ergebnissen der anderen Versuchsaufgaben gezeigt wurde, auf die längere Bearbeitungszeit zurückführen, welche zwar hier nicht signifikant nachgewiesen werden kann, sich jedoch tendenziell aufgrund der Mittelwertsbetrachtung erahnen lässt. Bezüglich der Einzelblicke und der Auswirkung auf die Primäraufgabe kann kein Unterschied nachgewiesen werden.

Dies ergänzt sehr gut die Ergebnisse zu den Orientierungshilfen, welche einen eindeutigen Vorteil der haptischen Konturierung und einen Nachteil des Cursors erkennen lassen, da, wie Eingangs beschrieben, die relative Bedienlogik ohnehin nur mit optischer Fingerspur und ohne Haptik funktioniert und die hier vorliegenden Ergebnisse zudem einen Vorteil für die absolute Bedienung erkennen lassen.

### **7.1.4 Menübedienung im Dual Task**

Die Frage, ob eine Menübedienung im Fahrzeug besser mit einer Kombination aus mehreren für unterschiedliche Aufgabentypen geeignete Bedienelemente oder aus einem Bedienelement welches eine Bearbeitung aller Aufgabentypen ermöglicht, durchgeführt werden soll, lässt sich in zwei Bereiche aufteilen.

Als nachteilig einer Kombination mehrerer Bedienelemente wird der Bedienelementwechsel vermutet, da ein Wechsel des Bedienelements jedes Mal eine Neuorientierung zur Folge hat und einen Bruch in der Bedienabfolge darstellt. Quantifiziert wurde dies anhand der Blickrate, die besagt, wie viel Prozent der Probanden ein, bzw. mehrmals während Wechselsituationen auf das Bedienelement geblickt haben. Die Ergebnisse der Blickraten aus Abschnitt 6.3.2.1 zeigen, dass für die Situationen eines erzwungenen Bedienelementwechsels bei der Variante der verteilten Bedienung hohe Blickraten zum Bedienelement zu verzeichnen sind. Werden hingegen alle Aufgabentypen mit ein und demselben Element bedient nähert sich die Blickrate 0 % an. Es zeigt sich auch ein Unterschied anhand der Blickraten bezüglich des Stellteils, zu dem der Wechsel erfolgt. So verzeichnen die Wechsel vom Dreh- Drück- Steller zu den Menütasten wesentlich höhere Blickraten als der Wechsel vom Dreh- Drück- Steller zum Touchpad. Selbst die Wechsel vom Dreh- Drück- Steller zu den Menütasten sind unterschiedlich in Abhängigkeit der Position der Tasten. So verzeichnen die Wechsel zu den Menütasten rechts unten und links oben wesentlich höhere Blickraten und benötigen im Mittel sogar mehr als einen Blickzuwendung, als der Wechsel zur Menütaste links unten. Dies kann auf die Größe und die Position des Bedienelements zurückgeführt werden, welches gefunden werden muss. Die Menütaste links unten kann ohne Absetzen durch Betätigung mit dem Daumen erreicht werden. Die restlichen Menütasten hingegen erzwingen ein Absetzen und Neupositionieren der Finger. Das Touchpad kann vermutlich aufgrund seiner Größe leichter und teils ohne Blickzuwendung gefunden werden.

Es stellt sich die Frage welche Auswirkungen diese erzwungene Blickzuwendung und somit Abwendung von der Fahraufgabe hat. Da der Blick von der Straße zum Bedienelement nicht durch bloßes Bewegen der Augen möglich ist, sondern mit einer zusätzlichen Bewegung des Kopfes verbunden sein muss, wird vermutet, dass diese Blickabwendung als störend empfunden wird und sich somit in den subjektiven Ergebnissen messen lässt. Zur Untersuchung wurden die subjektiven Aussagen bezüglich Vor- und Nachteilen der beiden Bedienvarianten erhoben. Hier stellt sich deutlich heraus, dass ein Großteil der Probanden einen erheblichen Nachteil bei der verteilten Bedienung im Wechsel der Bedienelemente sieht. Der Aspekt, dass bei der Bedienung mit dem haptischen Touchpad kein

Bedienelementwechsel notwendig ist, wird zugleich von einem großen Prozentsatz der Probanden als Vorteil genannt. Dieses Ergebnis wird umso tragfähiger durch die Tatsache, dass die Probanden auf den Untersuchungsgegenstand des Bedienteilwechsels nicht hingewiesen und diese Aussagen zu einem so großen Prozentsatz frei genannt wurden.

Eine weitere Fragestellung, welche in der dritten Simulatorstudie geklärt werden soll, ist, inwieweit die Bedienung der Grundaufgabentypen, welche mit dem Dreh-Drück-Steller bedient werden, mit einem haptischen Touchpad durchgeführt werden kann, ohne dabei Einbußen in den einzelnen Kennwerten hinzunehmen. Untersucht wurden die Aufgabentypen Auswahl Aufgabe  $\leq 9$  Optionen, Auswahl Aufgabe  $> 9$  Optionen und Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional isoliert. Beim Dreh-Drück-Steller handelt es sich um ein rotatorisches Bedienelement mit diskreter Rasterung. Wie bereits in der Darstellung der Ergebnisse erwähnt, liegen zwei Bedienvarianten mit stark unterschiedlichen technischen Ausprägungen vor. Für die Listenbedienung (Auswahl Aufgabe  $> 9$  Optionen) ist ein deutlicher Einfluss durch Variation des Bedienelements zu Gunsten des Dreh- Drück- Stellers nachzuweisen. Dieses Ergebnis deckt sich teilweise auch mit den Ergebnissen der ersten Studie zu den verschiedenen Interaktionsvarianten. Es wurde tendenziell festgestellt, dass diskrete Bedienformen eine zielgenauere Auswahl bei diskreten Aufgaben mit kleinen Wertebereichen haben, wie es bei dieser Aufgabe der Fall war. Diese Überlegung gilt analog auch für die eindimensionale Einstellaufgabe, für welche ebenfalls ein deutlicher Effekt zu Gunsten der verteilten Bedienung nachweisbar ist. Die diskrete Rasterung des Dreh- Drück- Stellers ermöglicht ein schnelles und zielgenaues anwählen der Zieloption. Die Tatsache, dass es sich beim Dreh- Drück- Steller um ein rotatorisches Stellteil handelt widerspricht dem Ergebnis der ersten Studie. Wobei es sich im Falle des Dreh- Drück- Stellers um ein eindimensionales Stellteil handelt, während die Kreisbahn aus Studie 1 lediglich eine eindimensionale Interaktionsform auf einer freien zweidimensionalen Eingabefläche darstellt. Diese Zweidimensionalität wird zwar, wie die Ergebnisse aus Studie 2 zeigen, erfolgreich eingeschränkt, indem durch die haptische Konturierung ein Freiheitsgrad weggenommen wird, jedoch kann dies den Vorteil des eindimensionalen Bedienelements scheinbar nicht vollständig kompensieren. Dies untermauert erneut die Forderung von Rühmann (1993) für die Bedienung nicht mehr Freiheitsgrade zur Verfügung zu stellen als für die Aufgabe benötigt werden. Offen bleibt an dieser Stelle die Frage, wie groß letztlich der Einfluss der technischen Realisierung des haptischen Touchpads ist und in wie weit durch eine technische Weiterentwicklung bei den beiden Aufgabentypen Auswahl Aufgabe  $> 9$  Optionen und Einstell-/ Verschiebeaufgabe 1-dimensional eine ähnliche Performance wie mit einem Dreh- Drück- Steller erreicht werden kann. Die Ergebnisse welche bei der ersten Studie mit dem haptischen Touchpad erreicht wurden, deuten beim Vergleich mit den Ergebnissen der

Mittelwerte aus Studie 3 auf deutliches Potenzial hin, welches noch weitaus größer sein kann, wenn in die Sensorik und die Haptik weitere Entwicklungsarbeit investiert wird.

Bei der Auswahl Aufgabe  $\leq 9$  Optionen ist bereits bei diesem Vergleich kein Unterschied zwischen dem Dreh- Drück- Steller und dem haptischen Touchpad zu messen. Das bessere Abschneiden des haptischen Touchpads für diesen Aufgabentyp im Vergleich zu den anderen beiden Aufgaben deckt sich ebenfalls mit der Theorie nach Rühmann (1993) sowie den Ergebnissen aus der ersten Simulatorstudie. Im Falle einer ausgereifteren Technik ist für diesen Aufgabentyp sogar ein Vorteil für das haptische Touchpad zu erwarten.

## 7.2 Allgemeine Empfehlungen zur Gestaltung der Infotainmentbedienung

Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden in sogenannte Guidelines formuliert, welche Entwickler von Fahrzeuginfotainmentbedienkonzepten zukünftig als Gestaltungsempfehlungen helfen sollen. Dabei wird in allgemeine Empfehlungen und in Empfehlungen für eine Touchpadbedienkonzeptauslegung unterschieden.

### Allgemeine Empfehlungen zur Bedienkonzeptgestaltung für Nebenaufgaben im Fahrzeug:

**Bed\_1:** *Dem Nutzer dürfen nicht mehr Freiheitsgrade als zur Aufgabenbearbeitung unbedingt nötig zur Verfügung gestellt werden.*

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben gezeigt, dass die Komplexität für den Nutzer mit der Zunahme der zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade steigt. Deshalb sollte auch in Anlehnung an Schmitdke & Rühmann (1981) das Bedienelement nicht mehr Freiheitsgrade zur Verfügung stellen als für die Aufgabe benötigt werden. Ist dies wie beim hier vorliegenden Touchpad nicht immer möglich, sollte die folgende Empfehlung beachtet werden.

**Bed\_2:** *Überflüssige Freiheitsgrade sollten haptisch eingeschränkt werden, um so die Anzahl der zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade auf das Nötigste zu reduzieren.*

Beim Touchpad wird dies durch die haptische Oberflächenkonturierung erreicht. Die Verbesserung der Bediengüte ist durchgängig über alle Kennwerte nachweisbar.

**Bed\_3:** *Diskrete Aufgaben sollten mittels diskreter Interaktionsmittel bedient werden, bzw. die Interaktion mit kontinuierlichen Interaktionsmitteln diskret dargestellt werden.*

Der Vorteil eines diskreten Bedienelements für bestimmte Aufgabentypen wird im Rahmen dieser Arbeit vor allem beim Vergleich des Dreh- Drück- Stellers mit dem haptischen

Touchpad deutlich. Die diskrete Darstellung und Bedienung von Aufgaben nimmt genau wie die Reduzierung der Dimensionalität Komplexität weg. Bei einem kontinuierlichen Bedienelement kann dies durch Unterteilung des Einstellbereichs in diskrete Intervalle erreicht werden. Beispiele hierfür wären eine haptische Rasterung oder eine akustische Rasterung.

Empfehlungen zur Auslegung einer Touchpadbedienung für Nebenaufgaben im Fahrzeug:

***Touch\_1:*** Ein Touchpad sollte über eine haptisch konturierte Bedien-/ Eingabeoberfläche analog zu den zu bedienenden Bildschirminhalten verfügen

Diese Forderung resultiert aus den Ergebnissen der zweiten Simulatorstudie. Die haptische Oberfläche führt zu einer deutlichen Verbesserung der Bediengüte, was sich auch auf das Blick- und Fahrverhalten auswirkt.

***Touch\_2:*** Ein Cursor sollte nur in Form eines Highlights von Elementen und nicht zur kontinuierlichen Visualisierung der Fingerspur eingesetzt werden.

Der Einsatz der permanenten Visualisierung der Fingerspur hat in den hier vorliegenden Tests zu verlängerten Blickabwendungen geführt. Der Cursor hat somit die Funktion eines Eye Catchers was in einer Dualtask Situation zur Ablenkung von der Hauptaufgabe führt.

***Touch\_3:*** Eindimensionale Interaktionen auf zweidimensionalen Eingabeflächen sollten translatorisch gestaltet sein.

Die rotatorischen Bewegungen führen zu zusätzlicher Komplexität. Zwar sind die Bewegungen auf einer haptisch umrandeten Kreisbahn eindimensional, jedoch scheint die zweite Dimension dennoch nicht komplett eliminiert zu sein, da der Finger noch immer in der Kreisbahn in zwei Richtungen bewegt werden muss.

***Touch\_4:*** Die Bedienlogik eines Touchpads zur Infotainmentmenübedienung muss absolut sein.

Da ein Touchpad nach Empfehlung von Touch\_1 eine haptische Oberfläche benötigt, kann die Bedienlogik nur absolut ausgelegt sein. Zudem konnte vereinzelt sogar ein Vorteil der absoluten Bedienlogik nachgewiesen werden.

### **7.3 Kritische Beleuchtung und Ausblick**

Die vorliegende Arbeit soll einen Lösungsansatz zur zukünftigen Bedienkonzeptgestaltung von automotive Infotainmentsystemen unter Berücksichtigung neuer Herausforderungen liefern. Das in dieser Arbeit untersuchte Bedienelement ist ein Lösungsansatz, um unter

Beibehaltung der Vorteile der momentan existierenden Marktlösungen deren Nachteile zu kompensieren.

Kritisch zu beleuchten sind die Ergebnisse des Vergleichs des haptischen Touchpads mit einem Serienbedienteil. Hier treten zwei Aspekte als Störeinflüsse auf, welche bei den vorherigen Untersuchungen keinen Einfluss hatten. Zum einen ist aufgrund des stark unterschiedlichen Entwicklungsstands der beiden Bedienelemente keine eindeutige Aussage bezüglich der Ursache der Ergebnisse möglich. Zum anderen werden die Ergebnisse aufgrund des Probandenkollektivs, welches ein stark unterschiedliches Vorwissen zu den Bedienalternativen hat, beeinflusst. Daher ist zu überdenken, mit einem verbesserten Bedienelement eine weitere Untersuchung mit neutralen Probanden durchzuführen.

Des Weiteren wurden die Untersuchungen allesamt in einem statischen Simulator durchgeführt. Es bleibt bis dato offen, welchen Einfluss mögliche von außen induzierte Bewegungen und Beschleunigungen auf das haptische Empfinden haben. Eine vergleichende Untersuchung im Realfahrzeug könnte hierzu Aufklärung schaffen.

Zu bedenken bleibt, dass das Potenzial und der Mehrwert der haptisch konturierten Oberfläche hinsichtlich ergonomischer Gesichtspunkte nachgewiesen werden konnte, jedoch die technische Umsetzung des prototypischen haptischen Touchpads in dieser Form noch nicht den gängigen Automotivbedienteilen wie dem Dreh-Drücksteller sowohl qualitativ als auch bei der Bedienung herkömmlicher eindimensionaler Aufgaben standhalten kann.

Dies bestätigen auch die Aussagen der Probanden, welche besagen, dass das größte Defizit dieses Prototyps in der technischen Umsetzung der Haptik und der unpräzisen Bedienung lag. Hier können durch Nutzung einer kapazitiven Sensorik zur Detektion der X,Y-Fingerposition anstatt der etwas ungenauen IR-Sensorik große Verbesserungen erreicht werden. Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung besteht in der anwendungsgerechten Konstruktion der Haptikmodule. Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Module sind ursprünglich als Braillemodule entwickelt und daher nicht auf Drücken, sondern auf das bloße Ertasten ausgelegt. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob die haptische Auflösung mit 1200 Pins nötig ist oder ob eine gröbere Auflösung ebenso ausreichen würde. Dies würde den Entwicklungsaufwand erheblich reduzieren und eine Konstruktion vereinfachen. Größtes Defizit weist das Touchpad nach den hier vorliegenden Ergebnissen in der Listenbedienung und bei den Einstellaufgaben auf. Hier könnten einfache Ansätze wie die Integration von akustischem Feedback zur Umwandlung einer kontinuierlichen Interaktion in diskrete Bedienintervalle Abhilfe schaffen.

Die Realisierung der adaptiv haptisch veränderlichen Oberfläche stellt generell zum derzeitigen Zeitpunkt eine technische Herausforderung dar. Insbesondere die Reduzierung

der Einzelstückpreise eines solchen Bedienteils für die Serienfertigung ist eine der maßgeblichen Herausforderungen der Weiterentwicklung.

Hierzu könnten verschiedene Lösungsansätze zur Reduzierung der technischen Komplexität überprüft werden. Beispielsweise wäre es denkbar, die erhabenen haptischen Konturen nur durch Vibration zu simulieren. Somit könnte das komplette Bedienteil mit Vibratoren angeregt werden, um so Kanten von Gegenständen zu simulieren. Sollte dies nicht möglich sein, könnte die haptische Auflösung reduziert werden, was eine deutliche Reduktion der Aktuatorik bedeuten würde. In diesem Fall müsste überprüft werden mit welchem Bruchteil der Auflösung gerade noch die gleiche Flexibilität erreicht werden kann.

Ein weiterer Vergleich mit einer herkömmlichen Bedienvariante müsste neben den hier getesteten Grundaufgabentypen auch komplexe Aufgaben wie die Selektion von Points of Interests aus einer Navigationskarte oder das Bedienen eines Internetbrowsers beinhalten, um das tatsächliche Potenzial eines solchen Bedienteils voll ausnutzen und abschätzen zu können.

Die im Rahmen dieser Arbeit getesteten Interaktionsvarianten basieren auf bisher bekannten Stell- und Interaktionsmitteln. Bleibt die Frage, inwieweit die mit einem Touchpad möglichen neuen Interaktionsformen wie Wisch- oder Multitouchgesten im automotiven Kontext anwendbar sind. Diese Art der Interaktion wäre mit einem solchen haptischen Touchpad ebenfalls denkbar und könnten beispielsweise als redundante Interaktionsformen zu den hier vorgeschlagenen angeboten werden.

Bei einer denkbaren Folgeuntersuchung könnten für die jeweiligen Aufgabentypen als unabhängige Variablen die im Rahmen dieser Studie herausgefundenen Interaktionsmittel mit möglichen Wischgesten verglichen werden. Ein weiterer denkbare Ansatz wäre, dass Gesten dem Nutzer redundant zu einem Standardinteraktionselement zur Verfügung gestellt werden.

Das haptische Touchpad bietet über den derzeitigen Infotainmentstandard hinaus noch weitere Anwendungsmöglichkeiten im automotiven Kontext. Eine Idee, welche einen weiteren Blick in die Zukunft erlaubt, ist in Spies et al. (2009a) beschrieben. Hier wird eine Kombination aus einem sogenannten kontaktanalogen Head- Up Display (vgl. Bergmeier & Bubb, 2008; Schneid, 2009) und einem haptischen Touchpad vorgeschlagen, um Elemente in der Realität kontaktanalog anzuzeigen, und auf dem haptischen Touchpad zu erfühlen. Beschriebene Anwendungsfälle sind beispielsweise das Einstellen des ACC-Abstandsbalkens oder das Anwählen von Point of Interests am Straßenrand. Der Mehrwert einer solchen Anwendung könnte ebenfalls im Rahmen einer Simulatoruntersuchung evaluiert werden.

## Literatur

- AAM (2006), DRIVER FOCUS-TELEMETICS WORKING GROUP: *Statements of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*. Alliance of Automobile Manufacturers.
- ADAMS, M. J., TENNEY, Y. J. & PEW, R.W. (1995): *Situation Awareness and Cognitive Management of Complex Systems*. Human Factors, 37, 85-104
- ANDERSON, J. R. (2001): *Kognitive Psychologie*. In: Graf, R. & Grabowski, J. (Hrsg.), 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (2008): *Multivariate Analysemethoden*, 12. vollst. überarbeitete Auflage, Springer Verlag, Heidelberg
- BADDELEY, A. D. & HITCH, G. J. (1974): *Working Memory*. In: Bower G. A. (Ed.), Recent Advances in Learning and Motivation (Vol. 8, S. 47-98), New York: Academic Press
- BADDELEY, A. D., (1992): *Is Working Memory Still Working?* University of Bristol
- BENGLER, K. (2001): *Aspekte der multimodalen Bedienung und Anzeige im Fahrzeug*. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), Kraftfahrzeugführung (S.196-205). Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio: Springer.
- BERGMEIER, U. & BUBB, H. (2008): *Augmented Reality in vehicle – technical realization of a contact analogue head-up display under automotive capable aspects; usefulness exemplified through night vision systems*. FISITA World Automotive Congress (F2008-02-043), Munich
- BERNOTAT, R. (1970): *Anthropotechnik in der Fahrzeugführung*. Ergonomics, 13, 353-377
- BOFF, K. R. & LINCOLN, J. E. (1988): *Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance*. Bd. 3, Ohio: Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory Wright-Patterson Air Force Base

- BORTZ, J. (2005): *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*, 6. vollst. überarbeitete Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (2006): *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*, 4. vollst. überarbeitete Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg
- BREDENKAMP, J. (1969): *Experiment und Feldexperiment*. In: C.F. Graumann (Hrsg.), *Sozialpsychologie*, Bd. I. Göttingen
- BROADBENT, D. E. (1958): *Perception and Communication*. Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall/ Oxford/ London,
- BROY, V. (2007): *Benutzerzentrierte, graphische Interaktionsmetaphern für Fahrerinformationssysteme*. TU München, Dissertation
- BUBB, H. & SEIFFERT, R. (1992): *Struktur des MMS*. In: Bubb, H. (Hrsg.), *Menschliche Zuverlässigkeit*, S. 31-53, ecomed-Fachverlag, Landsberg
- BUBB, H. (1993): *Systemergonomische Gestaltung*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.), *Ergonomie* 3. Auflage, München u.a., Carl Hanser Verlag
- BUBB, H. (1993a): *Informationswandel durch das System*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): *Ergonomie*, 3. Auflage München u.a., Carl Hanser Verlag
- BUBB, H. & SCHMIDTKE, H. (1993): *Systemstruktur*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.), *Ergonomie*, 3. Auflage, München, Hanser Verlag
- BUBB, H. (2000): *Blickanalyse zur Ermittlung der Aufmerksamkeitszuwendung zu Informationssystemen*. In: *Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M116, Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, S.33-40
- BUBB, H. (2001): *Haptik im Kraftfahrzeug*. In: Jürgensohn, T. & Timpe, K. P. (Hrsg.): *Kraftfahrzeugführung*. S. 155-177, Springer- Verlag, Berlin
- BUBB, H. (2002): *Der Fahrprozess Informationsverarbeitung durch den Fahrer*, VDA-Vortrag; 20./21. März 2002;

- BUBB, H. (2003): *Wieviele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen?* Darmstädter Kolloquium Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003
- COHEN, A. & HIRSIG, R. (1990): *Zur Bedeutung des fovealen Sehens für die Informationsaufnahme bei hoher Beanspruchung.* In: Derkum, H.: Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr. Verlag TÜV Rheinland, Köln
- DIN EN ISO 10075-2 (2000): *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*; Teil 2; Gestaltungsgrundsätze
- DISTLER, A., DURACH, S., ECKSTEIN, L., KEINATH, A., NIEDERMAIER, B. (2008): *Evolution einer Revolution.* In: Elektronik automotive. Sonderausgabe BMW 7er, S.26-33, Oktober 2008
- DOERRER, C. (2003): *Entwurf eines elektromechanischen Systems für flexibel konfigurierbare Eingabefelder mit haptischer Rückmeldung,* Technische Universität Darmstadt, Dissertation
- DRM (2009): Blaupunkt Berlin IQR 83, 2009, Deutsches Rundfunkmuseum Berlin, URL: <http://www.drm-berlin.de/radiodetail.php?gruppe=1&id=1072&g=1>
- DUTKE, S. (1994): *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens - Kognitionspsychologische Grundlagen für die Softwareergonomie.* Arbeit und Technik 4, Verlag für angewandte Psychologie, Göttingen
- EN ISO 15007-1:2002 – Straßenfahrzeuge – Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und –assistenzsystemen – Teil 1: Begriffe und Parameter (ISO 15007-1:2002) Europäisches Komitee für Normung.
- ENDSLEY, M. R. (1995): *Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Situations.* Human Factors, 37(1), 32-64
- ESOP (1999): Europäische Kommission (Hrsg.): *Empfehlung der Europäischen Kommission an die Mitgliedstaaten und die Industrie über sichere und effiziente On-board- Informations- und Kommunikationssysteme:* Europäischer Grundsatzkatalog zur Mensch-Maschine- Schnittstelle (idF v. 21.12.1999. – (L19/64)
- FITTS, P.M. & SEEGER, C.M. (1953): *S-R Compatibility: Spatial Characteristics of Stimulus and Response Codes.* Journal of Experimental Psychology, 46. P. 199-210

- FLEISCHMANN, TH. (2007): *Modellbasierte HMI-Entwicklung*. In: Automobil Elektronik Vol.6,S.46-47
- GARLAND, D. J. & ENDSLEY, M. R. (2000): *Situation Awareness Analysis and Measurement*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah/ New Jersey
- GEISER, G. (1985): *Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug*; In: ATZ 87 (1985) 2, S. 74-77
- GENTNER, D. & GENTNER, D. R. (1983): *Flowing Waters or teeming crowds: Mental Models of Electricity*. In: Gentner, D. & Stevens, A. (Ed.): *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates, Hilldale
- GOLDSTEIN, E.B. (2002): *Wahrnehmungspsychologie*. In: Manfred Ritter (Hrsg.), 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/ Berlin
- GÖTZ, M. (2007): *Die Gestaltung von Bedienelementen unter dem Aspekt ihrer kommunikativen Funktion*. Dissertation, TU München
- GRAF, W. & KRÜGER, H. (1989): *Ergonomic evaluation of user-interfaces by means of eye-movement data*. In: Smith, M.J., Salvendy, G. (eds.): *In work with computers*. Amsterdam
- HAMBERGER, W. & GÖBMANN, E. (2009): *Bedienkonzept Audi: Die nächste Generation*. In: VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.): *Elektronik im Kraftfahrzeug*. VDI-Berichte 2075, S. 677-686, VDI-Verlag, Düsseldorf
- HAMBERGER, W. (2007): *Auf Knopfdruck, Bedien- und Anzeigekonzept bei Infotainmentsystemen*. In: *Elektronik automotive*. Sonderausgabe Audi A4, S.42-43, S1 September 2007
- HAMBERGER, W. (2010): *MMI Touch – new technologies for new control concepts*. In: IQPC – Automotive Cockpit HMI 2010. Steigenberger Graf Zeppelin, Stuttgart.
- HASSENZAHL, M., BURMESTER, M., KOLLER, F. (2003): *AttracDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität*. In: J. Ziegler und G. Szwillus (Hrsg.), *Mensch und Computer 2003. Interaktion in Bewegung* (pp.187-196). Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner

- HEINEKEN, E. & KUCKHOFF, A. (1992): *Kognitive Kompatibilität und mnestiche Stabilität von Menüstrukturen*. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 36 Jg. (N.F.10)3, S.127-136
- HEUER, H. & MERZ, F. (1983): *Intelligenz und Lernen*. In: Schmidke, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag, München/ Wien
- HOCHRINNER, H. (2009): *Und jetzt noch mit Gefühl – Berührungsbildschirme sollen über veränderliche Oberflächen Rückmeldung an den Nutzer geben*. In: Süddeutsche Zeitung, Ausgabe Nr. 90, 20.04.2009
- HORNA, G., OEL, P., SPIES, R. & BUBB, H. (2009): *Untersuchung des Nutzerverhaltens bei Bedienschwierigkeiten während der Interaktion mit einem fahrzeugbasierten Infotainmentsystem*. In: Lichtenstein, A., Stöbel, Ch., Clemens, C. (Hrsg.): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 (29), S. 62-67, VDI-Verlag, Düsseldorf
- HUMMEL, S. (2008): *Akzeptanzentwicklung bei multimodalen Bedienkonzepten*, TU München, Dissertation
- HYPERBRAILLE (2010): <http://www.hyperbraille.de/>
- ISO/TS 15007-2:2001 – Road vehicles – Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems – Part 2: Equipment and procedures.
- JAMA (2004): Japan Automobile Manufacturers Association (Hrsg.): *Guideline for In-vehicle Display Systems*, Version 3.0
- JOHANNSEN, G. (1993): *Mensch-Maschine-Systeme*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- JOHNSON-LAIRD, P. N., GIROTTO, V. & LEGRENZI, P. (1998): *Mental Models: a gentle guide for outsiders*. Prineton, Department of Psychology, <http://www.si.umich.edu/ICOS/gentleintro.html>
- KAHNEMANN, D. (1973): *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall Inc.
- KILIMANN, S. (2007): *Radio Days*. In: Süddeutsche Zeitung. URL: <http://www.sueddeutsche.de/automobil/493/419257/text>

- KLUWE, R. H. (1992): *Gedächtnis und Wissen*. In: Spada, H. (Hrsg.): Lehrbuch allgemeiner Psychologie. 2. Auflage, Hans Huber, S. 115-187, Bern
- KOCH, I. (2006): *Mechanismen der Interferenz in Doppelaufgaben*. Psychologische Rundschau 2006, Institut für Psychologie, Aachen
- LANGE, C., WOHLFARTER, M., BUBB, H. (2006): *Dikablis – engineering and application area*. In: Proceedings IEA 2006 16th World Congress on Ergonomics, Maastricht the Netherlands
- LANGE, C. (2008): *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades*. Dissertation, TU München
- LANGE, C., SPIES, R., WOHLFARTER, M., BUBB, H., BENGLER, K. (2010): *Planning, Performing and Analyzing eye-tracking and behavioral studies according to EN ISO 15007-1 and ISO/TS 15007-2 with Dikablis & D-Lab*. In: W. Karwowski & G. Salvendy (Ed.): Conference Proceedings AHFE International Conference 2010, USA Publishing, Miami
- LANGE, C., BENGLER, K., SPIES, R., WOHLFARTER, M. (2011): *Development of Distraction-Free Control Systems in a Driving Simulator*. In: ATZ autotechnology, Volume 11, 06/2011, PP 44-49
- LEXUS (2009): *Lexus RX – Remote Touch*. URL: <http://www.lexus.de/range/rx/key-features/interior/interior-remote-touch.aspx>
- LIU, SCHREINER, DINGUS (1999): *Development of human factors guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and commercial vehicle operation (CVO): Human factor evaluation of the effectiveness of multimodality displays*. In ATIS. NHTSA FHWA-RD-96-150.
- MERCEDES (2009): *Historie und Mythos*. URL: [http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc\\_germany\\_website/de/home\\_mpc/passengercars/home/passengercars\\_world/legend\\_and\\_history/legends.flash.html#chapter=1](http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/passengercars/home/passengercars_world/legend_and_history/legends.flash.html#chapter=1)
- MICHELITSCH, G., WILLIAMS, M., OSEN, M., JIMENEZ, B., RAPP, S. (2004): *Haptic Chameleon: A New Concept of Shape-Changing User Interface Controls with Force Feedback*. In: ACM (Hrsg.) CHI 04' – Conference on Human Factors in Computing Systems, Vienna
- MILICIC, N., PLATTEN F., SCHWALM, M., BENGLER, K. (2009): *Head-Up Display und das Situationsbewusstsein*. In: VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.): Der Fahrer im 21.

- Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. VDI-Berichte 2085, S. 205-219, VDI-Verlag, Düsseldorf
- MISCHKE, M. & HAMBERGER, W. (2007): *Multimodalität im Dualtask – eine Lösung für die Probleme der Sprachbedienung*. In: Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion, vol.7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin
- MISCHKE, M., (2008): *Multimodale Bedienkonzepte im Dualtask – ein Ansatz für komplexe Bedienungsaufgaben im Fahrzeug*. TU Chemnitz, Dissertation
- MÜLLER-LIMMROTH, W. (1981): *Sinnesorgane*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie, 2. Auflage, Carl- hanser Verlag, München/ Wien
- NEUSS, R. (2001): *Usability Engineering als Ansatz zum Multimodalen Mensch-Maschine-Dialog*. Dissertation, Technische Universität München.
- NORMAN, D. A. (1983): *Some Observations on Mental Models*. In: Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.): Mental Models. Lawrence Erlbaum Associates/Publishers, Hillsdale/ New Jersey
- OVIATT, S.L. (2002): *Multimodal Interfaces*. In: A.S.J. Jacko (Hrsg.), Handbook of human-computer interaction. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- PASHLER, H. (1994): *Dual-Task interference in simple tasks: Data and theory*. Psychological Bulletin, 116, S 220-244
- PELTASON, J. (2006): *Ein wissensbasierter Benutzermodellierungs-Service für Sprachdialogsysteme im Automobilbereich*, Diplomarbeit Aöbert-Ludwig\_Universität, Freiburg
- PETERS, A. (2008): *Entwicklung eines haptischen Touchpads zur situativen Bedienunterstützung*. Abschlussarbeit, TU München
- PETERS, A., SPIES, R., TOUSSAINT, C., FUXEN, D., & HAMBERGER, W. (2010): *Haptisches Touchpad zur Infotainmentbedienung*. In: i-Com 1/2010 Praxisberichte; S. 58-61
- PETROV, A. & MAIER, T. (2009): *Adaptiv variable Stellteile – Neueste Untersuchungen zur Merkmalerkennung und Zustandsdifferenzierung*. In: Lichtenstein, A., Stöbel, Ch., Clemens, C. (Hrsg.): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 (29), S. 153-160, VDI-Verlag, Düsseldorf

- PREIM, B. & DACHSELT, R. (2010): *Interaktive Systeme, Band 1 Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- RASSL, R. (2004): *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im PKW Systemergonomische Analyse und Prognose*. TU München, Dissertation
- REISINGER, J. (2006): *Haptik von Bedienelementen*. In: Ergonomie Aktuell 7, S. 39ff
- RASMUSSEN, J. (1986): *Information Processing and Human – Machine Interaction*. Elsevier Science Publishing Co. Inc.; New York
- RAUCH, N., GRADENEGGER, B., KRÜGER, H.-P. (2007): *Der situationsbewusste Umgang mit Nebenaufgaben beim Fahren*. Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften der Univ. Würzburg, VDI-Berichte Nr. 2015
- ROCKWELL, T.H. (1971): *Eye Movement analyses of visual information acquisition in driving: an overview*. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh
- RÜHMANN, H. (1993): *Schnittstellen in Mensch- Maschine- Systemen*. In: Schmidtke H. (Hrsg.): Ergonomie, 3. Auflage, Carl- Hanser Verlag, München, Wien
- SAE J-2396 (1999): Definition and Experimental measures related to the specification of Driver visual behaviour using video based techniques, ISO/TC 22/SC 13/WG 8
- SCHMIDT, R. F. (1985): *Somatoviscerale Sensibilität*. In: Schmidt, R. F. (Hrsg.): Grundriß der Sinnesphysiologie. Springer-Verlag, Berlin/ Heidelberg/ New York/ Tokyo
- SCHMIDTKE, H. & RÜHMANN, H. (1981): *Betriebsmittelgestaltung*. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag, München, Wien
- SCHNEID, M. (2009): *Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head- up- Displays im Fahrzeug*, TU München, Dissertation
- SCHULER, B., ABLABMEIER, M., MÜLLER, R., REIFINGER, S., POITSCHKE, T. & RIGOLL, G. (2006): *Speech communication and multimodal interfaces*. In K.F. Kraiss (Hrsg.), Advanced man machine interaction (S.141-190). Berlin, Heidelberg, New York; Springer.
- SENDER, J. (2008): *Entwicklung und Gestaltung variable Bedienelemente für ein Bedien- und Anzeigesystem im Fahrzeug*, Technische Universität Dresden, Dissertation
- SPANNER, B. (1993): *Einfluß der Kompatibilität von Stellteilen auf die menschliche Zuverlässigkeit*, Dissertation, TU München

- 
- SPIES, R. & BUBB, H. (2009): *Infotainmentinteraktion der Zukunft - Touchpad mit adaptiv haptisch erfühlbarer Oberfläche*. In: VDI Wissensforum GmbH. (Hrsg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. VDI-Berichte 2085, S. 247-258, VDI-Verlag, Düsseldorf
- SPIES, R., ABLAßMEIER, M., HAMBERGER, W., BUBB, H. (2009a): *Augmented interaction and visualization in the automotive domain*. In: J.A. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part III, LNCS 5612, pp.211-220, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- SPIES, R., PETERS, A., TOUSSAINT, C., BUBB, H. (2009b): *Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Fahrzeuginfotainmentbedienung*. In: Brau, H., Diefenbach, S., Hassenzahl, M., Kohler, K., Koller, F., Peissner, M., Petrovic, K., Thielsch, M., Ullrich, D. & Zimmermann, D. (Hrsg.). Usability Professionals 2009. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.F., Peissner, M., Petrovic, K., Thielsch, M., Ullrich, D. & Zimmermann, D. (Hrsg.). Usability Professionals 2009. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- SPIES, R., HORNA, G., BUBB, H., HAMBERGER, W. & BENGLER, K. (2010): *Haptisches Touchpad - Zentrales Infotainmentbedienteil mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche*. In: GfA (Hrsg.): Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Bericht zum 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S. 123-126, GfA-Press, Dortmund
- SPIES, R., HAMBERGER, W., BLATTNER, A., BUBB, H. & BENGLER K. (2010a): *Adaptive Haptic Touchpad for Infotainmentinteraction in Cars - How many information is the Driver able to feel?*. In: W. Karwowski & G. Salvendy (Ed.): Conference Proceedings AHFE International Conference 2010, USA Publishing, Miami
- SPIES, R., BLATTNER, A., LANGE, L., WOHLFARTER, M., BENGLER, K. & HAMBERGER, W. (2011): *Measurement of Driver's Distraction for an Early Prove of Concepts in Automotive Industry at the Example of the Development of a Haptic Touchpad*. In: J.A. Jacko (Ed.): Human-Computer Interaction, Part II, LNCS 6762, pp.125-132, Springer, Heidelberg
- TOTZKE, I., RAUCH, N., KRÜGER, H.P. (2003): *Kompetenzerwerb und Struktur von Menüsystemen im Fahrzeug: „Breiter ist besser?“*. In: Entwerfen und Gestalten, VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22(16), 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Totzke, I., Schmidt, G. & Krüger, H.-P. (2003a): Mentale Modelle von Menüsystemen: Bedeutung kognitiver Repräsentationen für den Kompetenzerwerb. IN:

Entscheidungsfindung für die Fahrzeug- und Prozessführung. DGLR- Bericht 2003-4, Bonn

TUCKEY, J.W. (1977): *Exploratory data analysis*. Reading, Mass: Addison-Wesley

TUNZE, W. (2007): *Von Musiktruhen zu Multimedia-Zentralen*. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe 02.10.2007, URL: <http://www.faz.net/s/Rub1DABC609A05048D997A5F315BF55A001/Doc~EF2F232A998C64BF3A093008B58723274~ATpl~Ecommon~Scontent.html>

VILIMEK, R. (2007): *Gestaltungsaspekte multimodaler Interaktion im Fahrzeug – Ein Beitrag aus ingenieurpsychologischer Perspektive*. Dissertation, Universität Regensburg

VOLLRATH, M. & TOTZKE, I. (2001): *In-Vehicle Communication and Driving: An Attempt to Overcome their Interference* [Web-Dokument]. Driver Distraction Internet Forum. URL: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driverdistraction/papers.htm>

WICKENS, C. D. (1984): *Engineering Psychology and Human Performance*. Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus

WICKENS, C. D., & HOLLANDS, J. G. (2000): *Engineering Psychology and Human Performance*. New Jersey, Prntice Hall Inc.

ZELLER, A., WAGNER, A., SPRENG, M. (2001): *iDrive – Zentrale Bedienung im neuen 7er von BMW*. In: *Elektronik im Kraftfahrzeug*. VDI-Berichte Nr. 1646. Düsseldorf: VDI- Verlag, S. 997-1009

# Anhang

## Fragebogen zur Studie „Vergleich unterschiedlicher Bedienmöglichkeiten“

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:

1. In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 \_\_\_\_\_
2. Welchen Beruf üben Sie aus? \_\_\_\_\_
3. Geschlecht: männlich  weiblich
4. Sind Sie: Linkshänder  Rechtshänder  beides
5. Besitzen Sie einen PKW (Privatwagen / Firmen-PKW)?  
JA  NEIN  (weiter mit Frage 9)
6. An wievielen Tagen pro Woche nutzen Sie Ihr Fahrzeug?  
5-7 Tage / Woche  3-4 Tage / Woche   
1-2 Tage / Woche  weniger als 1 Tag / Woche
7. Wieviel km fahren Sie in etwa pro Jahr?  
Weniger als 5.000  5.000 – 10.000   
10.000 – 20.000  mehr als 20.000
8. Ist dieser mit einem Infotainmentsystem, z. B. dem Audi MMI, ausgestattet?  
JA  NEIN   
Welches? \_\_\_\_\_

9. Bei **Nein**:  
 Kennen Sie ein Infotainmentssystem (Audi MMI, Comand, iDrive, etc.)?  
 JA  NEIN  (bei „NEIN“ Ende des Fragebogens)

Welches? .....

10. Wie häufig haben Sie dieses im letzten halben Jahr genutzt?

	nie	hab ich 2 bis 3x probiert	ab und zu	bei jeder 3. / 4. Fahrt	bei fast jeder Fahrt
<u>Audi MMI</u> .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<u>Comand</u> .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<u>iDrive</u> .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Wann bedienen Sie das Infotainmentsystem?

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

Gibt es Ihrerseits Verbesserungsvorschläge / Wünsche bzgl. der Bedienung?

.....

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

NEIN	JA		sehr selten	selten	oft	sehr oft
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Betriebssystem: _____				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Handy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Welches? _____				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	iPod	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Welches? _____				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	andere MP3 Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PDA / Organizer	<input type="checkbox"/>	<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"/>	<input type="checkbox"/>	DVD-Player	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mobiles Navigierät (z. B. TomTom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Welches? _____				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	iPhone	<input type="checkbox"/>	<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"/>	<input type="checkbox"/>	privates Netzwerk	<input type="checkbox"/>	<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"/>	<input type="checkbox"/>	Acrobate Reader	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FRAGEBOGEN - ATTRAKDIFF

<b>Gerät:</b>	
<b>VPN_Nr.:</b>	
<b>Datum.:</b>	

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

FRAGEBOGEN - ATTRAKDIFF

nicht vorzeigbar	<input type="checkbox"/>	vorzeigbar
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