



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Ergonomie

**Ergonomische Fahrerplatzgestaltung und
Interaktionskonzepte für hochautomatisierte
Fahrzeuge**

Martin Andreas Albert

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: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
2. Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder

Die Dissertation wurde am 10.01.2018 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 05.06.2018 angenommen.

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ergonomie an der TU München im Rahmen eines INI.TUM-Kooperationsprojektes mit der AUDI AG.

Über den gesamten Verlauf einer solchen Arbeit gibt es immer wieder Menschen, ohne die die Arbeit nie so hätte entstehen können, wie sie letztlich entstanden ist.

In diesem Zusammenhang möchte ganz herzlich meinem Doktorvater Herrn Prof. Bengler danken, dafür, dass Sie mir trotz vollem Terminkalender über die Jahre hinweg – wann und in welcher Länge auch immer nötig – die Gelegenheit zum intensiven fachlichen Austausch geboten haben und bis zuletzt mit den richtigen Worten zur Seite standen. Herrn Prof. Bruder möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und den sehr freundlichen Kontakt rund um Einreichung und Verteidigung danken, genauso Prof. Volk für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Ein weiterer Dank geht an meine Betreuer auf Audi-Seite, deren Rat und Erfahrung mir immer eine Richtschnur gegeben haben: Dr. Christian Mergl für das Initiieren des Projekts und die Betreuung in der ersten Zeit, Dr. Martin Wimmer für die Weiterführung dieser Aufgabe und dafür, mich während meiner Diplomarbeit mit Christian bekannt gemacht zu haben.

Durch die besondere Konstellation der Arbeit war ich während meiner Doktorandenzeit in drei Kollegien in Ingolstadt und München eingebettet:

Somit kann ich meinen ehemaligen Kollegen am Lehrstuhl für Ergonomie dafür danken, dass ich mich, wann immer ich in Garching war, wie zu Hause fühlen durfte und ein angeregter und offener Austausch mit allen möglich war.

Ebenso möchte ich den Kollegen aus meiner (Heimat-) Abteilung Entwicklung Ergonomiekonzepte dafür danken, dass ich stets auf euch und eure Expertise zählen durfte, auch wenn mein Arbeitsplatz in der Abteilung häufig leer blieb.

Ein besonderer Dank geht an die Kollegen aus dem Projekthaus bzw. AI-Lab. Obwohl ich offiziell und organisatorisch nie zur Abteilung gehört habe, wurde ich in diesem wohl einzigartigen Umfeld freundschaftlich aufgenommen und vom gesamten Team in allen Belangen unterstützt. Danke vor allem auch Stephi Cramer, Dr. Alexander Lange, Klaus Schmiedhofer, Lorenz Bergmaier, Stephan Bültjes und Sebastian Grohe für euren hohen persönlichen Einsatz rund um die Inbetriebnahme des Versuchsträgers! Ihr habt mich das ein oder andere Mal in mir aussichtslos erscheinenden Situationen gerettet, ohne euch hätte der PR nie das (Selbst-) Fahren gelernt.

Über die gesamte Zeit hatte ich das Glück mit Dr. Alexander Lange einen engen Doktorandenkollegen und treuen Weggefährten an der Seite zu haben. Danke Alex, dass wir viele Herausforderungen gemeinsam angegangen und durchgestanden haben, danke für die unzähligen Arbeitsstunden, in denen du mich unterstützt hast, obwohl dir selbst die Zeit davon lief, danke für die Freundschaft!

Ich möchte außerdem den Studenten Felix Schneider, Murat Saygin, Tobias Hecht, Annika Meier, Florian Bissbort und Andreas Fuchs, die im Rahmen des Projekts ihre Arbeiten verfasst haben, für ihre Beiträge danken.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Freunden und meiner Familie danken, die mich über die Jahre unterstützt und begleitet haben, so manches Mal auf mich verzichtet oder mich ertragen mussten und dabei häufig optimistischer waren, was einen erfolgreichen Ausgang dieses Lebenskapitels betraf, als ich selbst. Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg und damit auch in über den langen Entstehungsprozess dieser Arbeit jederzeit und in jeglicher Hinsicht über die Maßen unterstützt haben. Ihr seid die Besten!

Zusammenfassung

Das öffentliche Interesse und die Erwartungen an das automatisierte Fahren sind hoch, doch die Herausforderungen auf dem Weg zu einer Einführung als Seriensystem sind derzeit noch vielfältig. Sie betreffen neben den technischen und rechtlichen Fragestellungen auch den Bereich der Ergonomie. Betrachtungen zum Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug beschränken sich in bisherigen Forschungsprojekten weitgehend auf Systeme, die der Teilautomation zugeordnet werden können.

Diese Arbeit leistet, auf den dort gewonnenen Erkenntnissen aufbauend, einen Beitrag in der Betrachtung und Bewertung möglicher Instanziierungen eines kooperativen Zusammenspiels zwischen Fahrer und hochautomatisiertem Fahrzeug.

Dazu wurden in einem ersten Schritt vier Interaktionskonzepte entworfen, die die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug systematisch variieren und eine Interaktion auf je einer der vier Ebenen der Fahraufgabe erfordern. Diese wurden prototypisch in ein Versuchsfahrzeug integriert und mittels eines Probandenversuchs auf dem Testgelände evaluiert. Das Ergebnis zeigt ein hohes Vertrauen der Probanden in das hochautomatisierte System und die Präferenz einer möglichst weitgehenden Entbindung von manöverbezogenen anfallenden Aufgaben.

Diese Erkenntnisse flossen im zweiten Schritt in die Konzeptionierung eines Fahrerplatzes ein, der sowohl für manuelles bzw. assistiertes Fahren als auch für den hochautomatisierten Betrieb geeignet ist. Da bei einer weitgehenden Entlastung des Fahrers von fahrbezogenen Aufgaben die Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten in den Vordergrund tritt, wurden diese in der Gestaltung der Interaktionskonzepte berücksichtigt und in der prototypischen Umsetzung des Fahrerplatzkonzeptes im Versuchsträger mit dargestellt. Der anschließende Probandenversuch bewertete darin die optimierten Interaktionskonzepte für die Navigations- und Manöverplanungsebene im Zusammenspiel mit zwei fahrfremden Tätigkeiten aus dem Freizeit- und Arbeitskontext. Die Ergebnisse des zweiten Versuchs bestätigen den Trend aus dem ersten, auch hier sieht ein signifikant höherer Anteil der Probanden die Beschränkung auf die Interaktion auf Navigationsebene im Vorteil. Bezüglich der Wechselwirkung mit den fahrfremden Tätigkeiten zeigt sich zudem, dass diese Aufgabenverteilung den Probanden mehr Spielraum für eine Beschäftigung auch mit anspruchsvollen Tätigkeiten bietet, während die manöverbasierte Interaktion als „störend“ bei der Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten wahrgenommen wird. Aus den aufgezeichneten Blickdaten können zudem Rückschlüsse auf das gezeigte Blickverhalten gezogen werden.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen können Hinweise auf eine nutzerorientierte Gestaltung der Aufgabenverteilung und Interaktion zwischen Fahrer und hochautomatisiertem Fahrzeug sowie grundlegende Gestaltungsziele für Fahrerplätze, die neben der automatisierten Fahrt auch die konventionelle Fahrzeugführung unterstützen, abgeleitet werden.

Abstract

The public interest on the topic of automated driving is rising, accompanied by high expectations on possible benefits. But challenges on the way to series production are manifold, covering questions on technical feasibility, legal admissibility as well as human factors. In the past, research approaches and research projects on human factors and driver-vehicle interaction focused mainly on systems for driver assistance and partial automated driving.

Based on the findings in these projects, this thesis contributes to the research in this domain by designing and evaluating interaction concepts for a cooperative control on higher automation levels.

In a first step, four interaction concepts were developed, varying the distribution of the driving task between driver and automated vehicle systematically and establishing the interaction on each of the four levels of the driving task. Prototypes of the concepts were implemented, integrated in a test vehicle and evaluated on a test track. Results reveal that the participants trusted the automated system and preferred a far-reaching relief from tasks that are to be fulfilled during driving maneuvers.

Based on these findings and known affordances from literature, a layout for the driver place was developed, that is suitable for manual and assisted driving as well as conditionally automated driving. As non-driving-related- (NDR-) tasks gain importance while the driver is relieved from the driving task, engagement in those is considered during the development of the interaction concepts and implemented alongside with them in the prototypic driver place concept in the test vehicle. The optimized concepts for the driver-vehicle-interaction on the maneuver-planning and navigation level of the driving task were evaluated in a user study, also considering the interdependency with two NDR- tasks, taken from a work- and a leisure- related background.

The findings of this second study confirm the trend found in the first one. Again, significantly more participants preferred an interaction limited to the navigation level. Furthermore, the study revealed that the limitation of the interaction with the driving-task to the navigation level offers more latitude for the occupation with NDR- tasks, while the maneuver-based interaction is perceived as “distracting” from the NDR-tasks. The eye-tracking data obtained in the second study offers further insight on user behavior and gaze movement.

In conclusion, the results offer indications for a user-centered design of driving- task distribution between driver and automated vehicle as well as basic design objectives for a driver place in vehicles that provide automated and manual driving.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Einführung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	4
2.1 Ergonomie und Mensch-Maschine-System.....	4
2.1.1 Menschliche Informationsverarbeitung	5
2.1.2 Die Fahraufgabe im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis.....	10
2.2 Fahrerassistenz und Automation.....	13
2.2.1 Begriffseingrenzung und Definition	13
2.2.2 Automation aus technischer Sicht.....	16
2.2.3 Automation aus Nutzersicht.....	17
2.3 Der Mensch im Zusammenspiel mit Automation	22
2.3.1 Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Automation	23
2.3.2 Auswirkungen der Nutzung von Automation	28
2.3.3 Interaktionskonzepte für automatisiertes Fahren	32
2.3.4 Einordnung bestehender Konzepte der Fahrzeugautomation	40
2.4 Fahrerplatz	42
2.4.1 Existierende Auslegungskriterien heutiger Fahrerarbeitsplätze	43
2.4.2 Änderung der Anforderungen durch automatisiertes Fahren	48
3 Forschungsbedarf und methodische Herangehensweise	56
4 Studie 1 – Interaktionskonzepte für die hochautomatisierte Autobahnfahrt.....	59
4.1 Ableitung zu untersuchender Ausprägungen	59
4.2 Umsetzung	61
4.2.1 Konzepte	62
4.2.2 Technische Realisierung	67

4.3	Forschungsfragen	68
4.4	Methodik	70
4.4.1	Versuchsdesign	70
4.4.2	Fahrfremde Tätigkeit.....	73
4.4.3	Setting	73
4.4.4	Versuchsablauf	74
4.4.5	Probandenkollektiv.....	75
4.5	Ergebnisse	76
4.6	Diskussion.....	82
4.7	Fazit	86
5	Studie 2 – Fahrerplatz und fahrfremde Tätigkeit	87
5.1	Ableitung von Konzeptgrundlagen	87
5.1.1	Gestaltungsziele	88
5.1.2	Maßnahmen.....	89
5.2	Umsetzung.....	93
5.2.1	Konzepte.....	95
5.2.2	Technische Realisierung.....	99
5.3	Fahrfremde Tätigkeiten	102
5.4	Forschungsfragen	102
5.5	Methodik	104
5.5.1	Versuchsdesign	104
5.5.2	Fahrfremde Tätigkeit.....	107
5.5.3	Setting	108
5.5.4	Versuchsablauf	109
5.5.5	Probandenkollektiv.....	109
5.6	Ergebnisse	111
5.6.1	Fragebogen	111
5.6.2	Blickerfassung.....	116
5.7	Diskussion.....	134
5.8	Fazit	141
6	Ableitung systemergonomischer Anforderungen	143
7	Zusammenfassung und Ausblick	147
8	Literaturverzeichnis	150

Anhang A	171
A.1 Grundlagen	171
A.1.1 Defintion Automationsgrade	171
A.1.2 Nutzerperspektive auf automatisiertes Fahren.....	172
A.2 Existierende Guidelines.....	175
A.3 Studie 1	178
A.3.1 Anzeigen	178
A.3.2 Versuchsmaterialien	179
A.3.3 Fragebogen	181
A.3.4 Ergebnistabellen.....	186
A.4 Studie 2.....	194
A.4.1 Anzeigen	194
A.4.2 Versuchsmaterialien	197
A.4.3 Fragebogen.....	199
A.4.4 Ergebnistabellen.....	204
Anhang B	223
B.1 Auflistung betreuter studentischer Arbeiten.....	223
B.2 Auflistung durch Fremdfirmen umgesetzter Umfänge der HMI-Komponenten .	224

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Strukturschema menschlicher Arbeit aus (VDI Richtlinie 4006 Blatt 1)	4
Abbildung 2-2: Informationsfluss Subsystem Mensch nach Bubb und Schmidtke (1993).....	7
Abbildung 2-3: Regulationsebenenmodell nach Rasmussen basierend auf den Darstellungen in Rasmussen (1983) und Donges (2012)	9
Abbildung 2-4: Drei-Ebenen-Modell aus Donges (1982).....	11
Abbildung 2-5: Zusammengesetztes Modell des Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises aus Bubb (2015a)	12
Abbildung 2-6: Darstellung der Automationsstufen aus VDA (2015).....	15
Abbildung 2-7: Typische technische Systemstruktur automatisierter Systeme	16
Abbildung 2-8: Automationsmodell aus Wickens et al. (1998) (links) und aus Parasuraman et al. (2000) (rechts)	25
Abbildung 2-9: Umsetzung des HMI-Designs im JSD nach Hoeger et al. (2011)	33
Abbildung 2-10: Kombidisplay- und Bedienelementdarstellung aus Wimmer (2014)	35
Abbildung 2-11: Assistenz- und Automationsspektrum des H-Mode nach Altendorf et al. (2015).....	37
Abbildung 2-12: Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis in Conduct-by-Wire aus Franz et al. (2015).....	39
Abbildung 2-13: Integration auf Touchdisplay (li.) aus Kauer et al. (2010) und abgesetzte Bedienung auf kHUD und Touchpad (re.) aus Franz et al. (2012).....	40
Abbildung 2-14: Einordnung bestehender Konzepte im Automationsraum	41
Abbildung 2-15: Quasi-Konvention zur Aufteilung des Armaturenbretts, basierend auf der Darstellung aus Bubb (2015b)	43
Abbildung 2-16: Gültigkeit der Anforderungen abhängig von Automationsstufen	49
Abbildung 4-1: Einordnung der neuen Interaktionskonzepte A-D	60
Abbildung 4-2: Integration der HMI-Elemente in den Versuchsträger	62
Abbildung 4-3: Konzept zur Darstellung der Umfeldinformationen.....	63
Abbildung 4-4: Grafische Umsetzung von Konzept A auf dem Zusatzdisplay.....	64

Abbildung 4-5: Grafische Umsetzung von Konzept B auf dem Zusatzdisplay	65
Abbildung 4-6: Grafische Umsetzung von Konzept C auf dem Zusatzdisplay	66
Abbildung 4-7: Grafische Umsetzung von Konzept D auf dem Zusatzdisplay	66
Abbildung 4-8: Gesamtsystem für die Evaluation der Bedienkonzepte	67
Abbildung 4-9: Schematische Darstellung der Versuchsstrecke in Neuburg	74
Abbildung 4-10: Angabe wie gerne das System im eigenen Fahrzeug gewünscht wird (links) und mittlere Ränge des abschließenden Rankings (rechts)	77
Abbildung 4-11: Faktoren der wahrgenommenen Eigenschaften	78
Abbildung 4-12: SUS-Score mit Einordnung nach Bangor et al. (2009)	79
Abbildung 4-13: Boxplots der von den Probanden angegebenen Entspannung, N=36	80
Abbildung 4-14: Darstellung der bewerteten Nützlichkeit der Informationselemente	81
Abbildung 5-1: Seriencockpit des Versuchsträgers (oben) mit Änderungsbereich und CAD-Modell des integrierten Fahrerplatzkonzepts im Versuchsträger (unten)	93
Abbildung 5-2: Integration des Fahrerplatzkonzepts im Versuchsträger	94
Abbildung 5-3: Oberes Display im Konzept Manöverplan	96
Abbildung 5-4: Unteres Display im Konzept Manöverplan	97
Abbildung 5-5: Oberes Display des Konzepts Manöverautomation	98
Abbildung 5-6: Unteres Display des Konzepts Manöverautomation.....	99
Abbildung 5-7: Gesamtsystem für die Evaluation der Fahrerplatzkonzepte	100
Abbildung 5-8: Auswahl fahrfremder Tätigkeiten für den Fahrversuch.....	107
Abbildung 5-9: Plan der Versuchsstrecke in Ehra-Lessin	108
Abbildung 5-10: Vergleich der herangezogenen Akzeptanzmaße zwischen den Systemen	112
Abbildung 5-11: Wahrgenommene Eigenschaften der Systeme	113
Abbildung 5-12: SUS-Score mit Einordnung nach Bangor et al. (2009).....	114
Abbildung 5-13: Subjektiv Empfundene Anstrengung vor dem Versuch (Baseline) und nach den Bedingungen	115
Abbildung 5-14: SART-Werte der verschiedenen Bedingungen	115
Abbildung 5-15: Lage der AOIs im Versuchsträger	116

Abbildung 5-16: Kriterien zur Unterteilung der Versuchsfahrten	118
Abbildung 5-17: AOIs mit hohem Blickdaueranteil: Anteilige Blickzuwendungsdauern in Prozent.....	120
Abbildung 5-18: AOIs mit hohem Blickdaueranteil: Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden.....	122
Abbildung 5-19: Blickzuwendungen in die AOIs (Besuche) pro 10 Sekunden	124
Abbildung 5-20: Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den ausgewählten AOIs im Zeitraum „FSW_L“	126
Abbildung 5-21: Einordnung der zur Untersuchung der Blickzuwendung herangezogenen Bezeichnungen	128
Abbildung 5-22: Verteilung der Blickzuwendung bei Start des Abschnitts (obere Reihe) und der zweiten Blickzuwendung nach Start des Abschnitts (untere Reihe)	129
Abbildung 5-23: kumulierte Anzahl der Blickzuwendungen auf die AOIs von Frontscheibe, Kombi und Systeminformation, anteilig an der Anzahl der Manöver	130
Abbildung A–1: Anzeige im Head-Up-Display.....	178
Abbildung A–2: Systemzustände im Kombidisplay	178
Abbildung A–3: Beispiel für die Systemrückmeldung im HUD	194
Abbildung A–4: Beispiele für die Systemrückmeldung im Kombidisplay.....	194
Abbildung A–5: Systeminformation auf dem oberen Touchscreen mit Zusatzinformationen (links) und reduzierte Ansicht (rechts)	195
Abbildung A–6: Touchgesten zur Manöverbeauftragung auf dem unteren Touchscreen im Manöverplan.....	195
Abbildung A–7: Ablauf eines Fahrstreifenwechselmanöver auf dem unteren Touchscreen im Manöverplan.....	196
Abbildung A–8: AOIs mit geringem Blickdaueranteil: Anteilige Blickzuwendungsdauern in Prozent	216
Abbildung A–9: AOIs mit geringem Blickdaueranteil: Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden.....	219
Abbildung A–10: Blickzuwendungen in die AOIs pro 10 Sekunden	219

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-2: Zuordnung der in Wimmer (2014) genutzten Stufen	34
Tabelle 2-3: Grundsätze für hoch-priore Warnungen von ADAS, übersetzt aus United Nations - Economic Comission for Europe (2011)	46
Tabelle 2-4: Design- Grundsätze für ADAS, übersetzt aus United Nations - Economic Comission for Europe (2014)	47
Tabelle 2-5: Allgemeine Grundsätze einer Mensch-zentrierten Automation nach Billings (1991, S. 81-82).....	51
Tabelle 2-6: Anforderungen an eine kooperative Automation angelehnt an Löper et al. (2008).....	52
Tabelle 2-7: Anforderungen an die Interaktionsgestaltung angelehnt an Franz (2014)	52
Tabelle 2-8: Übernommene Anforderungen an das Interaktionskonzept aus Wimmer (2014).....	53
Tabelle 5-1: Zuordnung der Maßnahmen zu den Gestaltungszielen.....	92
Tabelle 5-2: Aufstellung gültiger Manöver für die Auswertung	118
Tabelle 5-3: Blickzuwendung bezogen auf den Zeitpunkt des Manöverauftrags	132
Tabelle A–1: Automationsstufen aus Gasser (2012).....	171
Tabelle A–2: Top- Nennungen der Vorbehalte (in Prozent oder Rang).....	172
Tabelle A–3: Top- Nennungen der wahrgenommenen Vorteile (in Prozent oder Rang)	173
Tabelle A–4: Vorstellbare und gewünschte fahrfremde Tätigkeiten	174
Tabelle A–5: Grundsätze des European Statement of Principles (Europäische Kommission, 2008)	175
Tabelle A–6: Recommendations on Safe Use (RSU) aus Europäische Kommission (2008).....	177
Tabelle A–7: A priori Stichprobengrößenberechnung mittels G*Power.....	179
Tabelle A–8: Auffahrpunkte des Vorderfahrzeugs.....	179
Tabelle A–9: Permutationsplan und Zuordnung zu Probanden Studie 1.....	180

Tabelle A–10: Demographie und Selbsteinschätzung (alle Probanden)	186
Tabelle A–11: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug (alle Probanden)	187
Tabelle A–12: Nutzung von Informationsquellen (alle Probanden)	187
Tabelle A–13: Demographie und Selbsteinschätzung (nach Fallausschluss)	188
Tabelle A–14: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug (nach Fallausschluss)	188
Tabelle A–15: Nutzung von Informationsquellen (nach Fallausschluss)	189
Tabelle A–16: Test auf Normalverteilung ($p > .05$).....	189
Tabelle A–17: Tabellierte Werte der Akzeptanzmaße.....	190
Tabelle A–18: Tabellierte Werte der wahrgenommenen Eigenschaften	191
Tabelle A–19: Tabellierte Werte der System Usability Scale (SUS)	192
Tabelle A–20: Tabellierte Werte der angegebenen Entspannung.....	192
Tabelle A– 21: Tabellierte Werte der Informationselemente	193
Tabelle A–22: A priori Stichprobengrößenberechnung mittels G*Power.....	197
Tabelle A–23: Permutationsplan für Studie 2.....	197
Tabelle A–24: Zuordnung des Versuchsplans zu Probanden, Studie2	198
Tabelle A–25: Demographie und Selbsteinschätzung	204
Tabelle A–26: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug.....	204
Tabelle A–27: Test auf Normalverteilung ($p > .05$).....	205
Tabelle A–28: Test auf Homogenität der Varianzen ($p > .05$)	205
Tabelle A–29: Tabellierte Werte der Akzeptanzmaße.....	206
Tabelle A–30: Tabellierte Werte der wahrgenommenen Eigenschaften	207
Tabelle A–31: Tabellierte Werte der System Usability Scale	208
Tabelle A–32: Tabellierte Werte der Subjektiv Empfundenen Anstrengung.....	208
Tabelle A–33: Tabellierte Werte des SART-Fragebogens	208
Tabelle A–34: Probandennennungen Vorteile Manöverplan.....	209
Tabelle A–35: Probandennennungen Nachteile Manöverplan	210
Tabelle A–36: Probandennennungen Vorteile Manöverautomation.....	211

Tabelle A–37: Probandennennungen Nachteile Manöverautomation 212

Tabelle A–38: Zuordnung zwischen Signalwerten und Systemzuständen 213

Tabelle A–39: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der anteiligen
Blickzuwendungsdauern in Prozent, AOIs mit hohem Blickdaueranteil 214

Tabelle A–40: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der anteiligen
Blickzuwendungsdauern in Prozent, AOIs mit geringem Blickdaueranteil 215

Tabelle A–41: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der
Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden, AOIs mit hohem Blickdaueranteil 217

Tabelle A–42: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der
Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden, AOIs mit geringem Blickdaueranteil ... 218

Tabelle A–43: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept
Manöverplan mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Arbeitskontext 220

Tabelle A–44: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept
Manöverplan mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Freizeitkontext..... 220

Tabelle A–45: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept
Manöverautomation mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Arbeitskontext 220

Tabelle A–46: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept
Manöverautomation mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Freizeitkontext 221

Tabelle A–47: Detaillierte Aufstellung der Blickzuwendung vor und zum Zeitpunkt des
Manöverauftrags 222

Abkürzungsverzeichnis

AAM	Alliance of Automobile Manufacturers
ABS	Anti- Blockier- System
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance System
ADTF	Automotive Data and Time Triggered Framework
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
CAN	Controller Area Network
CoP	Code of Practice
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EPS	Electronic Power Steering (Elektromechanische Lenkung)
ESC	Electronic Stability Control
ESoP	European Statement of Principles
ESP	Elektronisches Stabilitäts Programm (BOSCH-Eigenname von ESC)
FAS	Fahrerassistenzsystem
FFT	Fahrfremde Tätigkeit
FIS	Fahrerinformationssystem
FS	Fahrstreifen
FSW	Fahrstreifenwechsel
HMI	Human-Machine-Interface
HUD	Head-Up-Display
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
JSD	Joint System Demonstrator (im Projekt Forschungsprojekt HAVEit)
kHUD	kontaktanaloges Head-Up-Display
KUT	Kontrollüberzeugung im Umgang mit Technik
LAN	Local Area Network
MA	Manöverautomation
MMS	Mensch-Maschine-System
MOST	Media Oriented Systems Transport (Multimedia Bussystem)
MP	Manöverplan
NDR (task)	non-driving-related task (fahrfremde Tätigkeit)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
RSU	Recommendations on Safe Use
SA	Situation Awareness
SAE	Society of Automotive Engineers
SART	Situation Awareness Rating Technique
VDA	Verband der Automobilhersteller

1 Einführung

Automatisiertes Fahren wird heute in weiten Teilen von Gesellschaft, Wirtschaft, Politik und Wissenschaft als eines der großen Zukunftsthemen wahrgenommen (z.B. Cacilo et al. (2015), VDA (2015), Maurer, Gerdes, Lenz und Winner (2015)) und findet derzeit ein immer größeres, auch mediales Echo. Dazu tragen publikumswirksame Demonstrations- und Erprobungsfahrten von großen Fahrzeugherstellern, Technologiekonzernen und Mobilitätsdienstleistern ebenso bei, wie staatliche Gesetzesinitiativen und die Einrichtung von offiziellen Testfeldern.

Die in das automatisierte Fahren gesetzten Erwartungen sind dabei ausgesprochen hoch. So formuliert das Bundesverkehrsministerium in seinem Strategiepapier:

„Die Mobilität der Zukunft ist sicher, sauber, effizient – und bietet enorme Wachstums- und Wohlstandschancen für unser Land. Das automatisierte und vernetzte Fahren wird Verkehrsflüsse deutlich verbessern, die Entstehung kritischer Situationen reduzieren, das Handling entsprechender Szenarien optimieren, Fahrer und Umwelt entlasten, zusätzliche Wertschöpfung generieren und neue Arbeitsplätze schaffen.“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015, S. 8)

Die Idee der Automatisierung von Kraftfahrzeugen ist nicht neu, auch wenn die Diskussion in den letzten Jahren zunehmend öffentlichkeitswirksamer geführt wird. Kröger (2015) zeichnet eine Entwicklung der Thematik seit Beginn des 20. Jahrhunderts nach, die Zusammenstellungen wichtiger Meilensteine und Forschungsprojekte auf dem Gebiet von Fahrerassistenz und automatisiertem Fahren in Matthaei et al. (2015), van Arem (2012) und Bengler et al. (2014) zeigen einen verstärkten Anstieg der Aktivitäten seit den 1970er/1980er Jahren. Die seither in den Forschungsprojekten adressierten Grundlagen haben inzwischen Einzug in eine Vielzahl serienreifer Assistenzsysteme gefunden, beispielsweise in Form des Abstandsregeltempomaten ACC (Adaptive Cruise Control), des Totwinkelassistenten oder von Systemen zur Spurhalteunterstützung und Spurverlassenswarnung. Obwohl diese Systeme schon seit geraumer Zeit am Markt verfügbar sind steigt die Marktdurchdringung erst in den letzten Jahren nennenswert an. Ein Trend, von dem ausgegangen wird, dass er in den kommenden Jahren anhalten wird (vgl. Bengler et al. (2014)).

Neben der Weiterentwicklung bestehender Systeme, unter Anderem für den Einsatz in urbanen Verkehrssituationen, wird in der Kombination bisher isolierter Assistenten zu komplexeren Systemen für Unterstützung in Quer- und Längsrichtung das aktuelle Entwicklungsfeld für seriennahe Systeme gesehen (siehe auch Bengler, Dietmayer et al. (2012), Bengler et al. (2014)). Neben der technischen Umsetzung steht hier

zunehmend die Schaffung eines durchgängigen Konzepts zu Interaktion zwischen Mensch, Assistenzsystem und Verkehrsumgebung im Vordergrund, wie beispielsweise im Forschungsprojekt UR:BAN, vgl. Bengler, Drüke, Hoffmann, Manstetten und Neukum (2018).

Bezogen auf die Realisierung automatisierter Fahrfunktionen aus der Weiterentwicklung und Integration längs- und querregelnder Systeme werden – abhängig von der Ausprägung und dem Anwendungsfall der Systeme (siehe auch Kapitel 2.2.1) – ebenfalls noch vielfältige Herausforderungen gesehen (z.B. Matthaei et al. (2015)). Neben den ungelösten technischen Herausforderungen und rechtlichen Fragestellungen bergen die Themen rund um den menschlichen Umgang mit automatisierten Systemen und deren individuelle und gesellschaftliche Akzeptanz wohl die meisten Herausforderungen, wie beispielsweise Saffarian, Winter und Happee (2012), Rupp und King (2010) oder Fraedrich und Lenz (2015) betonen.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Bisherige Untersuchungen zur Gestaltung des Zusammenspiels zwischen Fahrer und Fahrzeug in Forschungsprojekten wie HAVEit, H-Mode und Conduct-by-Wire (beschrieben in Kapitel 2.3.3) gehen von einer notwendigen, dauerhaften Einbindung des Fahrers in die Fahraufgabe oder zumindest der Notwendigkeit einer dauerhaften Überwachung des automatisierten Systems aus (sogenannte Teilautomation, siehe Kapitel 2.2.1).

Ob und welche der daraus vorliegenden Erkenntnisse sich auf Automationsstufen übertragen lassen, in denen eine solche Überwachung oder Einbindung nicht mehr notwendig ist, das Fahrzeug also die Fahraufgabe zumindest zeitweise verantwortlich übernehmen kann, wurde bisher nicht betrachtet. Es besteht die Möglichkeit, dass die Nutzung der Fahrtzeit für Entspannung oder fahrfremde Tätigkeiten, wie sie häufig in Befragungen (siehe Kapitel 2.2.3) benannt werden, in den Vordergrund tritt. Genauso könnte aber auch das Bedürfnis der Fahrer, weiterhin in die Fahraufgabe eingebunden zu sein, bestehen bleiben. Beides hat entsprechende Auswirkungen auf die Gestaltung der Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug und damit auch auf die Ausgestaltung des Fahrerplatzkonzeptes.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Gestaltung, prototypische Umsetzung und Untersuchung von Konzepten für die Interaktion mit höheren Automationsstufen. Daraus werden – soweit möglich – Anforderungen an künftige Interieurkonzepte und die Gestaltung von automatisierten Systemen in Kraftfahrzeugen abgeleitet.

1.2 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 dient der grundlegenden Einordnung der Thematik, bietet einen Überblick über die genutzten Definitionen und stellt den Stand der Technik und wissenschaftlichen Forschung in den relevanten Fachgebieten dar.

Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 der Forschungsbedarf aufgezeigt und die konkreten Fragestellungen abgeleitet, mit denen sich diese Arbeit beschäftigt. Zudem wird die methodische Vorgehensweise festgelegt.

Kapitel 4 und 5 führen jeweils einen Teilschritt des zweistufigen Vorgehens aus. So beschreibt Kapitel 4 die Konzeption und Untersuchung unterschiedlich ausgeprägter Interaktionskonzepte für das hochautomatisierte Fahren auf der Autobahn, Kapitel 5 schließt mit der Ableitung und Untersuchung zweier Interaktionskonzepte in einem weiterentwickelten Fahrerplatzkonzept an.

In Kapitel 6 erfolgt die Zusammenführung der aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse in Form systemergonomischer Anforderungen.

Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem kurzen Ausblick ab.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Theorien und der Stand der Forschung und Technik dargelegt. Kapitel 2.1 betrachtet dazu zunächst die Grundlagen des Zusammenspiels zwischen Fahrer und Fahrzeug aus Sicht der Ergonomie. In Kapitel 2.2 werden die Themenfelder Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren definitiv voneinander abgegrenzt sowie ein Überblick über gängige technische Realisierungsansätze von automatisierten Fahrfunktionen und die Nutzersicht auf das Thema gegeben. Kapitel 2.3 greift den Stand ausgewählter Teile der Automationsforschung auf und stellt, vor dem Hintergrund prinzipieller Überlegungen zur Aufgabenverteilung und bekannter Automationseffekte, bereits existierende Konzepte zur Gestaltung der Interaktion zwischen Fahrer und automatisiertem Fahrzeug vor und ordnet diese ein. Abschließend werden in Kapitel 2.4 Auslegungskriterien und Anforderungen an konventionelle Fahrerarbeitsplätze zusammengestellt und zu erwartende Änderungen bei der Einführung automatisierter Funktionen aus dem Stand der Forschung abgeleitet.

2.1 Ergonomie und Mensch-Maschine-System

Im Verständnis der Ergonomie kann nach Schmidtke (1993b) und Bubb (2015b) ein Mensch, der eine Maschine bedient, als Teil eines Mensch-Maschine-Systems (MMS) modelliert werden. Abbildung 2-1 zeigt die Struktur dieses allgemeinen Modells, welches sich ebenso in (VDI Richtlinie 4006 Blatt 1) findet.

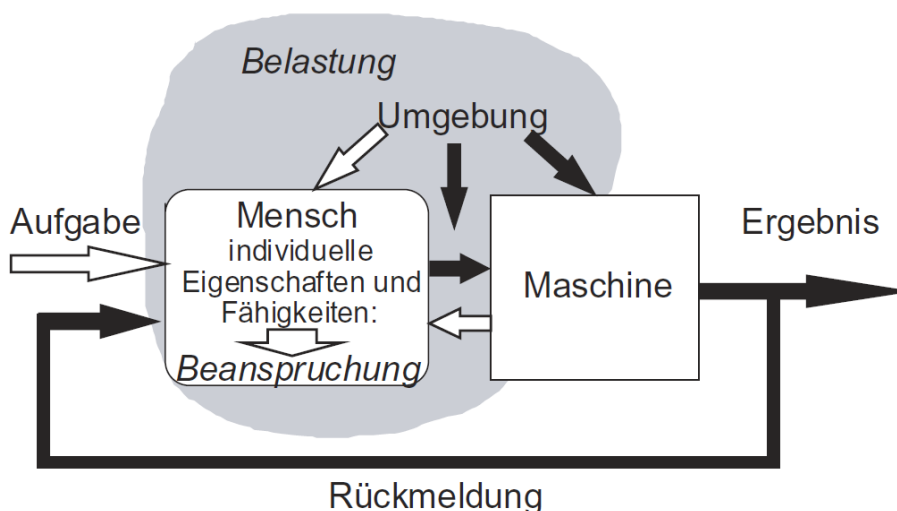


Abbildung 2-1: Strukturschema menschlicher Arbeit aus (VDI Richtlinie 4006 Blatt 1)

Das dargestellte System wird – neben den beiden Systemgliedern Mensch und Maschine – durch die Aufgabe, die durch das System erfüllt werden soll und das Er-

gebnis, also die Aufgabenerfüllung, charakterisiert. Das Ergebnis wird – im Sinne eines geschlossenen Regelkreises – als Rückmeldung zurückgeführt, wodurch der Mensch in der Lage ist, dieses mit der Aufgabenstellung abzugleichen. Weiterhin ist dieses System wie in Bubb (2015b) beschrieben Umgebungs- und Umwelteinflüssen ausgesetzt, welche als externe *Belastung* definiert werden. Diese fasst alle Einflüsse zusammen, die auf den Arbeitsprozess des Menschen wirken können und ist für jeden, sich in dieser Situation befindenden Menschen objektiv gleich. Durch die individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten des einzelnen Menschen ergibt sich auf die Belastung eine individuelle, psychophysiologische Reaktion, welche als *Beanspruchung* bezeichnet wird. (Belastungs-Beanspruchungskonzept, siehe auch Schmidtke (1993a) und Bubb, Vollrath, Reinprecht, Mayer und Körber (2015))

Die Aufgabe der ergonomischen Forschung besteht nach Bubb et al. (2015) demnach darin, das Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten auf eine bestimmte Belastung zu untersuchen, da bei der technischen Gestaltung lediglich die Belastung durch Aufgabenstellung und Arbeitsumgebung beeinflussbar ist.

2.1.1 Menschliche Informationsverarbeitung

Die aus Belastungen der Aufgabe und Umgebung resultierende Beanspruchung lässt sich gemäß Schmidtke (1993a, S. 144) weiter in physische und psychische Reaktionen unterteilen, auch wenn es zwischen den beiden Beanspruchungsformen Abhängigkeiten geben kann. Die physiologischen Komponenten betreffen demnach schwerpunktmäßig die Beanspruchung des Muskel- und Kreislaufsystems, die psychischen Beanspruchungsarten umfassen Symptome, die mit der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen in Zusammenhang stehen. Darunter fallen die Beanspruchung der Sinnesorgane sowie die mentale und die emotionale Beanspruchung.

Der Analyse der Informationswandlung im MMS widmet sich nach Bubb und Schmidtke (1993, S. 305-318), unter Bezug auf Hoyos (1974) die sogenannte Systemergonomie, mit dem Ziel der Optimierung des Informationsflusses zur Erhöhung der Systemleistung und -zuverlässigkeit. Kernpunkt ist die Betrachtung der im Subsystem Mensch ablaufenden Prozesse bei der Verrichtung informatorischer Arbeit, welche zur Entstehung der mentalen Beanspruchung führen. Diesbezüglich existiert eine Vielzahl an Modellvorstellungen. Schlick, Bruder und Luczak (2010, S. 286-312) bieten dazu einen weit reichenden Überblick.

Im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem die darin besprochenen, sogenannten sequentiellen Modelle relevant. Diese beschreiben nach Schlick et al. (2010) den Fluss der Information durch den Organismus – von der Reizwahrnehmung bis zur

Reaktion. Dazu finden sich in der Literatur zahlreiche Modelle, welche den Ablauf in mehreren Schritten beschreiben.

Der grundlegende Ablauf lässt sich an der in Bubb und Schmidtke (1993) dargestellten Modellvorstellung (siehe auch Abbildung 2-2) beschreiben, welche den Informationsfluss in die folgenden drei Teilschritte unterteilt:

- Informationsaufnahme:

Zur Aufnahme von Informationen von außen bedient sich der Mensch seiner fünf Sinne, darunter die optische, die akustische, die kinästhetische (Bewegungs-) und die haptische (Berührungs-) Wahrnehmung. Zusätzlich, jedoch in diesem Zusammenhang von geringerer Bedeutung, die Wahrnehmung von Gerüchen und Wärme oder Kälte. Ebenso finden auf dieser Ebene bereits erste Vorverarbeitungen und Verknüpfungen der aus den einzelnen Kanälen aufgenommenen Informationen zu einem in sich konsistenten Gesamtbild statt.

Beeinflusst wird die Wahrnehmung und Verknüpfung durch Art und Intensität der Reize sowie die auf sie gerichtete Aufmerksamkeit (Vigilanz). Siehe dazu auch Bubb und Schmidtke (1993, S. 334-340) und Schlick et al. (2010, S. 313-360).

- Informationsverarbeitung:

Die Abläufe in der Verarbeitung von Informationen werden nach Bubb und Schmidtke (1993) als „kognitive Gesamtschau der von der Informationsaufnahme vermittelten Umwelteindrücke“ und der Vorbereitung einer darauf möglichst optimal angepassten Reaktion beschrieben. Die Prozesse umfassen nach Schlick et al. (2010, S. 227 und S. 360) das Erkennen der wahrgenommenen Reize, das Erfassen und Vorhersagen der Eigen- und Umweltsituation, die Auswahl von gegebenenfalls erforderlichen Handlungen und die Verknüpfung mit Gedächtnisinhalten. Das Resultat ist ein detailliert zusammengestellter Handlungsentwurf.

- Informationsumsetzung:

Im letzten Schritt werden die vorher generierten Handlungssequenzen allgemein unter Nutzung der Muskulatur in der Realität umgesetzt. Dies resultiert in Bewegungen von Körperteilen oder auch in verbalen Äußerungen.



Abbildung 2-2: Informationsfluss Subsystem Mensch nach Bubb und Schmidtke (1993)

Eine Erweiterung der Vorstellung von strikt sequentiell ablaufenden Prozessen bieten nach Schlick et al. (2010) sogenannte „Kaskadenmodelle“, die von der Annahme geprägt sind, dass mehrere Verarbeitungsprozesse parallel ablaufen können. Eine weitere Implikation solcher parallel laufender Prozesse ist die gleichzeitige Beanspruchung der (begrenzten) mentalen Ressourcen des Menschen. Eine Steuerung der Informationsverarbeitung über die Zuweisung von zur Verfügung stehenden Ressourcen ist in den sogenannten „Kapazitätsmodellen“ abgebildet, welche hier allerdings nicht näher erläutert werden sollen. Für weitere Lektüre sei auf Schlick et al. (2010, S. 291-300), Kahneman (1973) und Wickens und Hollands (2000) verwiesen.

Von ebenfalls nicht rein sequentiell ablaufenden Prozessen gehen auch die sogenannten „Regulationsebenenmodelle“ aus. Nach Schlick et al. (2010, S. 289) wird darin die Informationsverarbeitung auf verschiedenen Abstraktionsebenen betrachtet, womit sich bewusste und unbewusste mentale Prozesse unterscheiden und Effekte individueller Trainiertheitsgrade erklären lassen.

Ein Beispiel dafür ist das bekannte und in der Ingenieurpsychologie häufig genutzte Modell nach Rasmussen (1983), auch SRK-Modell (skills, rules, knowledge), welches mit Hilfe einer Ebenendarstellung einen weiteren Zugang zu den konkreten Abläufen innerhalb des zentralen Schrittes der Informationsverarbeitung bieten kann.

Es geht von drei hierarchischen Ebenen aus, auf denen die Prozesse simultan ablaufen können:

- Das fertigkeitbasierte Verhalten (skill-based behaviour) auf der untersten Ebene ist geprägt durch automatisiert ablaufende Handlungsmuster, in Donges (2012) auch als „Reiz-Reaktions-Mechanismen“ bezeichnet. Sie basieren auf intuitiven oder gelernten Reaktionen auf bestimmte Signale im Strom der wahrgenommenen Merkmale und unterliegen nicht dem bewussten, kontrollierten Handeln. Diese Handlungsmuster stellen gleichzeitig die Grundbausteine für die, auf den darüber liegenden Ebenen entworfenen, Handlungsabläufe dar.

- Im regelbasierten Verhalten (rule-based behaviour) der mittleren Ebene werden aus den wahrgenommenen Merkmalen Informationen als „Zeichen“ für einen bestimmten Zustand der Umgebung extrahiert. Diese können direkt im Sinne einer Wenn-Dann-Verknüpfung mit einer für diese Situation passenden, abgelegten Verhaltensregel assoziiert werden. Das Repertoire der verfügbaren Verhaltensregeln speist sich aus erlernten „Kochrezepten“ oder Instruktionen, sowie aus Erfahrungen mit der Problemlösung in vorangegangenen, gleichen oder ähnlichen Situationen. Gemäß Rasmussen (1983) ist die Trennung zwischen fertigkeitbasiertem und regelbasiertem Verhalten nicht immer eindeutig und hängt von dem Trainiertheitsgrad und der gerichteten Aufmerksamkeit der Person ab. Die Prozesse des regelbasierten Verhaltens kennzeichnen sich dadurch, dass sie Gegenstand bewusster Informationsverarbeitung sind, der Mensch also normalerweise Auskunft darüber geben kann, warum er wie gehandelt hat oder auf welcher Eingangsinformation sein Handeln basiert.
- Wissensbasiertes Verhalten (knowledge-based behaviour) auf der obersten Ebene kommt in unbekanntem Situationen und bei neuartigen Aufgaben zur Anwendung, für die nicht auf bewährte Muster zurückgegriffen werden kann. Die Informationen werden als „Symbole“ erkannt, was nach Rasmussen (1983) alle formal fassbaren Informationen, Variablen, Zusammenhänge und Eigenschaften der umgebenden Welt umfasst. Diese werden genutzt, um im Zusammenhang mit einer konkret formulierten Zielstellung und unter Zuhilfenahme von vorhandenem oder im Zuge der Aufgabenbewältigung noch zu erwerbendem Wissen alternative Handlungsstrategien zu entwerfen und auf ihre Effektivität hin zu bewerten.

Handlungen auf fertigkeitbasierter Ebene sind nach Donges (2012) äußerst effektiv und typisch für routinemäßig wiederkehrende Aufgaben, der kognitive Aufwand ist minimal. Gemäß Bubb et al. (2015, S. 121) liegen die Reaktionszeiten auf dieser Ebene bei wenigen 100ms, wohingegen der Zeithorizont auf regelbasierter Ebene bereits im Bereich von 1-2s liegt. Das Vorgehen, das mit dem höchsten kognitiven Aufwand verbunden ist, läuft auf wissensbasierter Ebene ab. Der Zeitaufwand kann von mehreren Sekunden bis hin zu Tagen und länger betragen.

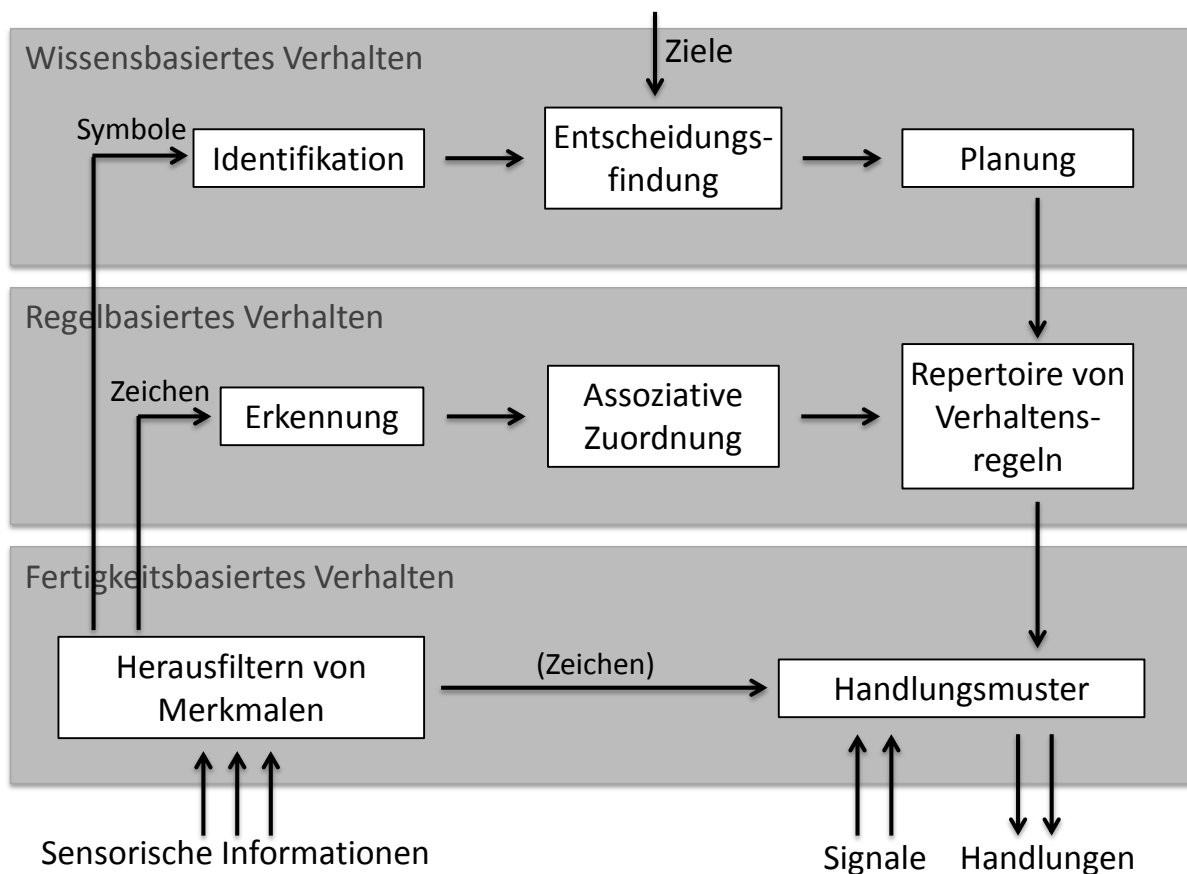


Abbildung 2-3: Regulationsebenenmodell nach Rasmussen basierend auf den Darstellungen in Rasmussen (1983) und Donges (2012)

Ein weiterer interessanter Aspekt ergibt sich in der impliziten Abbildung von Erfahrung und Lerneffekten in diesem Modell. Ist eine Problemstellung neu, erfolgt eine wissensbasierte Herangehensweise. Durch die erfolgreiche Bewältigung oder durch entsprechende Instruktionen können für künftige Situationen Regeln herausgebildet und abgelegt werden, auf die bei wiederholter Exposition zugegriffen wird. Wird im weiteren Fortgang die Tätigkeit weiter geübt und zur Routine, kann sie sogar unbewusst als Fertigkeit ausgeführt werden.

Die Anwendbarkeit und Relevanz dieses Modells für die Betrachtung vom Menschen auszuführender Tätigkeiten im Kontext der Fahrzeugführung wird an einem beliebten Beispiel deutlich: Erfolgen beim Schalten mit einem manuellen Getriebe die ersten Versuche in der Fahrschule noch unter bewusster Kontrolle und mit hohem kognitiven Aufwand, wird daraus mit zunehmender Erfahrung und andauernder Übung eine Grundfertigkeit, über die im normalen Fahrbetrieb nicht mehr nachgedacht wird.

2.1.2 Die Fahraufgabe im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis

Die Anwendung des allgemeinen Regelkreis-Paradigmas auf die Situation der Fahrzeugbedienung bedeutet, dass ein Wirkgefüge, bestehend aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt betrachtet wird. In der ergonomischen Gestaltung der Interaktion zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt ist die Analyse der Fahraufgabe essentiell (Geiser, 1985).

Im Rahmen der allgemeinen Betrachtung der Tätigkeiten, welche von einem Fahrer während einer Fahrt ausgeführt werden, können nach Bubb (2002) und Bubb (2003a) basierend auf einem Vorschlag von Geiser (1985) inhaltlich drei Kategorien abgeleitet werden:

Demnach zählen alle Tätigkeiten, die dem eigentlichen Fahrprozess, also dem Bewegen des Fahrzeugs durch die Umgebung, zuzuordnen sind, zu den *primären Aufgaben*. Tätigkeiten, die in direkter Abhängigkeit von der primären Fahraufgabe verkehrs- oder umweltbedingt auszuführen sind, werden als *sekundäre Aufgaben* bezeichnet. Diese teilen sich nach Bubb (2003a) in aktive und reaktive Aufgaben, je nachdem ob der Fahrer dadurch aktiv mit seiner Umwelt interagiert (z.B. Hupen, Blinken), oder auf Umwelteinflüsse reagiert, beispielsweise durch Betätigen des Scheibenwischers. Weiter werden in dieser Kategorisierung Tätigkeiten, welche nicht im Zusammenhang mit der unmittelbaren Fahraufgabe stehen – wie das Verstellen des Radios oder die Unterhaltung mit Mitfahrern – als *tertiäre Aufgaben* klassifiziert.

Den primären Aufgaben kommt dabei nach Geiser (1985) die höchste Priorität zu, da sie den eigentlichen Fahrprozess abbilden. Daher müssen sich in der manuellen Fahrzeugführung alle Systeme und durch den Fahrer bedienbaren Funktionen daran messen lassen, wie gut sie die primäre Tätigkeit des Fahrers unterstützen oder wie sehr sie diese beeinflussen, siehe dazu auch Kapitel 2.4.1.

Der Fahrprozess selbst wird von Donges (1982), unter Bezug auf Bernotat (1970) und Bernotat (1964) als hierarchisches Modell mit drei Ebenen beschrieben und als Regelkreis aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt dargestellt, siehe Abbildung 2-4.

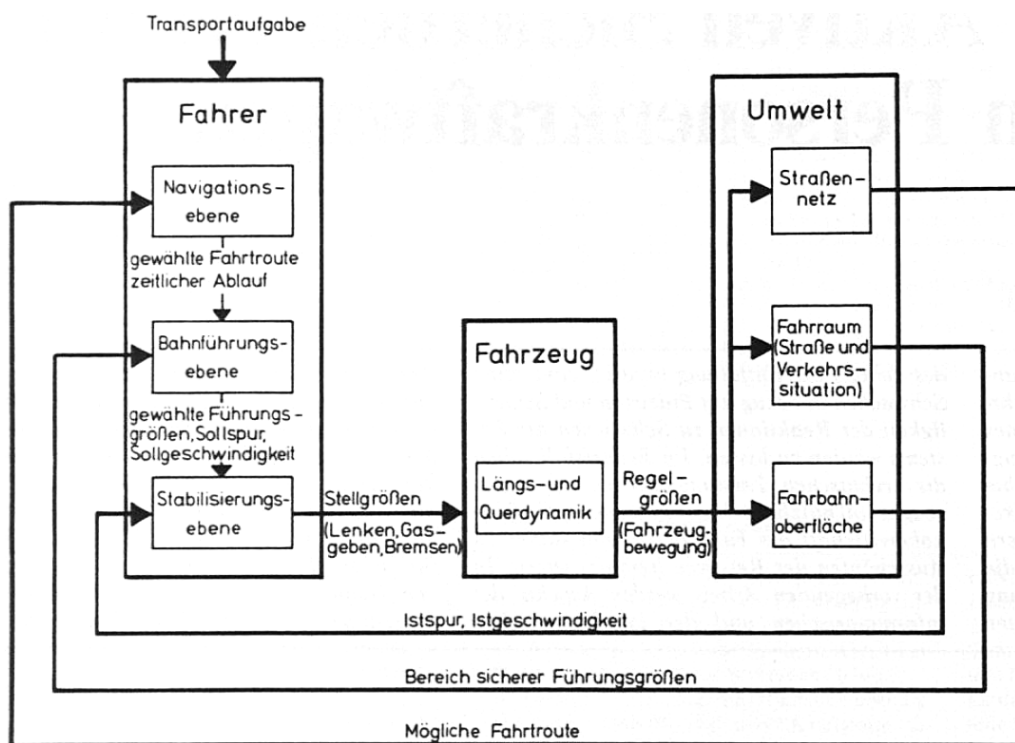


Abbildung 2-4: Drei-Ebenen-Modell aus Donges (1982)

Auf der *Navigationsebene* besteht die Aufgabe demnach „in der Auswahl einer für den geplanten Transportvorgang geeigneten Fahrtroute aus dem zur Verfügung stehenden Straßennetz und in der Abschätzung des zeitlichen Fahrtablaufs“ (Donges, 1982).

Diese Routen- und Ablaufinformationen werden auf der *Bahnführungsebene* mit den statischen und dynamischen Gegebenheiten der Umwelt abgeglichen und in Sollvorgaben für die Fahrzeugbewegung umgesetzt. Konkret bedeutet dies, innerhalb eines, sich aus Regeln, baulichen Begrenzungen und anderen Verkehrsteilnehmern definierenden, freien Bewegungsraumes einen sicheren und fahrdynamisch erreichbaren Zeit-Ort-Verlauf für das Fahrzeug festzulegen. Notwendige Voraussetzung für eine sichere Bewältigung der Aufgaben auf dieser Ebene ist eine möglichst weit gehende Vollständigkeit der Informationen über den umgebenden Verkehrsraum.

Auf der unterlagerten *Stabilisierungsebene* besteht die Aufgabe nach der Definition von Donges (1982) darin, die vorgegebenen Führungsgrößen für Längs- und Querbewegung „mit annehmbarer Genauigkeit“ einzuregeln.

Die Zusammenführung der diskutierten Modellvorstellungen ergibt das in Abbildung 2-5 dargestellte Bild der zahlreichen und vielfältigen Aufgaben im komplexen Wirkgefüge zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt.

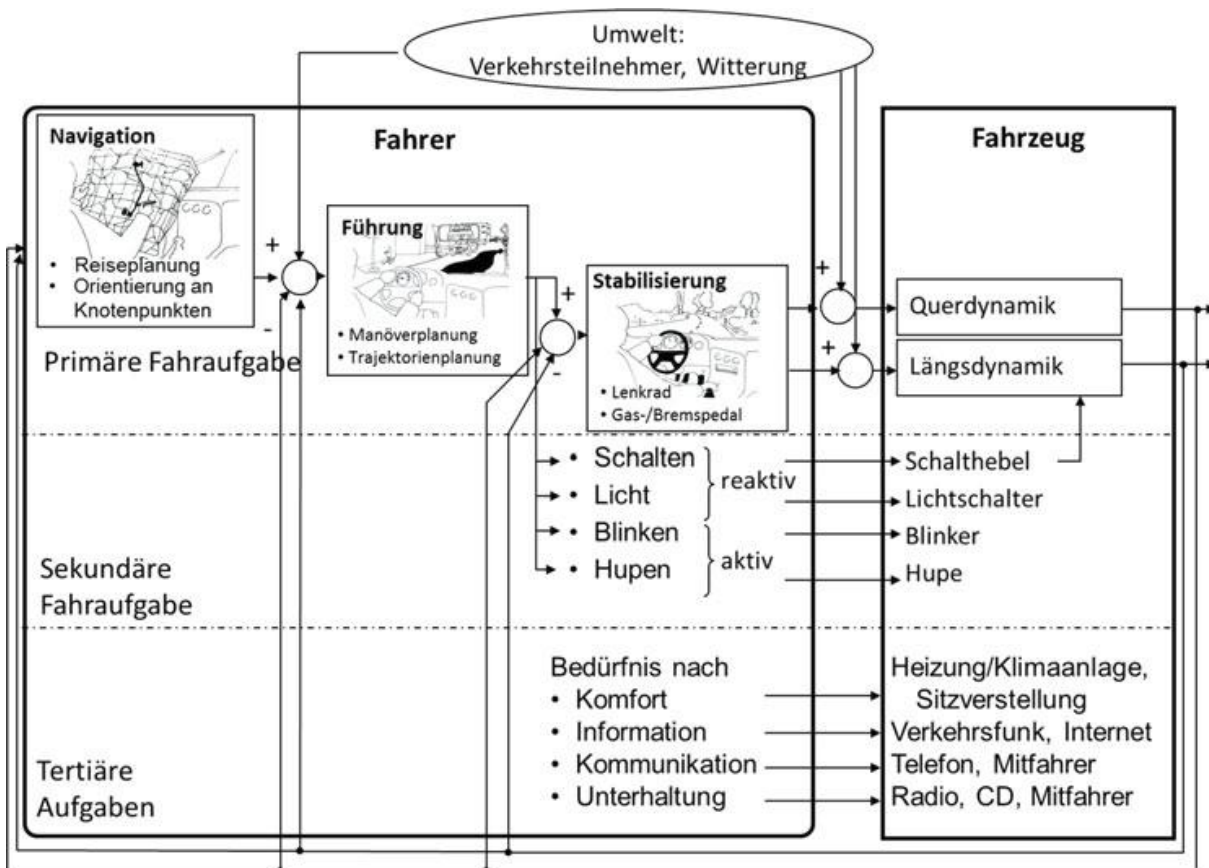


Abbildung 2-5: Zusammengesetztes Modell des Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises aus Bubb (2015a)

Die dargestellten Aufgaben der Bahnführungs- und Stabilisierungsebene sind nach Donges (1982) während des Fahrvorgangs kontinuierlich auszuführen und sowohl für die Bewältigung normaler als auch für die Entstehung und Bewältigung unvorhergesehener, kritischer Situationen verantwortlich. Die Komplexität der Aufgabenstellung nimmt nach Reichart und Haller (1995) von der Navigations- über die Bahnführungs- bis zur Stabilisierungsebene ab. Die Frequenz der erforderlichen Tätigkeiten nimmt hingegen in gleicher Reihenfolge zu, siehe dazu auch Donges (2012, S. 19).

Im Verlauf einer normalen, störungsfreien Fahrt werden die anfallenden Aufgaben durch einen erfahrenen Fahrer größtenteils auf der regel- und fertigkeitbasierten Ebene des SRK-Modells nach Rasmussen (1983) und damit unter vergleichsweise geringer kognitiver Beanspruchung ablaufen. Eine mögliche Zuordnung zu den Ebenen bildet Donges (2012) ab.

Das unerwartete Eintreten kritischer Bedingungen hingegen zwingt den Fahrer, wie in Donges (2012) ausgeführt, jedoch plötzlich auf die anspruchsvollen Ebenen des regel- oder gar wissensbasierten Verhaltens, wodurch die Antizipations- und Reaktionszeiten für die erforderlichen Handlungen auf Stabilisierungs- und zum Teil auch auf Führungsebene zu kurz werden können.

2.2 Fahrerassistenz und Automation

Vor dem Hintergrund oft zitierter Unfallstatistiken (siehe beispielsweise Gelau, Gasser und Seeck (2012) oder Winkle (2015)), nach denen 90-95% der Unfälle auf menschliche Unzulänglichkeiten zurückzuführen sind und dem in Kapitel 2.1 dargestellten Wirkgefüge aus Fahrer, Fahrzeug und Umfeld mit vielfältigen und oftmals komplexen Aufgaben für den Fahrer, erscheint es sinnvoll den Fahrer zu unterstützen oder gar durch technische Systeme zu ersetzen. Dies gilt insbesondere dort, wo der Mensch aufgrund seiner Fähigkeiten weniger für die Aufgabenbearbeitung geeignet ist oder sie ihm auf Grund des zur Verfügung stehenden Zeitbudgets sogar unmöglich ist, wie am Ende des vorigen Kapitels argumentiert (siehe auch Reif (2010, S. 104) oder Donges (2012, S. 19)). Neben dem Sicherheitsaspekt ist die Erhöhung des Komforts die zweite Triebfeder der Entwicklung technischer Unterstützungssysteme, wie beispielsweise in Wallentowitz und Reif (2006, S. 424-426), Reif (2010, S. 104-108), Braess und Seiffert (2013, 929-931, 945) oder Bubb und Bengler (2015) dargestellt.

2.2.1 Begriffseingrenzung und Definition

Im Bemühen um eine Strukturierung und Einordnung der zahlreichen möglichen Systeme, die den Fahrer unterstützen oder gar Teile der Fahraufgabe übernehmen können, ist eine Vielzahl an Ansätzen entstanden, die die Vielschichtigkeit der Sichtweisen auf das Themengebiet widerspiegeln. So finden sich Definitionen, die sich an der Art der vom System genutzten Informationen orientieren (Maurer (2012)), oder die Systeme „Funktionsgetrieben“ (Stiller (2005)), nach „Anwendung“ (Braess und Seiffert (2011, 2013)), oder an Hand des „Wirkungsbereichs“ bzw. der „Entfernung des Wirkfeldes“ (Wallentowitz und Reif (2006), Reif (2010)) unterscheiden. Außerhalb dieser eher technischen Sichtweisen existieren Klassifizierungen aus „Handlungsperspektive“ (Wandke, Wetzstein und Polkehn (2005)), nach dem Grad der Unterstützung und der Fahraufgabe (z.B. Jentsch (2014), Knapp, Neumann, Brockmann, Walz und Winkle (2009)) oder nach „Interventionstiefe“ (Bubb und Bengler (2015) unter Bezug auf Maier (2014)).

Zur Eingrenzung der für diese Arbeit relevanten Systeme wird dem Kategorisierungsvorschlag von Gasser, Seeck und Smith (2015) gefolgt. Darin wird eine Einteilung in drei Kategorien auf Basis der „Wirkweise“ vorgenommen, welche eine sinnvolle Differenzierung der eingreifenden Systeme möglich macht und den Rahmen zur Betrachtung der Komfortsysteme öffnet:

- **Kategorie A** beinhaltet informierende und warnende Systeme, welche den Fahrer in der Informationsaufnahme unterstützen. Beispielhaft können hier Systeme wie eine Verkehrszeichenerkennung oder ein Totwinkel-Assistent genannt werden.
- **Kategorie B** umfasst kontinuierlich wirkende, automatisierende Funktionen. Diese können über längere Zeiträume oder Fahrtabschnitte direkten Einfluss auf die Fahrzeugführung nehmen. Systeme dieser Kategorie werden im Folgenden näher betrachtet.
- **Kategorie C** beschreibt eingreifende Notfallsysteme, die in plötzlich auftretenden Notsituationen Fahraufgaben schneller und präziser durchführen können als der Mensch. Aufgrund der prinzipiellen Überlegenheit sind diese Systeme vom Menschen nicht übersteuerbar. Beispiele hierfür sind ABS und ESP.

Die im Rahmen dieser Arbeit relevanten automatisierten Systeme sind demnach in Bezug auf ihre Wirkweise der Kategorie B zuzuordnen. Systeme aus den anderen Kategorien können, müssen aber nicht parallel aktiv oder in Bereitschaft sein.

Eine nähere Betrachtung der in Kategorie B zusammengefassten Systeme erfolgte im Rahmen der Projektgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ unter Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Das Ergebnis ist eine Einteilung in diskrete Stufen (Gasser, 2012), welche in Tabelle A–1 in Anhang A.1.1 dargestellt ist und sich nach ihrem Erscheinen im deutschsprachigen Raum etabliert hat.

Aufbauend auf dieser Unterteilung sind national und international weitere Definitionen entstanden, welche – jeweils unter Kenntnis der vorangegangenen Arbeiten – Anpassungen, Erweiterungen oder Begriffsänderungen eingeführt haben. In der Reihenfolge des Erscheinens: NHTSA (2013a), SAE J3016 (SAE J3016) und VDA (2015). Die SAE J3016 wurde im Jahr 2016 nochmal in einer revidierten und um zahlreiche, hilfreiche Definitionen erweiterten Fassung veröffentlicht.

Die Adaption des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) fasst den finalen Stand in der in Abbildung 2-6 gezeigten Übersicht zusammen:

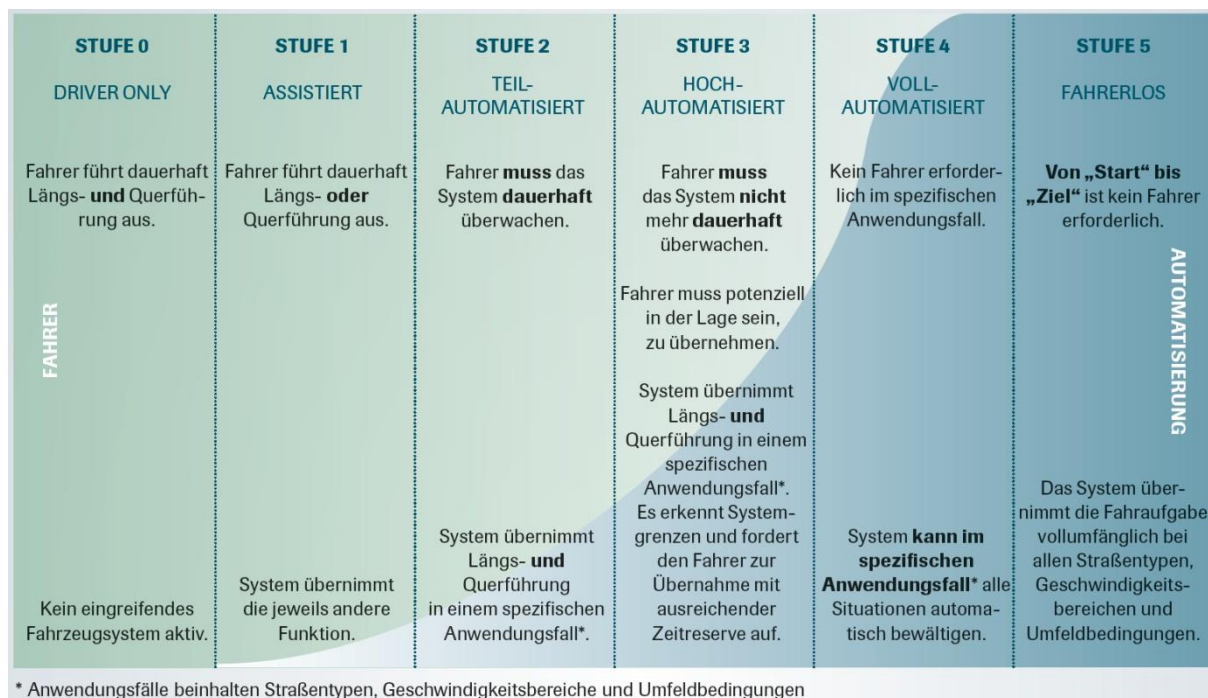


Abbildung 2-6: Darstellung der Automationsstufen aus VDA (2015)

Daraus gehen die wesentlichen Charakteristiken und Unterscheidungsmerkmale hervor, von denen an dieser Stelle nochmal die Wichtigsten hervorgehoben werden sollen:

Der Übergang zwischen Teil- und Hochautomatisiert ist gekennzeichnet durch den Wegfall des Zwanges zur dauerhaften Überwachung des Systems durch den Fahrer.

Der Übergang zwischen Hoch- und Vollautomation ist gekennzeichnet durch den Wegfall des Fahrers als Rückfallebene, als welche er in der Hochautomation mit ausreichender Zeitreserve übernehmen muss.

Die Differenzierung zwischen Stufe 4 und Stufe 5 ist gekennzeichnet durch den Wegfall der Beschränkung des Systems auf spezifische Anwendungsfälle. „Level 5-Fahrzeuge“ werden heute in der Diskussion häufig als Synonym für Fahrzeuge genutzt, die – weil sie alle Situationen automatisiert beherrschen – keine konventionellen Bedienelemente mehr benötigen. Die Bezeichnung der Stufe 5 als „Fahrerlos“ kann vor diesem Hintergrund etwas irreführend sein, da auch automatisierte Fahrzeuge der niedrigeren Stufen innerhalb der Anwendungsfälle Fahrzustände ohne Fahrer im Fahrzeug aufweisen können. Beispiele dafür sind unter Anderem in Park-szenarien zu finden.

Im internationalen Austausch hat sich die Kommunikation nach der Nomenklatur nach (SAE J3016) beziehungsweise über die Nennung der Stufe bzw. des Levels etabliert, da dies Verwirrungen bezüglich der übersetzten Begrifflichkeiten vermeidet. Im Rahmen dieser Arbeit wird neben den Stufen auch die deutsche Begrifflichkeit von BASt und VDA verwendet.

2.2.2 Automation aus technischer Sicht

Die Entwicklung von automatisierten Funktionen im Fahrzeug wird häufig als konsequenter Schritt in der Weiterentwicklung von fortschrittlichen Assistenzsystemen mit Umfeldwahrnehmung (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS, siehe auch Maurer (2012)) gesehen. Ausgehend von grundsätzlich ähnlichen Hardwarekomponenten ist jedoch eine weitreichende Anpassung der Systemstruktur notwendig, um die komplexen Aufgaben zu bewältigen. Eine grundlegende, grobe Systemstruktur, wie sie in vielen Projekten geläufig ist (z.B. Bartels, Berger, Krahn und Rumpé (2009), Ardelt, Coester und Kaempchen (2012), Hohm, Lotz, Fochler, Lueke und Winner (2014), Dietmayer (2015)), ist in Abbildung 2-7 dargestellt.

An dieser Stelle soll nur beispielhaft die prinzipielle Funktionsweise der üblicherweise vorliegenden Verarbeitungskette von der Aufnahme der Informationen aus der Umwelt bis zur Einregelung der Stellgrößen für Quer- und Längsdynamik aufgezeigt werden. Für Details zu konkreten Umsetzungen sei auf die jeweiligen Quellen verwiesen.

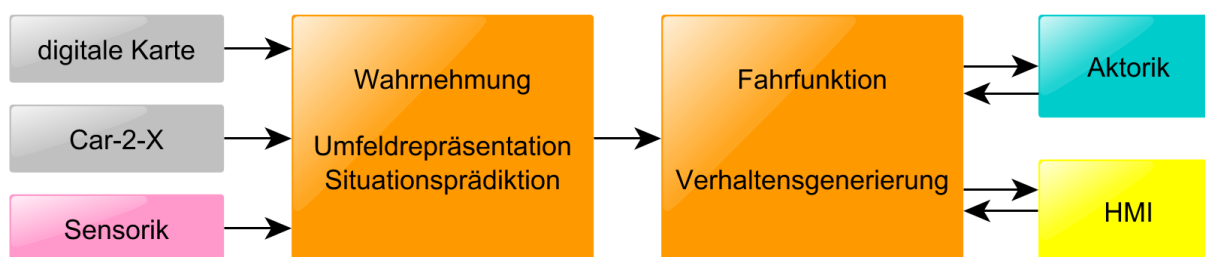


Abbildung 2-7: Typische technische Systemstruktur automatisierter Systeme

Grundlage moderner Assistenzsysteme und automatisierter Funktionen sind neben Informationen über den Zustand des eigenen Fahrzeugs vor allem Informationen über die Fahrzeugumgebung, welche entweder als a priori Wissen in digitalen Karten vorliegt (siehe z.B. Behrens, Kleine-Besten, Pöchmüller und Engelsberg (2015)), aus der Vernetzung mit anderen Fahrzeugen und Infrastruktur (Car-2-X, siehe z.B. Fuchs, Hofmann, Löhr und Schaaf (2015)) gewonnen oder fortlaufend durch Sensoren erfasst wird. Typischerweise werden Radar, Kamera, Lidar (Laser) oder Ultraschallsensoren eingesetzt. Für eine erste Übersicht über die Technologien sei auf

Winner, Hakuli, Lotz und Singer (2015, Kap. IV) verwiesen. Da jede Sensortechnik charakteristische Stärken und Schwächen aufweist, werden typischerweise Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien kombiniert, um eine zuverlässige Detektion rund um das Fahrzeug zu erreichen. Kriterien sind dabei nach Darms (2015) vor allem Redundanz, Komplementarität, Geschwindigkeit und Kosten.

Im Wahrnehmungsmodul wird die Basis für die Realisierung der eigentlichen Fahrfunktion geschaffen. Hierzu werden die Informationen der Sensoren und digitalen Karten in einem Umfeldmodell fusioniert, welches alle relevanten Informationen aus dem näheren Fahrzeugumfeld zu Infrastruktur, anderen Verkehrsteilnehmern und befahrbarem Freiraum enthält. Darauf aufbauend wird die vorliegende Situation interpretiert, um diese zu bewerten und ihren Zustand in der nahen Zukunft mit angemessener Wahrscheinlichkeit zu präzisieren. Für weitere Informationen dazu sei auf Dietmayer, Nuß und Reuter (2015) oder Hohm et al. (2014) verwiesen.

Die Fahrfunktion an sich legt das Verhalten des automatisierten Fahrzeugs in der Umgebung fest. Ansätze zur Realisierung (z.B. Ardelt et al. (2012), Hohm et al. (2014) oder Matthaei et al. (2015)) sind dabei häufig hierarchisch aufgebaut und enthalten Analogien zu dem in Kapitel 2.1.2 vorgestellten Ebenenmodell der Fahraufgabe: Auf Basis einer strategischen Planung der gesamten Mission werden im Verlauf der Fahrt sinnvolle oder notwendige Manöverentscheidungen getroffen. Unter Zuhilfenahme des ständig aktualisierten Wissens über die Fahrsituation aus dem Umfeldmodell, wird die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Manöver als Soll-Trajektorie geplant. In der untersten Ebene erfolgt die Vorgabe konkreter Stellgrößen zur Einregelung der Trajektorie.

Über die angeschlossene Aktorik wird schließlich auf die Längs- und Querdynamik des Fahrzeugs eingewirkt. Für die Beschreibung möglicher Komponenten sei auf Kapitel VI in Winner et al. (2015) verwiesen.

Das HMI bildet die Schnittstelle zum Nutzer und bietet die Möglichkeit Rückmeldungen an den Fahrer zu geben oder Eingaben entgegenzunehmen. Die Gestaltung dieses Blockes ist ein Kernpunkt dieser Arbeit. Theoretische Überlegungen und bereits existierende Konzepte werden in Kapitel 2.3 beschrieben.

2.2.3 Automation aus Nutzersicht

Wie bereits in Kapitel 1 dargestellt, kommt das Thema automatisiertes Fahren oder autonome Fahrzeuge in den letzten Jahren verstärkt in immer weiteren Teilen der Öffentlichkeit an. Die Kenntnis und das Verständnis der daraus in der Gesellschaft und bei potentiellen, künftigen Nutzern entstehenden Sicht auf die Technologie und

die Weiterentwicklung der Mobilität rückt dabei nach Fraedrich und Lenz (2015) immer weiter in den Fokus: „Ausgehend von einer solchen individuellen wie auch gesellschaftlichen Nutzerperspektive stellt sich damit die Frage nach der Akzeptanz von autonomen Fahrzeugen: Inwieweit ist die oder der Einzelne bereit, ein vollautomatisiertes Fahrzeug zu nutzen, und inwieweit sind wir als Gesellschaft bereit, ein Verkehrssystem zu akzeptieren, in dem vollautomatisierte Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sind?“ (Fraedrich & Lenz, 2015)

2.2.3.1 Der Akzeptanzbegriff im Kontext automatisierten Fahrens

Die Ziele der Forschung zur Akzeptanz einer konkreten Technologie bestehen nach Fraedrich und Lenz (2015) darin, das jeweilige Akzeptanzphänomen besser zu verstehen, als auch die Technologie derart zu entwickeln und zu gestalten, dass Akzeptanz eintritt.

Die Formulierung einer eindeutigen Begriffsdefinition der Akzeptanz ist schwierig, da bisherige Ansätze immer stark vom jeweiligen Untersuchungsschwerpunkt abhängig sind, siehe auch Schade (2005), Arndt (2011) oder Trübswetter (2015). Gängige Definitionen bewegen sich zwischen der Betonung einer Einstellungsebene (beispielsweise Hilbig (1984)), die eine mehr oder weniger zustimmende Einstellung gegenüber einem Akzeptanzobjekt beschreibt und der Annahme, dass sich Akzeptanz auf einer Verhaltens- oder Handlungsebene (beispielsweise Kollmann (1999) oder Arndt (2011)) manifestiert, also eine tatsächliche Annahme durch Kauf und / oder Nutzung des Gegenstands geschehen muss, damit von Akzeptanz gesprochen werden kann.

Da an dieser Stelle nicht weiter in die Diskussion der Begrifflichkeiten und Akzeptanzmodelle eingestiegen werden soll, sei für einen guten Überblick auf Schäfer und Keppler (2013) und Trübswetter (2015) verwiesen.

Im Hinblick auf das Thema automatisiertes Fahren lässt sich derzeit auf Grund der mangelnden Verfügbarkeit am Markt lediglich die Akzeptanz auf Einstellungsebene erfassen, in Schade (1999) unter Bezug auf Lucke (1995) auch als „Akzeptabilität“ bezeichnet. Dabei muss für alle derzeit verfügbaren Umfragen und Erhebungen davon ausgegangen werden, dass die Systeme nur aus Beschreibungen oder über die Medien bekannt sind, also keine realen Erfahrungen im Umgang mit automatisierten Fahrzeugen bestehen (vgl. Fraedrich und Lenz (2015, S. 647)).

2.2.3.2 Nutzererwartungen an automatisiertes Fahren

Der Frage, welche Einstellungen und Erwartungen künftige Nutzer oder die Gesellschaft bezogen auf Fahrzeuge mit automatisierenden Systemen haben, gehen un-

terschiedlichste Interessengruppen aus Industrie, Markt- und Meinungsforschung oder Soziologie nach, da weitreichende Auswirkungen auf die Mobilität und den Lebensstil der Menschen erwartet werden. Daraus resultiert eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Studien, die das Thema national und international aufgreifen.

In den folgenden Abschnitten soll eine Übersicht über die in den Erhebungen auftauchenden Kernthemen und eine kurze Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse gegeben werden. Für Details sei auf die jeweiligen Quellen verwiesen.

Ein erster Schwerpunkt ergibt sich in der generellen Einstellung zu Betrieb, Nutzung und Besitz automatisierter Fahrzeuge. Die erste Studie von AutoScout24 GmbH (2011) sieht mit 50,2% noch einen größeren Teil der befragten deutschen Autofahrer skeptisch: Nur gut 17% können sich die Nutzung uneingeschränkt vorstellen, knapp 30% möchten die Wahl haben, ob sie das System nutzen. In den folgenden Jahren zeigt sich in Veröffentlichungen von Analysen zu deutschen Autofahrern (Robert Bosch GmbH (2012), Fuß (2013), Sommer (2013), Marberger, Bräuchle, Mielenz und Führer (2015), Lang et al. (2016), Deloitte (2016), ADAC Markt- und Meinungsforschung (2016)) ein ausgewogeneres bis positives Bild, bezogen auf deutsche Nutzer: Ungefähr die Hälfte der Befragten äußert positive Einstellungen, nur circa ein Drittel steht automatisierten Fahrzeugen mit ablehnender Haltung gegenüber.

Auch die Untersuchungen der AutoScout24 GmbH (2012, 2013, 2015), die ab dem Jahrgang 2012 mehrere europäische Länder umfassen, weisen über die Jahre weitgehend stabile Zustimmung-zu-Ablehnung Verhältnisse von ungefähr 2/3 zu 1/3 auf. Ein wichtiger Faktor scheint aber auch hier die genaue Ausprägung des Systems darzustellen: Zwei Drittel der Zustimmenden (also 35-45% aller Befragten) ist es wichtig die Wahl zu haben und selbst bestimmen zu können, ob die Automation genutzt werden soll. Vor diesem Hintergrund passt auch die – auf den ersten Blick im Widerspruch zu den obigen Ergebnissen stehende – Veröffentlichung von Tennant, Howard, Franks, Bauer und Stares (2016) plausibel ins Bild. Darin werden 26 Prozent positive gegenüber 44 Prozent negativer Gefühle bezüglich einer Nutzung berichtet – allerdings bezogen auf „autonome Fahrzeuge“, denen ebendiese Wahlmöglichkeit abgesprochen werden könnte.

Im weltweiten Kontext bewegen sich die Studien von Sommer (2013), Schoettle und Sivak (2014), Fraedrich und Lenz (2015) und Lang et al. (2016). Deren Analysen in Ländern wie China, USA, Japan, Indien und weiteren Staaten ermöglichen den direkten internationalen Vergleich zwischen den jeweils betrachteten Ländern, worin sich beispielsweise China als Land mit den höchsten Zustimmungsraten und wenigsten Vorbehalten abzeichnet.

Hinter diesem, unterm Strich tendenziell positiven Gesamtbild, identifizieren nahezu alle oben angeführten Veröffentlichungen, die sich detaillierter mit dem Zustandekommen des Meinungsbildes auseinandersetzen, einen Zwiespalt bei den Befragten oder in den analysierten Diskussionen: Den wahrgenommenen Vorteilen solcher Fahrzeuge stehen Bedenken, hauptsächlich bezüglich der Technologie gegenüber.

Die häufigsten Vorbehalte lassen sich dem Bereich Sicherheit der Fahrfunktion und Bedenken bezüglich der Zuverlässigkeit und möglicher Fehlfunktionen zuordnen. In nahezu allen Studien findet sich mindestens einer dieser Punkte unter den meistgenannten Vorbehalten. Weitere Top-Nennungen beziehen sich auf die Themen Datensicherheit/Datenschutz, fehlende Kontrolle und Abhängigkeit vom technischen System, fehlendes Vertrauen (auch im Hinblick auf Entscheidungen und sinnvolles Verhalten im Verkehr), Verlust des Fahrspaßes sowie ungeklärte Rechts-/ Haftungsfragen. Tabelle A–2 in Anhang A.1 bietet einen Überblick über die Nennungen in den einzelnen Quellen.

Dem gegenüber stehen die wahrgenommenen Vorteile von automatisierten Fahrzeugen, siehe auch Tabelle A–3 in Anhang A.1. Interessanterweise beziehen sich viele der positiven Erwartungen auf das Verkehrssystem im Ganzen und die Nennungen hängen mit dem Ersatz des Menschen und der durch ihn verursachten Fehler zusammen: Erhöhung der Verkehrssicherheit allgemein, weniger Unfälle, verbesserter Verkehrsfluss und Reduktion von Verbrauch und Emissionen. Damit verbunden zählen zum Teil auch geringere Versicherungsprämien zu den Erwartungen. Ähnliche Eigenschaften werden auch heute schon in Serie befindlichen Fahrerassistenzsystemen zugeschrieben, wie ein Blick auf einschlägige Veröffentlichungen zeigt (z.B. Europäische Kommission (2006), Maier (2014), Trübswetter (2015), AutoScout24 GmbH (2012, 2015)). In diesen Erhebungen zu Erwartungen, wahrgenommenen Vorteilen und Kaufkriterien sind ebenfalls die Nennungen zu Sicherheitsgewinn und Erhöhung der Effizienz durch die Assistenzsysteme führend. Dies kann als Hinweis darauf interpretiert werden, dass automatisierte Systeme, in Bezug auf die Kompensation menschlicher Unzulänglichkeiten im Verkehr, als den Assistenzsystemen ähnlich oder als deren Erweiterung bzw. Weiterentwicklung eingeordnet werden.

Bezogen auf die automatisierten Systeme lässt sich ein zweiter Bereich häufiger Nennungen mit positiver Konnotation im weitesten Sinne dem persönlichen Komfort zuordnen: Neben der Komforterrhöhung an sich, wird die Entlastung in bestimmten Fahrsituationen, wie Parkplatzsuche, Einparken oder Staufahrt genannt, zudem spielt in sehr vielen Studien die Nutzung der gewonnenen Zeit eine große Rolle.

Welche Tätigkeiten für die Nutzung der neu zur Verfügung stehenden Zeit gewünscht sind, wird in einigen Studien direkt abgefragt, Tabelle A–4 in Anhang A.1 bietet einen Überblick dazu. Eine direkte Vergleichbarkeit ist auf Grund der Unterschiede in den vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten oder der vorgenommenen Clusterung freier Antwortmöglichkeiten schwierig.

Generell zeichnet sich ab, dass bereits heute ausgeführte Tätigkeiten wie Radio oder Musik hören, Unterhaltungen mit Mitfahrern oder auch Telefonieren zu den häufigsten Nennungen zählen. Hinzu kommen stärker ablenkende Tätigkeiten, die die digitale Kommunikation (E-Mail, Social Media, Videotelefonie, ...) und die Nutzung analoger und digitaler (Online-) Medien betreffen (TV/Video, Internet, Online-Shopping, Zeitungen, Bücher,...). Für diese, häufig smartphonebasierten Funktionen, lässt sich nach Marberger et al. (2015) zudem ein steigender Trend mit zunehmendem Automationsgrad ausmachen. Weitere Nennungen beziehen sich auf die Nutzung der Zeit für die Erledigung arbeitsbezogener Tätigkeiten, sowie für Essen und Trinken. Ebenfalls in den Nennungen vorhanden, wenn auch mit vergleichsweise geringer Relevanz, ist „schlafen“.

Obwohl auf Grund der Fragestellungen häufig nicht in den Antworten vorhanden, kann die – bezogen auf zusätzliche Angebote – „beschäftigungslose“ Fahrt, also „Nichtstun“, „aus dem Fenster schauen“ oder „das Verkehrsgeschehen beobachten“ ebenfalls als relevante Anwendung aufgenommen werden. Die Untersuchungen von Schoettle und Sivak (2014) zeigen das Überwachen des Verkehrsgeschehens gar als häufigste Antwort in allen untersuchten Ländern, in diesem Fall bezogen auf ein Level-4-System.

Die häufige Nennung bereits heute ausgeführter Tätigkeiten erscheint vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2.3.1 erwähnten, fehlenden Erfahrung mit automatisierten Systemen verständlich. Im Umkehrschluss kann eine ergänzende Möglichkeit zur Ermittlung potentiell relevanter Tätigkeiten durch die Analyse von Erkenntnissen zu Nebentätigkeiten im manuellen Fahren (z.B. Stutts et al. (2003)) oder aus anderen Reisekontexten, wie Bus und Bahn gesehen werden. Eine Zusammenstellung einiger Studien dazu ist in Hecht (2014) zu finden.

Abschließend sollen noch konkrete Wünsche oder Vorstellungen betrachtet werden, welche die Bedienung der Automation betreffen. In der Ambivalenz zwischen wahrgenommenen Vorteilen und Bedenken gegenüber der Technologie lässt sich praktisch durchgehend der Wunsch beobachten, selbst „Herr der Lage“ zu bleiben und jederzeit das System beherrschen zu können:

Gemäß der Fahrerassistenzstudie der Robert Bosch GmbH (2012) ist es mehr als 50% der Probanden wichtig, dass sie das Auto weiterhin selbständig bedienen und die Automation jederzeit deaktivieren können. In der Expertenbefragung in Sommer (2013) geht die überwiegende Mehrheit der Befragten davon aus, dass die Nutzer in der Lage sein müssen frei zu entscheiden, ob sie das System aktivieren und dass bei Bedarf jederzeit eine Übersteuerung möglich sein muss, wenn sich das System am Markt durchsetzen soll.

Nach der Erhebung von Deloitte (2016) möchten 90% der Befragten jederzeit während der Fahrt eingreifen und die Kontrolle übernehmen können. Die Befragung von Tennant et al. (2016) zeigt, dass 70% der Nutzer der Meinung sind, dass der Mensch die Kontrolle über sein Fahrzeug haben sollte, 80% denken, dass das automatisierte Fahrzeug ein Lenkrad haben soll und 82% würden bevorzugen, auch während der automatisierten Fahrt über die Straße und das Umfeld Bescheid zu wissen.

2.3 Der Mensch im Zusammenspiel mit Automation

In allgemeinen Definitionen des Begriffs „Automatisierung“, zum Beispiel im Gabler Wirtschaftslexikon (Voigt, 2016), wird dieser als Übertrag von Funktionen oder Aufgaben vom Menschen auf künstliche Systeme, also Maschinen, verstanden. Erstmals in den 1950er Jahren etabliert, bezieht sich der Begriff heute, wie in Sheridan und Parasuraman (2005) dargestellt, auf weit mehr Bereiche, als auf die ursprüngliche Domäne der Produktion und Fertigung. Durch die sich rasant weiterentwickelnden informationstechnischen Systeme wird es möglich, nicht nur physische Arbeitsaufgaben zu automatisieren, sondern auch mentale Arbeitsleistungen des Menschen durch Maschinen abzubilden: Computer können heute mit Sensoren Informationen aufnehmen, diese integrieren, bewerten und darauf aufbauend Aktionsschritte einleiten.

Durch den Einsatz automatisierter Systeme lassen sich nach einer Zusammenstellung von Spring (2011) ökonomische Vorteile, eine Verbesserung der Systemleistung, eine Reduktion der Arbeitsbelastung des Menschen und eine Erhöhung der Sicherheit erzielen. Auf der anderen Seite werden jedoch gerade durch den Einsatz der Automation und dem damit veränderten Aufgabenbild neue Anforderungen an den Menschen gestellt (Parasuraman & Riley, 1997). Bainbridge (1983) bringt dies mit dem bekannten Statement zu den „Ironies of automation“ auf den Punkt: „[...] the more advanced a control system is, so the more crucial may be the contribution of the human operator“. Wiener und Curry (1980) argumentieren mit Blick auf die automatisierenden Systeme in der Flugzeugführung, dass die Frage weniger ist, ob Funk-

tionen automatisiert werden *können*, sondern ob sie, mit Blick auf den Menschen in diesen Systemen, automatisiert werden *sollen*.

Im Folgenden wird auf bekannte Herangehensweisen an die Verteilung von Aufgaben in automatisierten Systemen eingegangen, gefolgt von der Darstellung möglicher Auswirkungen von Automation auf den Menschen. In Kapitel 2.3.3 werden daraus abgeleitete Automations- und Interaktionskonzepte für den Fahrzeugkontext dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer Einordnung dieser Konzepte in einem gemeinsamen Schema.

2.3.1 Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Automation

Die Frage, welche (Teil-) Aufgaben automatisiert werden und welche beim Menschen belassen werden sollen, ist Gegenstand langjähriger Forschungsaktivitäten in den Domänen der Produktion, der Luftfahrt und der schienen- oder straßengebundenen Mobilität.

Die häufig als „klassisch“ oder „technikorientiert“ bezeichneten Ansätze richten sich, wie in Endsley und Kaber (1999) oder Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) beschrieben, daran aus, was technisch automatisiert werden kann und was dabei eine Steigerung der Effizienz oder Reduzierung der Kosten erwarten lässt.

Die Berücksichtigung des Menschen und seiner individuellen Fähigkeiten in der Zuteilung von Teilaufgaben wird auf Fitts (1951) zurückgeführt. Anhand der individuellen Fähigkeiten und Merkmale von Mensch und Maschine, wird die Aufgabe demjenigen zugeteilt, der am besten dafür geeignet ist. Auch wenn die von ihm verfasste Aufstellung, wem welche Eigenschaften zugeschrieben werden („Fitts‘ List“) vor dem Hintergrund der immer weiter steigenden technischen Fähigkeiten und der statischen Zuteilung von Teilaufgaben immer wieder kritisch diskutiert werden (beispielsweise in Sheridan, van Cott, Woods, Pew und Hancock (1998)), wird darin doch ein wegweisender Schritt in Richtung der am Menschen orientierten Ansätze gesehen (Winter & Dodou, 2014). Der damit verbundene Begriff der „Human-Centered Automation“ wurde von Billings geprägt. Billings (1991) versteht darunter ein Systemkonzept für komplexe Mensch-Maschine-Systeme, in dem einige Teilaufgaben automatisiert sind, andere aber noch vom Menschen übernommen werden müssen. Die Teilsysteme unterstützen dabei den Menschen bestmöglich in seinen Aufgaben. Die Qualität und Effektivität des Mensch-Maschine-Systems bestimmt sich über den Grad, in dem das Gesamtsystem die Stärken beider Elemente nutzt und die individuellen Schwächen kompensiert.

Ein erster Ansatz, die Prozesse in automatisierten Systemen nicht nur nach einer „entweder-oder“- Zuordnung an den Menschen oder die Maschine vorzunehmen, sondern durch eine detaillierte Zuweisung von einzelnen Handlungsschritten die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren zu betrachten, wurde von Sheridan und Verplank (1978) vorgenommen. Die Autoren definieren darin 10 Stufen (Levels of Automation (LOA)), für die Entscheidungsfindung und Aktionsauswahl in einem Mensch-Computer-System. Die Handlungsausführung geschieht im Rahmen des betrachteten Anwendungsfalls (Teleoperation) immer durch die Maschine.

Dieses Modell wird in der Folge vielfach diskutiert, abgewandelt und erweitert. Eine sehr umfassende Zusammenstellung der entstandenen Modelle ist in Spring (2011) zu finden. Im Rahmen dieser Arbeit soll lediglich auf vier ausgewählte Ansätze eingegangen werden:

Wickens, Mavor, Parasuraman und McGee (1998) ergänzen das Modell um eine Skala zur Abbildung der Automatisierung der Informationsaufnahme, welche nach ihrer Ansicht von einer Automatisierung des Entscheidungsprozesses zu unterscheiden ist. Zudem wird die freie Zuordnung auf der Skala der Entscheidungsfindung und Aktionsauswahl abhängig von der Komplexität und Schwierigkeit der Aufgabe beschränkt und eine dritte, parallele „Skala“ für eine diskrete Zuweisung der Aktionsausführung an Mensch oder Maschine eingeführt. Eine Visualisierung des resultierenden Modells ist in Abbildung 2-8 (links) dargestellt.

Das in Parasuraman et al. (2000) vorgeschlagene Modell führt diese Überlegungen weiter. Um die Automatisierung unterschiedlicher Funktionstypen systematisch abbilden zu können, wird sich der Analogie zu einem vereinfachten, vierstufigen Modell des Informationsverarbeitungsprozesses des Menschen bedient. Die Teilfunktionen definieren sich nach Parasuraman et al. (2000) zu:

1. Informationsaufnahme („information acquisition“)
2. Informationsanalyse („information analysis“)
3. Entscheidungsfindung und Aktionsauswahl („decision and action selection“)
4. Aktionsausführung („action implementation“)

Jede der genannten Teilfunktionen kann in dieser Modellvorstellung zu einem beliebigen Grad automatisiert werden, woraus sich das in Abbildung 2-8 (rechts) dargestellte Gesamtmodell ergibt. Das Gesamtsystem ergibt sich durch eine Kombination der einzelnen Automationsgrade der beteiligten Teilfunktionen. Für eine detaillierte Beschreibung der Teilfunktionen und deren Automationsmöglichkeiten sei an dieser Stelle auf Parasuraman et al. (2000) verwiesen.

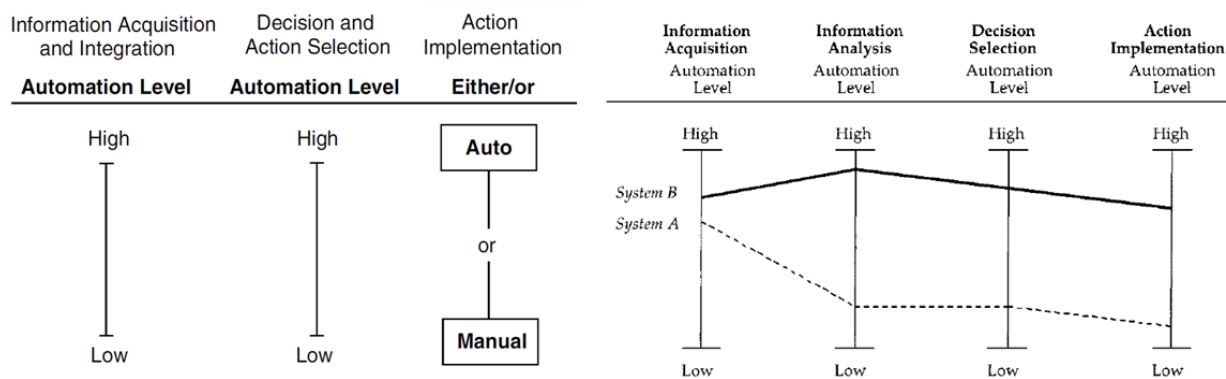


Abbildung 2-8: Automationsmodell aus Wickens et al. (1998) (links) und aus Parasuraman et al. (2000) (rechts)

Eine weitere populäre Klassifikation wird in Endsley und Kaber (1999) und Kaber und Endsley (2004) vorgeschlagen. Diese zielt auf einer ähnlichen Basis auf die Benennung und Strukturierung der Gesamtsysteme ab. Abweichend von Parasuraman et al. (2000) werden vier generische Funktionen definiert, welche sich in nahezu allen Domänen, in denen Automation zum Einsatz kommt, wiederfinden:

(1) Monitoring, (2) Generating, (3) Selecting, (4) Implementing.

Jede dieser Kernfunktionen kann von Mensch, Computer oder einer Kombination aus beiden ausgeführt werden. Aus einer systematischen Zuordnung werden zehn Automationslevel abgeleitet, benannt und beschrieben. Eine deutsche Übersetzung der Kombinationen und der benannten Level findet sich beispielsweise in Damböck (2013).

In Kenntnis der oben dargestellten Modelle entwickeln Save und Feuerberg (2012) eine neue Taxonomie, die für die vier Funktionen aus Parasuraman et al. (2000) zwischen fünf und acht individuelle Automationslevel definiert. Diese starten jeweils auf Stufe „0“ mit der manuellen Ausführung, gefolgt der Stufe „1“, welche die Nutzung einfacher Hilfsmittel umfasst. Auf den nachfolgenden Stufen steigert sich der Automationsgrad bis zur vollautomatischen Ausführung in der höchsten Stufe. Für die sich ergebende Matrixstruktur inklusive Beschreibungen und Beispielen sei an dieser Stelle auf Save und Feuerberg (2012) verwiesen.

Alle oben genannten Modelle und Kategorisierungen haben sich als oft zu Grunde gelegte Einteilungen etabliert oder – wie die von Endsley und Kaber (1999) – eine möglichst breite Anwendbarkeit über verschiedenste Domänen bereits in der Entwicklung angestrebt. Ebenfalls allen Ansätzen gemein ist die Orientierung an dem Grundgedanken der in Sheridan (1992) und Sheridan und Parasuraman (2005) beschriebenen „supervisory control“. Diese beschreibt den Menschen als der Automation übergeordnet, was bedeutet, dass durch das automatisierte System Aufgaben

übernommen und wie beauftragt umgesetzt werden. Der Mensch dient hier als programmierendes und kontrollierendes Element, was bei immer komplexer werdenden Systemen jedoch schnell zu einer Überbeanspruchung des Menschen führen kann, da er die Schwächen des Systems erkennen und ausgleichen muss, wie Sheridan und Parasuraman (2005, S. 113) argumentiert.

Eine weitere Herangehensweise in der Betrachtung des Zusammenspiels zwischen Mensch und Automation ergibt sich nach Onken und Schulte (2010) in einer Ausprägung, welche in Schulte, Meitinger und Onken (2009) als „co-operative control“ bezeichnet und näher beschrieben wird. Im Einklang mit anderen Definitionen, wie beispielsweise in Hoc (2001) und Bengler, Zimmermann, Bortot, Kienle und Damböck (2012), wird diese dadurch charakterisiert, dass Mensch und Automation in dynamischen Situationen unter Verfolgung gemeinsamer Ziele zusammenarbeiten, ähnlich einem menschlichen Team.

Für diese Zusammenarbeit relevante Elemente gehen aus der in Bengler und Zimmermann et al. (2012) vorgeschlagenen Taxonomie für die Beschreibung von Mensch-Maschine-Kooperationen hervor. Die Taxonomie basiert unter anderem auf den in Hoc (2000, 2001) und Hoc, Young und Blosseville (2009) entwickelten Ansätzen:

Für das erfolgreiche Zustandekommen einer Kooperation ist demnach ein gemeinsames, abstraktes Verständnis der Kooperationspartner über die Situation und die Aufgaben sowie deren Verteilung notwendig, was als „Intention“ bezeichnet wird. Dieses gemeinsame Verständnis umfasst drei Ebenen, die sich vor allem in der Komplexität und dem Abstraktionsgrad der Aufgaben sowie dem zeitlichen Planungshorizont unterscheiden:

Die Aktionsebene („action level“) beschreibt den konkreten, direkten Kontakt und lokal begrenzte Tätigkeiten mit minimaler Vorausschau.

Auf der Planungsebene („planning level“) findet die Bildung einer gemeinsamen Repräsentation von Umwelt und Arbeitsprozess sowie die Ableitung einer gemeinsamen Bewältigungsstrategie statt. Diese definiert damit die Zuordnung der Tätigkeiten auf Aktionsebene unter der Berücksichtigung der gemeinsamen Ziele und Pläne.

Die Metaebene („meta level“) umfasst die erweiterte Planung von kooperativen Aktivitäten unter dem Bewusstsein über die Stärken und Schwächen der jeweiligen Kooperationspartner.

Daneben ist die Festlegung der Art und des Umfangs des wechselseitigen Informationsflusses (in der Taxonomie im „Mode of Cooperation“ genannt) eine weitere Grundlage für die erfolgreiche Etablierung der Aufgabenverteilung. Als Beispiele dafür werden in Bengler und Zimmermann et al. (2012) in Anlehnung an Hoc (2001) die Unterstützung des Menschen in der Informationsaufnahme, eine gemeinsame Aktionsausführung oder eine dauerhafte Delegation von Aufgaben genannt.

Die konkrete Ausprägung der Aufgabenverteilung, in Bengler und Zimmermann et al. (2012) als „Allocation“ bezeichnet, ist das zentrale Element in einer solchen Kooperation und ist durch die beiden Teilaspekte „Arbitration“ und „Transition“ gekennzeichnet. Die Änderung der Umgebungsbedingungen in dynamischen Systemen kann – im Zusammenhang mit den (begrenzten) Ressourcen und Fähigkeiten der Partner – eine Neuaushandlung, welcher Partner welchen Teil der Aufgaben ausführt, erforderlich machen. Diese Entscheidung über die Zuordnung der Aufgabenausführung wird Arbitrierung genannt. In unmittelbarem Zusammenhang damit steht die Gestaltung der Übergänge von Aufgaben und der Verantwortung dafür, welche als Transitionen bezeichnet werden.

Die Umsetzung der Kooperation erfolgt über entsprechend gestaltete Schnittstellen, in der Taxonomie als „Interface“ bezeichnet und über den mehr oder weniger direkten Kontakt („Contact“) zwischen den Kooperationspartnern.

Wie beispielsweise in Biester (2004) und Flemisch, Bengler, Bubb, Winner und Bruder (2014) betont, wird in der Einrichtung einer solchen Kooperation zwischen Mensch und Automation in Form einer sogenannten „kooperativen Fahrzeugführung“ ein vielversprechender Ansatz für die weitere Erhöhung von Komfort und Sicherheit im Bereich automatisierter Fahrzeuge gesehen.

Dieser Begriff beschreibt in diesem Zusammenhang die „Zusammenarbeit von mindestens einem Menschen und mindestens einem Computer bei der Führung eines oder mehrerer Fahrzeuge, wobei sowohl Mensch als auch Automation auf ihrer Wahrnehmung basierend Absichten bilden, die dann in kooperative Handlungen umgesetzt werden“ (Flemisch, Winner, Bruder & Bengler, 2015, S. 1105). Kooperative Kontrolle und Führung umfasst demnach sowohl ein zeitgleiches Einwirken auf die gleiche Kontrollstrecke als auch das ereignisdiskrete Zusammenwirken, mit einer ganzen oder teilweisen Delegation von Aufgaben an einen der Kooperationspartner. Diese kann, wie in Flemisch et al. (2014) und Flemisch et al. (2015) hergeleitet, auf den unterschiedlichen Ebenen der Fahraufgabe stattfinden. Zur detaillierten Beschreibung des Gestaltungsraums der kooperativen Fahrzeugführung wird in Flemisch et al. (2014) das vierstufige Modell der Fahraufgabe herangezogen, wel-

ches in Löper, Kelsch und Flemisch (2008) näher beschrieben ist. Es baut auf dem Drei- Ebenen- Modell von Donges (1982) auf (siehe Kapitel 2.1.2) und unterteilt die Bahnführungsebene in eine Manöver- und eine Trajektorienplanungsebene, ähnlich wie es in der technischen Umsetzung (siehe Kapitel 2.2.2) gebräuchlich ist.

Die den beiden neuen Ebenen zugeordneten Aufgaben lassen sich demnach wie folgt beschreiben:

Auf der Manöverplanungsebene (Löper et al. (2008): „Manoeuvre Level“) werden unter der Kenntnis von aktueller Verkehrssituation und baulichen Gegebenheiten vor Ort Manöver abgeleitet und initiiert, die zur Umsetzung des geplanten zeitlichen und örtlichen Routenverlaufs notwendig sind. Beispiele dafür wären „Fahrstreifen wechseln“, „Vorderfahrzeug überholen“ oder „links abbiegen“.

Auf Trajektorienplanungsebene (Löper et al. (2008): „Short Term Planning Level“) wird die konkrete Ausgestaltung der anstehenden Manöver unter Berücksichtigung des dynamischen Umfeldes geplant. Unter Kenntnis der Streckenverhältnisse sowie der Bewegung der anderen Verkehrsteilnehmer und der damit verbundenen Entwicklung der sicheren, freien Bewegungsräume wird der konkrete Verlauf der Fahrzeugbewegung (Trajektorie) festgelegt.

Über die damit insgesamt vier Ebenen kann die Instanziierung der kooperativen Fahrzeugführung verschiedene Formen von Kontrollflüssen und Aufgabenverteilungen einnehmen, wie in Flemisch et al. (2015) betont. Abhängig von der dadurch festgelegten Zuordnung der Aufgaben (in der obigen Definition als „Allocation“ bezeichnet) ergibt sich die Notwendigkeit entsprechend angepasster Schnittstellen („Interfaces“) zu Interaktion zwischen Fahrer und automatisiertem Fahrzeug.

2.3.2 Auswirkungen der Nutzung von Automation

Neben Modellen, welche die Aufgabenverteilung umfassend beschreiben, spielen in der operativen Zuordnung der Aufgaben, also in der Auslegung der Automationssysteme, die Auswirkungen der Automation eine entscheidende Rolle, siehe beispielsweise das Vorgehensmodell in Parasuraman et al. (2000).

Als erste grundsätzliche Unterteilung dieser Auswirkungen wird in vielen Quellen in positive und negative Auswirkungen unterschieden (z.B. Sheridan (1992)).

Die intendierten positiven Auswirkungen werden dabei meist in der gesteigerten Leistung und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems, einer erhöhten Sicherheit und in der Reduktion der menschlichen Arbeitsbelastung gesehen (z.B. Sheridan (1992), Spring (2011)). Dem stehen negative Auswirkungen gegenüber, die eine bestimmungsge-

mäße Nutzung einschränken. Da diese durch die Herausnahme des Menschen aus der Regelschleife der Fahrzeugführung resultieren (siehe z.B. United Nations - Economic Commission for Europe (2014, S. 99-100)), werden sie häufig als „Out-of-the-loop“-Probleme oder im deutschen Sprachraum auch häufig nur als „Automatiseffekte“ bezeichnet.

In der Literatur existieren viele Zusammenstellungen solcher Effekte und Probleme (z.B. Wiener und Curry (1980), Endsley und Kiris (1995), Parasuraman et al. (2000), Sheridan und Parasuraman (2005), Schreiber (2011), Saffarian et al. (2012), Lindberg (2012)), wobei die einzelnen Effekte häufig voneinander abhängen und je nach Betrachtungsweise unterschiedlich zugeordnet werden.

Jeder dieser Effekte eröffnet im Grunde ein eigenes Forschungsfeld, weshalb an dieser Stelle nur ein kurzer Einblick in die wichtigsten Themen gegeben werden soll.

2.3.2.1 Mentale Beanspruchung (Mental Workload)

Automation kann gleichermaßen zu einer Reduktion und zu einer Steigerung der mentalen Beanspruchung beitragen, wie in Young und Stanton (2002) ausgeführt. So kann beispielsweise ein neues Interaktionskonzept die Beanspruchung während einer Routinetätigkeit senken, im gleichen Zuge jedoch durch neue oder komplexere Optionen die Bedienung in stressigen Situationen erschweren und damit die Beanspruchung des Operators zusätzlich genau dann steigern, wenn eine Reduktion am nötigsten wäre (Young & Stanton, 2002). Letzteres wird in der Literatur unter dem in Wiener (1989) geprägten Begriff der „clumsy automation“ diskutiert. Kraiss (1994) spricht in diesem Zusammenhang plakativ von 99% Langeweile und 1% panischer Angst.

In der Konzeptionierung automatisierter Systeme sollte ein mittleres Beanspruchungsniveau angestrebt und die Extreme „underload“ und „overload“ verhindert werden (siehe auch Young und Stanton (2002), Saffarian et al. (2012), Parasuraman et al. (2000) oder Sarter, Woods und Billings (1997)).

2.3.2.2 Vigilanzminderung (Vigilance decrement)

Der Begriff des Vigilanzabfalls oder der Vigilanzminderung bezeichnet nach Schlick et al. (2010, S. 356) den Verlust der *anhaltenden Aufmerksamkeit*. Versuche, die meist das Entdecken von Signalen und eine einfache Reaktion darauf erfordern zeigen einen degressiven Verlauf, mit dem stärksten Abfall der entdeckten Signale in den ersten dreißig Minuten. Als kritische Faktoren haben sich in Experimenten die Gesamtdauer der Aufgabe, die Anzahl der Ereignisse pro Zeiteinheit, die relative An-

zahl kritischer Ereignisse und die Merkmale des zu entdeckenden Signals herausgestellt.

Auf Grund seiner Charakteristik kann das Fahren in monotonen Situationen nach Schmidt et al. (2009) als eine Art Vigilanztest gesehen werden. Dies gilt erst recht für eine Fahrt mit Systemen, durch die sich der Fahrer aus der aktiven Rolle als Fahrzeugführer zurückziehen kann und nur noch kritische Situationen entdecken muss, wie beispielsweise in der Teilautomation (vgl. Körber, Cingel, Zimmermann und Bengler (2015)). Othersen (2016, S. 59) geht unter Bezug auf Lindberg (2012) davon aus, dass die Vigilanz mit steigender Dauer der Automationsnutzung abnimmt und ein Übersehen von Systemausfällen einer hoch zuverlässigen Automation ohne vorherige, deutliche Anzeige wahrscheinlich ist.

2.3.2.3 Situationsbewusstsein (Situation Awareness)

Das Situationsbewusstsein, bzw. „Situation Awareness“ (SA), wird in Endsley (1988), unter Bezug auf ihre früheren Publikationen, als „Wahrnehmung der Elemente der Umwelt zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort, das Verständnis ihrer Bedeutung und die Prädiktion ihres Zustands in die nahen Zukunft“ definiert. Endsley und Kiris (1995) beschreiben darauf aufbauend den Prozess der Entstehung des menschlichen Situationsbewusstseins als dreistufiges Modell: Level 1 beinhaltet die Wahrnehmung relevanter Variablen des Systems und der Umwelt. Level 2 beschreibt das Verständnis der Bedeutung dieser Variablen in Abhängigkeit von (festgelegten) Zielen. Level 3 umfasst schließlich die Projektion dieses aktuellen Zustands in die nahe Zukunft und die Prädiktion zukünftiger Zustände. Für eine detaillierte Beschreibung sei an dieser Stelle auf Endsley (1995) verwiesen.

Die Automation von Entscheidungsprozessen kann somit das Bewusstsein über die Systemfunktionen und wichtige Umgebungsvariablen reduzieren (Parasuraman et al., 2000). Daraus resultieren eine verschlechterte Erkennung potentiell kritischer Situationen und entsprechend verschlechterte Reaktionen (vgl. Saffarian et al. (2012), Parasuraman et al. (2000), Kaber und Endsley (2004)). Dies wiederum wirkt sich im Speziellen auf die manuelle Übernahmefähigkeit und -leistung aus, siehe auch Kaber und Endsley (2004), Damböck (2013) oder Gold, Berisha und Bengler (2015).

2.3.2.4 Bewusstsein über den Automationsmodus (Mode Awareness)

Sarter und Woods (1995) beschreiben *Mode Awareness* im Zusammenhang mit automatisierten Systemen als die Fähigkeiten eines Überwachers, das Verhalten eines

automatisierten Systems zu verfolgen und zu antizipieren. Es ist damit, wie in Saffarian et al. (2012) dargestellt, eng an das Konstrukt der Situation Awareness angelehnt. Das Aufrechterhalten eines korrekten Bewusstseins darüber, in welchem Modus bzw. Betriebszustand sich das automatisierte System befindet, wird mit der Weiterentwicklung der Systeme zunehmend schwieriger. Das liegt einerseits an der steigenden Komplexität und damit steigenden Anzahl an Zuständen der Systeme (vgl. Sarter et al. (1997)) und andererseits daran, dass Änderungen des Betriebszustands nicht mehr nur auf Anforderungen durch den Operateur eingeleitet werden, sondern bei Erreichen bestimmter Systemgrenzen systeminitiiert ablaufen (Sarter & Woods, 1995).

2.3.2.5 Fertigkeitsverlust (Loss of Skills)

In dem gleichen Maße, in dem die Aufgaben durch die Maschine durchgeführt werden, wird der Mensch von deren Ausführung entbunden und verliert die Übung und die Routine darin, diese selbst durchzuführen. Dieser sogenannte Fertigkeitsverlust betrifft sowohl manuelle, als auch kognitive Fähigkeiten (Saffarian et al. (2012), Parasuraman et al. (2000)). Zudem wird mit einer fortschreitenden Verfügbarkeit der Automation und der dadurch verringerten praktischen Übung bereits der Kompetenzerwerb beeinflusst (Wiener & Curry, 1980). Dieser Effekt kann heute schon im Bereich der Luftfahrt bei Piloten beobachtet werden (Haslbeck, Kirchner, Schubert & Bengler, 2014).

2.3.2.6 Vertrauen (Trust)

Vertrauen, bzw. „Trust“ definiert sich nach Lee und See (2004) über die Einstellung eines Individuums, dass ein anderer Agent (Mensch oder Maschine) in einer Situation der Unsicherheit und Verletzlichkeit helfen wird, die Ziele des Ersten zu erreichen. Lee und See (2004) führen diverse Studien an, die verdeutlichen, dass Vertrauen, als Einstellung gegenüber einem automatisierten System, dazu führt, dass sich der Mensch auf die Automation verlässt („Reliance“). Das Vertrauen bestimmt damit häufig die Nutzung oder Nicht-Nutzung der Automation (Parasuraman & Riley, 1997). Zudem hilft es dem Mensch die Beanspruchung durch die kognitiv belastenden Aufgaben, die ihm beispielsweise in der Überwachung eines komplexen automatisierten Systems zukommen, zu mindern. Wie in Sarter et al. (1997) ausgeführt, besteht dabei jedoch die Gefahr, dass sich ein zu hohes, übersteigertes Vertrauen („Overreliance“) entwickelt, das zu einem falschen Gefühl der Sicherheit („Complacency“) führen kann. Ziel muss selbstverständlich ein angemessenes Vertrauen sein, in Lee und See (2004) als „calibrated trust“ bezeichnet, das zu einer be-

stimmungsgemäßen Nutzung des automatisierten Systems führt. Aktuelle Arbeiten widmen sich den Einflüssen auf das dem automatisierten Fahren entgegengebrachte Vertrauen, siehe beispielsweise Gold, Körber, Hohenberger, Lechner und Bengler (2015) und Feldhütter, Gold, Hüger und Bengler (2016).

2.3.3 Interaktionskonzepte für automatisiertes Fahren

Die vorgenannten Auswirkungen führen zu unterschiedlichen Reaktionen des Menschen in Bezug auf die Systemnutzung. Nach Parasuraman und Riley (1997) können diese in die Kategorien „Use“, „Misuse“, „Disuse“ und „Abuse“ unterteilt werden. „Use“ bezeichnet dabei die bestimmungsgemäße Nutzung des Systems durch den Anwender. „Misuse“ definiert sich durch einen falschen Umgang mit der Automation, meist hervorgerufen durch übersteigertes Vertrauen. „Disuse“ wiederum bezeichnet eine bewusste Nicht-Nutzung oder Abschaltung der Systeme. „Abuse“ kennzeichnet sich durch eine Nutzung außerhalb des eigentlichen Anwendungsfalls, welche durch den Systementwickler nicht vorgesehen wurde. Als problematisch können selbstverständlich die drei vom bestimmungsgemäßen Gebrauch abweichenden Nutzungen angesehen werden.

Gründe für eine nicht bestimmungsgemäße Nutzung oder für Probleme im Umgang mit Automation liegen dabei nach Norman (1990) jedoch meist nicht in der Automation oder ihren Fähigkeiten an sich, sondern vielmehr in der ungenügenden Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Automation, die es dem Menschen nicht ermöglicht, das System angemessen zu überwachen und zu steuern. Die Frage nach einem „angemessenen Zusammenspiel“ zwischen Fahrer und automatisierten Fahrzeug und einer „ausreichenden Rückmeldung“ für den Fahrer ist daher Gegenstand aktueller wie vergangener Forschung.

Dem Grundgedanken einer kooperativen Fahrzeugführung folgend (siehe Kapitel 2.3.1), sind bereits in zurückliegenden Forschungsprojekten verschiedene Interaktionskonzepte und prototypische Mensch-Maschine-Schnittstellen entwickelt worden. Im Folgenden werden für diese Arbeit relevante Projekte kurz dargestellt.

2.3.3.1 HAVEit Joint System

Im europäischen Forschungsprojekt HAVEit (2008-2011) wurden, wie in Flemisch et al. (2010) und Hoeger, Hoess und Zeng (2011) beschrieben, automatisierte Fahrfunktionen entwickelt und untersucht, die über die Funktionalität der bis dahin beforschten und entwickelten fortschrittlichen Assistenzsysteme (ADAS) hinausgehen. Dabei wurde auf Basis einer gemeinsam entwickelten modularen System- und

Sicherheitsarchitektur ein „Co-System“ entworfen und in verschiedenen Demonstratoren umgesetzt. Neben dem Nachweis der funktionalen Sicherheit und technischen Machbarkeit, lag in der Entwicklung dieses „Co-Systems“ der Fokus auch explizit auf einer optimalen Unterstützung des Fahrers in der Interaktion mit dem System und während der Rückholung in die operative Fahraufgabe. Insbesondere betrifft dies folgende Themengebiete:

- Fahrerzustandserkennung: Erfassung und Überwachung des Fahrerzustandes, im Speziellen von Ablenkung und Müdigkeit.
- Arbitrierung: Ablauf einer dynamischen Aushandlung der Zuständigkeiten für Teile der Fahraufgabe zwischen den Kooperationspartnern Fahrer und Automationssystem.
- Transitionen: Untersuchung der Zustandsübergänge zwischen den definierten Automationsstufen, sowohl in Bezug auf die für den Fahrer verständliche Anzahl und Differenzierung der Stufen als auch auf die Kombination der einzelnen Übergangssequenzen.

Eine Zusammenstellung der betrachteten Fragestellungen und Ergebnisse ist in Hoeger et al. (2011) zu finden.

Zudem wurde ein generisches, multimodales HMI entwickelt und in den Demonstratoren umgesetzt. Abbildung 2-9 zeigt eine Instanziierung des Konzepts am Beispiel des „Joint System Demonstrator“ (JSD).

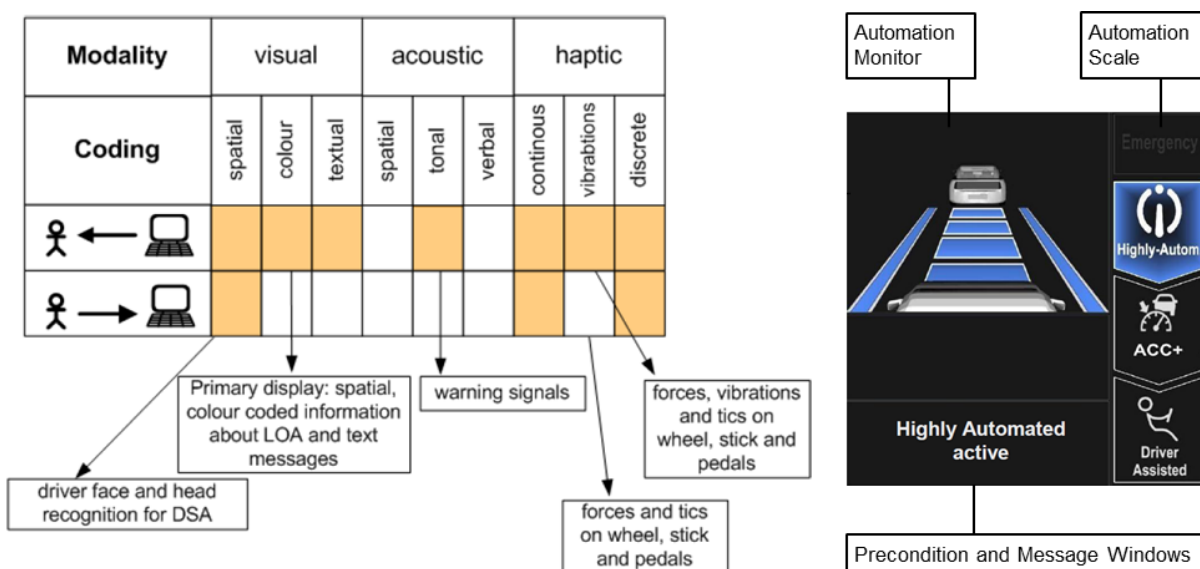


Abbildung 2-9: Umsetzung des HMI-Designs im JSD nach Hoeger et al. (2011)

Dabei sind in der linken Darstellung die abgeleiteten Informationselemente dargestellt, im rechten Teil ist die Umsetzung der visuellen Information in der Primäranzeige

ge zu sehen. Wesentliche Elemente darin sind der „Automation Monitor“, der für die Systemüberwachung relevante Informationen darstellt, die „Automation Scale“, welche die verfügbaren und aktiven Automationsstufen anzeigt, sowie ein „Message Field“ für die Anzeige von textuellen Informationen für den Fahrer. Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Untersuchungen sowie der dabei zum Einsatz gekommenen Umsetzungen finden sich in Flemisch et al. (2009) und Schieben, Flemisch, Schömig, Kaussner und Petermann (2011), eine Übersicht bietet wiederum Hoeger et al. (2011).

In der Betrachtung des Projekts dringend zu beachten ist, dass die genutzte Nomenklatur (beschrieben in Hoeger et al. (2011)) von den heute gebräuchlichen Definitionen (Kapitel 2.2.1) abweicht, jedoch ähnliche Begrifflichkeiten nutzt. Das in HAVEit als hochautomatisiert bezeichnete System unterstützt und erfordert eine dauerhafte Überwachung durch den Fahrer, weshalb es in der im Rahmen dieser Arbeit genutzten Nomenklatur als Teilautomatisiert bezeichnet würde.

2.3.3.2 Integrative Stellelemente und Parameter-Manöver-Schnittstelle

Ein weiteres Konzept zur Bedienung eines definierten Automationspektrums entstand im Rahmen eines in Wimmer (2014) veröffentlichten Promotionsprojekts. Es zeichnet sich im Wesentlichen dadurch aus, dass darin eine durchgängige Bedienphilosophie für die Bedienung von vier Automationsstufen entwickelt und im Fahrzeug positiv evaluiert wurde. Die zu Grunde liegende Definition der Automationsstufen weicht in der Benennung der Stufen von der in dieser Arbeit verwendeten nach VDA (2015) ab und ist dieser in Tabelle 2-1 gegenübergestellt.

Tabelle 2-1: Zuordnung der in Wimmer (2014) genutzten Stufen

Wimmer (2014)	Manuelle Fahrt (MF)	Teilautomation (TA)	Vollautomation (VA)	Autonom (AUTON)
VDA (2015)	Manuelle Fahrt	Assistierte Fahrt	Teilautomation	Hoch-/ Vollautomation

Die Funktionen sowie die nutzerinitiierten Transitionen sind über das gesamte Spektrum an den entwickelten, integrativen Stellteilen bedienbar. Neben der Rückmeldung über die Anzeige im Kombidisplay wird direkt an den Stellteilen über Form- und Lagecodierung der aktuelle Modus zurückgemeldet, wie in Abbildung 2-10 am Beispiel des Elementes „Dreh-Drück-Steller“ gezeigt. Dabei ist auf den oberen Bildern die Darstellung des Modus TA mit den Bedienmöglichkeiten für die automatisierte Längsführung – also ACC – gezeigt. Die darunter liegenden Bilder zeigen die Bedienung der Stufe VA, die einen längs- und quergeführten Stauassistenten beinhaltet. Deutlich sichtbar ist die Gestaltänderung und die damit verbundene Einschränkung

bzw. Freigabe von Bedienmöglichkeiten. Ist in TA die Verstellung von Distanz und Setzgeschwindigkeit vorgesehen, wird in VA die Nutzung der sogenannten „Parameter-Manöver-Schnittstelle“ (PMS) ermöglicht. Der Fahrer kann hier an einem joystick-ähnlichen Element die Position innerhalb der Fahrstreifenbegrenzung verändern. Bei Auslenkung des Joysticks über eine spürbare Barriere im Kraft-Weg-Verlauf hinaus, wird ein Fahrstreifenwechsel veranlasst, welcher vom Fahrzeug automatisiert durchgeführt wird. Für eine detaillierte Darstellung des Interaktionsparadigmas, sowie der weiteren Bedienelemente sei an dieser Stelle auf Wimmer (2014) verwiesen.

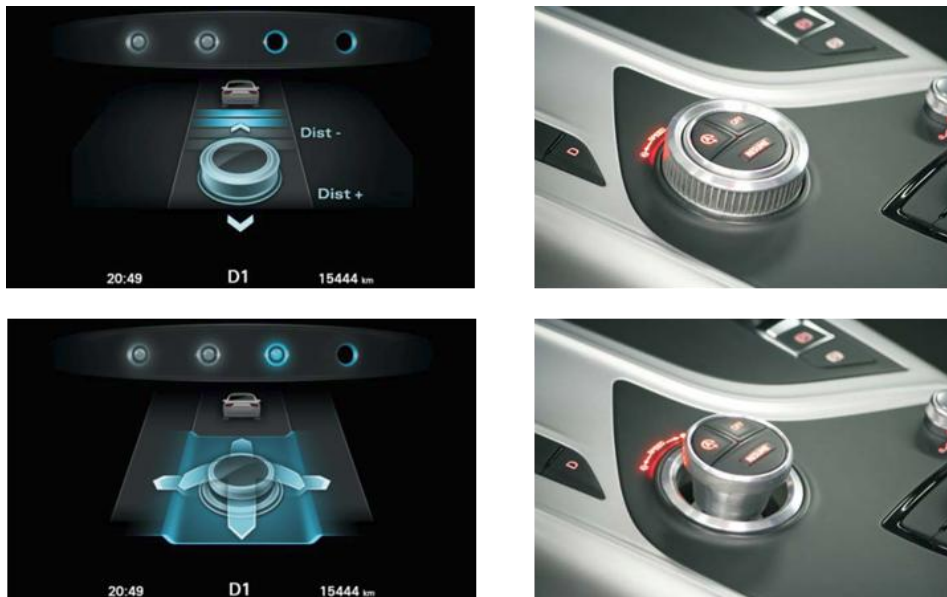


Abbildung 2-10: Kombidisplay- und Bedienelementdarstellung aus Wimmer (2014)

Das längs-und quergeführte System im Modus VA soll nach Wimmer, Siedersberger, Meurle und Färber (2012) dem Fahrer zwar eine größtmögliche Entlastung bieten, benötigt ihn jedoch an Systemgrenzen als Rückfallebene. Daher wird dort das Konzept des „Potentialtriggers“ vorgeschlagen: Der Fahrer bekommt im Head-Up-Display (HUD) ein „Potential“ in der Art eines Füllstandes einer Wassersäule angezeigt, welches sich abhängig von Parametern einer Fahrerzustandsüberwachung verringert. Erreicht das Potential einen Mindestwert, wird der Fahrer dazu aufgefordert, durch Betätigung eines Triggers das Potential wieder aufzufüllen. Tut er dies, bleibt das System aktiv. Bleibt die Bedienhandlung aus oder wird ohne Aufforderung der Trigger gesetzt, wird das System unter Ausgabe einer Übernahmeaufforderung deaktiviert. Somit soll eine wirksame Lenkung der Fahreraufmerksamkeit sichergestellt werden.

Eine genauere Betrachtung des Modus AUTON, in dem der Fahrer nicht mehr als Rückfallebene für das System zu Verfügung stehen muss, steht nicht im Fokus der Arbeit von Wimmer (2014) und bleibt daher weitgehend aus.

2.3.3.3 H-Mode

Das Konzept des H-Mode stellt, wie in Altendorf et al. (2015) beschrieben, eine haptisch-multimodale Umsetzung einer kooperativen Fahrzeugführung für teil- und hochautomatisierte Fahrzeuge dar. Es geht auf die in Flemisch (2003) beschriebene und in mehreren Forschungsprojekten ausgebaute „H(orse) - Metapher“ zurück. Diese beschreibt als Designmetapher die Interaktion und die Rollenverteilung zwischen Fahrer und Automation analog zu der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Reit- bzw. Kutschpferd. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist dabei die multimodale Interaktion mit einem speziellen Fokus auf einer kontinuierlichen haptischen Kopplung. Diese erfolgt im Falle des Reitpferdes über den Kontakt zwischen Pferd und auf ihm sitzenden Reiter sowie über die Zügel. Im Falle des Kutschpferdes entfällt die unmittelbare Pferd-Reiter-Kopplung, wodurch die Kopplung über die Zügel zusätzlich an Bedeutung gewinnt. Innerhalb gewisser Grenzen kann der Reiter oder Kutscher durch eine enge Führung am Zügel die Bewegungen des Pferdes sehr genau beeinflussen. Auf der anderen Seite kann er jedoch auch die Zügel lockern und sich sogar temporär anderen Dingen als der Bewegungssteuerung zuwenden. Das Pferd wird in dieser Zeit einen kollisionsfreien Kurs einschlagen und im Normalfall dem vorgegebenen Weg weiter folgen. Durch die Änderung der Zügelhaltung kann die Autorität und der Einfluss auf die Bewegung jederzeit beliebig verlagert werden, wobei prinzipiell jede Aufteilung innerhalb eines Kontinuums zwischen voller Kontrolle durch den Reiter und voller Kontrolle durch das Pferd möglich ist.

In der Umsetzung der Metapher im H-Mode kommen, wie in Altendorf et al. (2015) beschrieben, je nach Umsetzungsgrad unterschiedliche Stufen zum Einsatz. Diese können, wie in Abbildung 2-11 dargestellt, innerhalb des kontinuierlichen Spektrums verortet werden. Altendorf et al. (2015) definiert diese wie folgt:

„In der Stufe „Tight Rein“ („fester Zügel“) steuert der Mensch das Fahrzeug weitgehend alleine und erhält von der Automation Handlungsempfehlungen [...]. In diesem assistierten Modus übernimmt der Fahrer ein hohes Maß an direkter Kontrolle, d. h. seine lateralen und longitudinalen Stellaktionen werden sehr direkt auf das Fahrzeug übertragen. [...] Im teilautomatisierten „Loose Rein“ („lockerer Zügel“) wird sowohl die Längs- als auch die Querführung auf Trajektorien- sowie Stabilisierungsebene weitgehend von der Automation übernommen. Hierbei bleibt der Mensch jedoch sinnvoll eingebunden, z. B. indem er das zu fahrende Manöver und die Randbedingungen – wie die Geschwindigkeit – beeinflusst. [...] „Secured Rein“ („gesicherter Zügel“) beschreibt das hoch- bzw. temporär-vollautomatisierte Fahren – vergleichbar dem von Kutschfahrern auf sicheren Strecken manchmal praktizierten Ablegen des Zügels – auf Fahrzeuge übertragen.“

Diese Beschreibung zeigt, dass eine klare Zuordnung zu einem der in Kapitel 2.2.1 definierten Automationslevel durch die mögliche dynamische Umverteilung der Kontrolle schwierig ist. Erfolgen keine weiteren Einschränkungen der erlaubten Verteilung müsste das zu Grunde liegende technische System jedoch bis mindestens Level 3 ausgelegt sein.

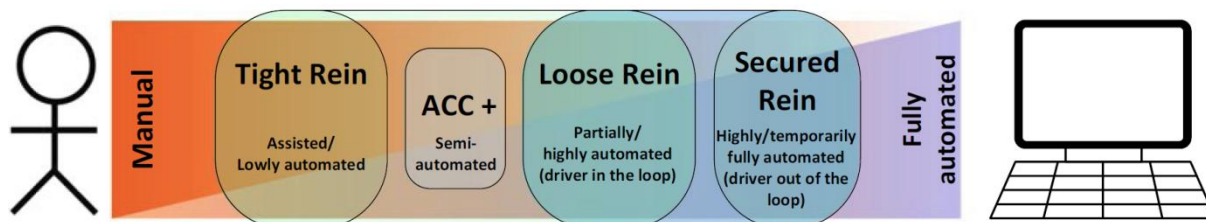


Abbildung 2-11: Assistenz- und Automationsspektrum des H-Mode nach Altendorf et al. (2015)

Neben der Fähigkeit, die Fahraufgabe entsprechend technisch zu beherrschen und durchführen zu können, erfordert die Idee der gemeinsamen, dynamisch ausgehandelten, kooperativen Fahrzeugführung auch von jedem Kooperationspartner mit dem jeweils Anderen adäquat in Kontakt zu treten.

In der Literatur ist dazu eine Vielzahl an Veröffentlichungen zu finden, die unterschiedlichen Ansätzen folgen.

Schieben, Damböck, Kelsch, Rausch und Flemisch (2008) stellen ein Konzept vor, das die haptische Kopplung durch einen aktiven, positions- und kraftrückmeldenden Sidestick realisiert. Dieser vereint die beiden Dimensionen Längs- und Querführung der Fahrzeugbewegung in einem möglichst intuitiven Stellelement (siehe dazu auch Damböck, Kienle und Bengler (2010)). Die Automation wird über eine modifizierte „Wizard-of-Oz“-Technik realisiert. In der als „Theatersystem“ bezeichneten Umgebung wird das System, das sich dem Proband als Automation darstellt, von einem abgeschottet sitzenden Versuchsleiter über ein gekoppeltes Bedienelement „gespielt“. Zur Theatersystemtechnik siehe auch Schieben, Heesen, Schindler, Kelsch und Flemisch (2009).

Auch Damböck et al. (2009) beschreiben vergleichende Untersuchungen zur Interaktion über unterschiedliche Konfigurationen eines Sidesticks und ziehen Vergleiche zur Fahrt mit herkömmlichen Bedienelementen im „Tight Rein“. Die Integration erfolgt dabei in einen Fahrsimulator sowie in das Versuchsfahrzeug „FASCar“ des DLR.

Kienle (2014) untersucht Alternativen zum oben genutzten Sidestick und führt im Fahrsimulator Versuche zur Beherrschbarkeit in der manuellen Fahrt und zum Übernahmeverhalten durch. Als aktive, konventionelle Elemente kommen ein Force-Feedback-Lenkrad und ein aktives Gaspedal zum Einsatz. Der Idee der Integration

beider Dimensionen in ein Element folgend, werden zusätzlich die Konzepte „Yoke“ und „Yoke/Paddle“ untersucht. „Yoke“ beschreibt dabei ein lenkradähnliches Element, welches zusätzlich einen translatorischen Freiheitsgrad in Richtung der Lenkachse aufweist. Ein Drücken/Schieben am „Lenkrad“ führt zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit, ein Ziehen führt zur Verringerung. Das Drehen des Lenkrads führt wie gewohnt zur Richtungsänderung. In der Ausführung „Yoke/Paddle“ wird die Längsführung über ein Element am Lenkrad vorgenommen, das den in manchen Fahrzeugen erhältlichen Schaltwippen ähnlich ist. Ein Drücken des durch den Lenkradkranz erreichbaren Paddles mit dem Daumen vom Fahrer weg bewirkt ein Beschleunigen, ein Ziehen mit Zeige-, Mittel- und Ringfinger bewirkt ein Abbremsen. Die Rückmeldung der Automation an den Fahrer erfolgt in beiden „Yoke“- Konzepten über den Lenkradwinkel bzw. die Position entlang des translatorischen Freiheitsgrades der Lenksäule.

Eine mögliche Integration der H-Metapher in einem Realfahrzeug zeigen Cramer, Lange und Bengler (2015) mit der Umsetzung einer kooperativen Trajektorienplanung. Der Fahrer kann dabei während eines Fahrstreifenwechsels den vom Fahrzeug geplanten und befahrenen Pfad innerhalb gewisser Grenzen aktiv durch den Eingriff ins Lenkrad beeinflussen. Er erhält dabei haptisches Feedback über das Lenkmoment. So wird beispielsweise im dem Fall, dass durch den Fahrer ein Fahrstreifenwechsel am Lenkrad eingeleitet wird, obwohl der Nachbarfahrstreifen belegt ist, eine virtuelle Leitplanke spürbar, die einen Wechsel verhindert. Nimmt der Fahrer die Hände vom Lenkrad, erfolgt die Rückdelegation der Fahraufgabe an das Fahrzeug.

2.3.3.4 Conduct-by-Wire

Das Fahrzeugführungsparadigma Conduct-by-Wire stellt, wie in Franz, Kauer, Geyer und Hakuli (2015) beschrieben, eine ereignisdiskrete, manöverbasierte Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug für die Teilautomation dar. Der Fahrer übergibt dem Fahrzeug Manöver- und Parameterbefehle, die nach Überprüfung vom Fahrzeug ausgeführt werden. Nach Franz et al. (2015) verändert sich dadurch die Aufgabe aus Fahrersicht von einer kontinuierlichen Eingabe von Stellgrößen auf Stabilisierungsebene (Lenken, Bremsen) in eine diskrete Eingabe von Befehlen auf Bahnführungsebene. Diese beinhalten die Vorgabe konkreter Manöver, wie beispielsweise einen Fahrstreifenwechsel links, und die Parametrierung der Trajektorie, beispielsweise durch Änderung der Geschwindigkeit oder des Abstands hinter einem Vorderfahrzeug. Beispiele für die genutzten Befehle finden sich in Franz, Kauer, Bruder und Geyer (2012) oder Franz (2014). Abbildung 2-12 veranschaulicht den geänderten

Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis anhand des 3-Ebenen-Modells von Donges (1982) (siehe dazu auch Kapitel 2.1.2). Deutlich zu sehen ist darin die Entkopplung des Fahrers aus der Regelschleife auf Stabilisierungsebene sowie der auf die Bahnführungsebene verschobene Informationsfluss zwischen Fahrer und Fahrzeug. Ebenso wird deutlich, dass die notwendigen Informationen der Bahnführungsebene zusätzlich zum Fahrer auch vom System verarbeitet und interpretiert werden müssen, um eine Umsetzung und Absicherung der beauftragten Manöver zu ermöglichen.

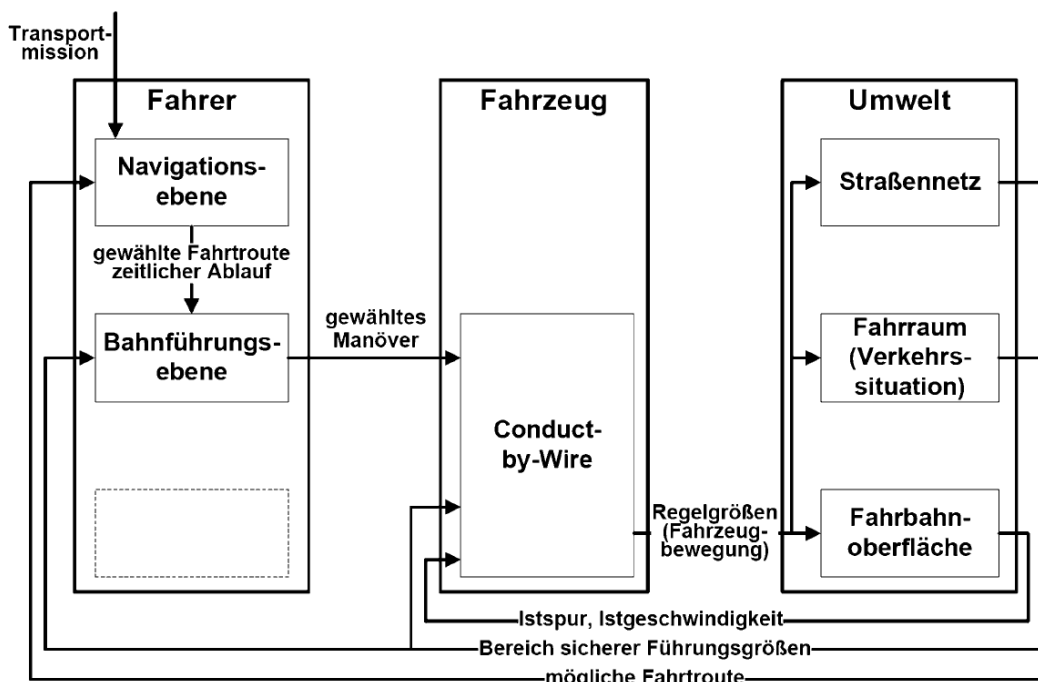


Abbildung 2-12: Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis in Conduct-by-Wire aus Franz et al. (2015)

Der Übergang zur Führung auf einer höheren Ebene, so argumentieren Winner, Hakuli und Bruder (2006), macht eine Aufhebung der Bindung an die herkömmlichen oder für die Stabilisierungsebene nutzbaren Bedienelemente (z.B. auch Sidesticks) möglich oder nach Auffassung der Autoren sogar erforderlich. Im Rahmen der Forschungsvorhaben zu Conduct-by-Wire lag daher neben der funktionalen Entwicklung und der Betrachtung von Absicherungsfragen der Fokus auch auf der Entwicklung und Untersuchung passender Bedienkonzepte.

Einen Überblick über die Entwicklungsschritte bieten Kauer, Schreiber und Bruder (2010), Franz (2014) und Franz et al. (2015):

Kernstück der Bedienkonzeptentwicklung ist eine Abbildung aller möglichen Manöver- und Parametereingaben, welche in mehreren Iterationsschritten entwickelt worden ist.

In dem in Kauer et al. (2010) dargestellten Integrationsschritt sind alle Möglichkeiten auf einem taktilen Touchdisplay auswähl- und einstellbar, siehe Abbildung 2-13 links. Die Rückmeldung erfolgt ebenfalls über das Touchdisplay sowie über ein konventionelles HUD.

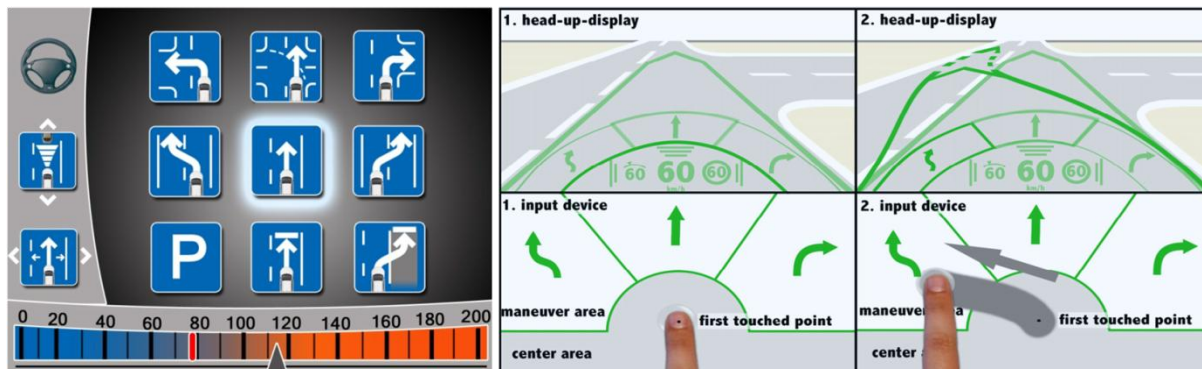


Abbildung 2-13: Integration auf Touchdisplay (li.) aus Kauer et al. (2010) und abgesetzte Bedienung auf kHUD und Touchpad (re.) aus Franz et al. (2012)

Auf Basis der mit diesem Konzept im Simulator gewonnenen Erkenntnisse (vgl. Schreiber (2011) und Kauer, Franz, Schreiber, Bruder und Geyer (2012)) wurde das Konzept wie in Franz et al. (2012) beschrieben zu einer Lösung mit abgesetzter Bedienung und Anzeige weiterentwickelt. Zur Anzeige des aktuellen Fahrzeugzustandes, möglicher Manöver und deren Parametrierungen kommt ein kontaktanaloges Head-Up-Display (kHUD) zum Einsatz. Die Eingabe von Manövern und Parametern erfolgt über Touchgesten auf einem Touchpad in der Mittelkonsole. Zur Auswahl eines Fahrstreifenwechselmanövers wird beispielsweise, wie in Abbildung 2-13 rechts zu sehen, ausgehend von dem ersten Berührungspunkt auf dem Eingabeelement eine Geste in Richtung des Kreissegmentes ausgeführt, welches das gewünschte Manöver darstellt. Im kHUD wird der geplante Wegverlauf fahrfstreifengenau zurückgemeldet. Der Blick des Fahrers kann während der Zeit der Eingabe auf die Straße gerichtet bleiben. Für eine detaillierte Beschreibung des Konzepts sei an dieser Stelle auf Franz et al. (2012) und Franz (2014) verwiesen.

2.3.4 Einordnung bestehender Konzepte der Fahrzeugautomation

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Konzepte und weitere, im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail betrachtete Automationslösungen für das automatisierte Fahren und Parken werden immer zahlreicher publiziert und demonstriert, gleichzeitig ist die Nutzung der wachsenden Zahl an zu Grunde liegenden Definitionen bezüglich Automationsstufen nicht konsequent und einheitlich.

Im Folgenden sollen existierende Lösungen in einem zweidimensionalen Schema eingeordnet und kategorisiert werden. Dazu wird zum einen der definierte Automationsgrad betrachtet, welcher sich heute als wichtiges Standardkriterium in der Diskussion um automatisierte Systeme etabliert hat und der Definition nach VDA (2015) folgt. Mit der zweiten Dimension wird die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Automation dargestellt. Zur Unterscheidung und Quantifizierung der Aufgaben wird hier die Ebene der Fahraufgabe aufgetragen, auf der die Interaktion zwischen Mensch und Automation stattfindet. Diese wird im Folgenden als *Interaktionsebene* bezeichnet.

Die auf den jeweiligen Ebenen auszuführenden Teile der Fahraufgabe (siehe Kapitel 2.1.2 und 2.3.1) können, entsprechende Fähigkeiten der Systeme vorausgesetzt, in Kooperation bearbeitet oder zwischen Fahrer und Fahrzeug aufgeteilt werden. Die Interaktionsebene gibt somit an, auf welcher Ebene und damit auf welchem Abstraktionsgrad und mit welchem zeitlichen Horizont der Kontakt zwischen Mensch und Automation stattfindet. Die Aufgaben der unter der Interaktionsebene liegenden Ebenen werden – sofern vorhanden – vom Fahrzeug ausgeführt. Die Verantwortlichkeit für die Aufgaben der über der Interaktionsebene liegenden Ebenen liegt beim Fahrer, es kann jedoch auch hier Unterstützung durch Fahrzeugsysteme stattfinden, z.B. in Form eines Navigationssystems. Ein gemeinsames Verständnis von Fahrer und Fahrzeug auf diesen darüber liegenden Ebenen ist aber keine zwingende Voraussetzung, wie das Beispiel des Stauassistenten aus Wimmer (2014) zeigt, der auch ohne eingegebenes Navigationsziel funktionstüchtig ist.

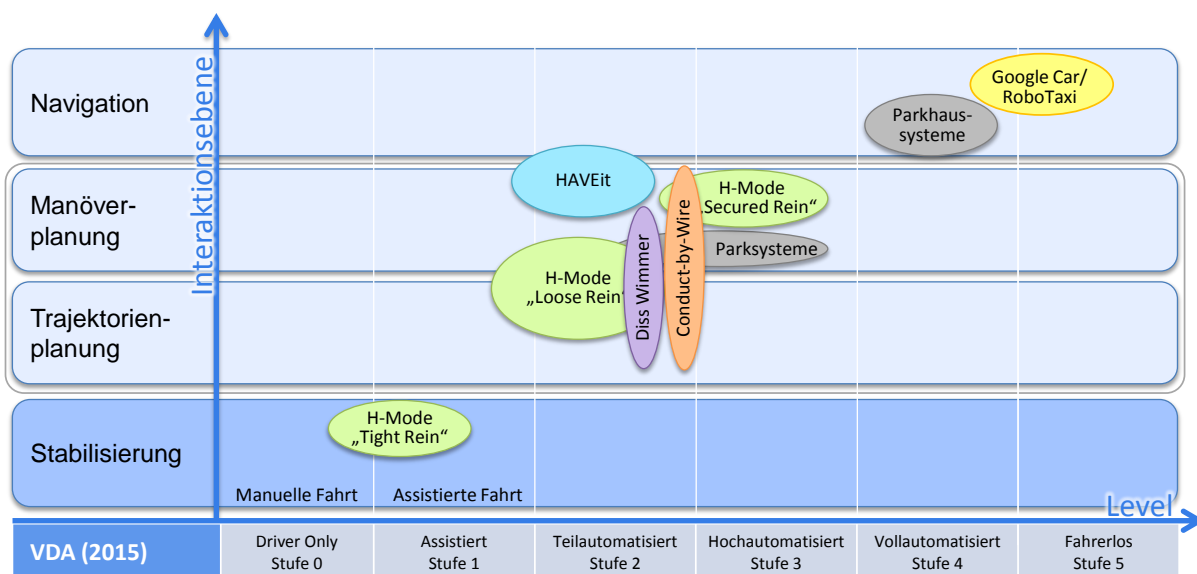


Abbildung 2-14: Einordnung bestehender Konzepte im Automationsraum

Abbildung 2-14 zeigt das resultierende Portfolio. Die in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Systeme sind darin gemäß ihrer Beschreibungen verzeichnet und die Felder für eine reine manuelle Fahrt und die assistierte Fahrt markiert. Zusätzlich sind, stellvertretend für die Vielzahl der in der Öffentlichkeit präsentierten weiteren Projekte oder Fahrzeugkonzepte, drei Beispiele für Systeme eingeordnet, die ebenfalls eine Automation in Fahrzeugen darstellen, sich aber erheblich von dem Gedanken einer kooperativen Fahrzeugführung unterscheiden.

Dies ist zum Einen das als „GoogleCar“ bekannt gewordene Projekt von Google, welches seit 2016 unter dem Firmennamen „Waymo“ weitergeführt wird (Waymo (2017)). Es steht an dieser Stelle stellvertretend für sogenannte RoboTaxis (vgl. z.B. Fleßenkämper (2016)), die keinen Eingriff des Nutzer benötigen und zum Teil – wie der Prototyp „Firefly“ (Waymo, 2017) gar keine Möglichkeit dazu mitbringen (Google Inc. (2015)).

Die zweite Kategorie bilden Systeme für den niedrigen Geschwindigkeitsbereich bzw. das Parken und Rangieren. Dabei existieren einerseits Systeme für automatisiertes Ein- und Ausparken, welche mit und ohne dauerhafte Überwachung bzw. Fahrfreigabe durch den Fahrer das Parkmanöver übernehmen können (siehe bspw. BMW AG (2017) oder Hoberg (2016)). Andererseits werden Systeme gezeigt, die es dem Fahrer ermöglichen sein Fahrzeug an definierten Stellen – beispielsweise an Parkhäusern – abzugeben oder abzuholen, woraufhin das Fahrzeug den Weg zwischen Parklücke und Übergabeort ohne Insassen bewältigt (siehe bspw. Tacke (2012)).

2.4 Fahrerplatz

Die ergonomische Betrachtung von Mensch-Maschine-Systemen (MMS) teilt sich nach Bubb (2015b) in die Analyse und Auslegung des Arbeitsplatzes und der Arbeitsmittel (anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung) auf der einen Seite und des Informationsflusses (Systemergonomie) auf der anderen. Unter die anthropometrische Gestaltung fallen demnach die Auslegung von Seh-, Greif- und Fußraum, von Körperunterstützungen (z.B. von Sitzen) und die Anordnung von Anzeigen und Stellteilen. Die Systemergonomie betrachtet die Struktur der Einbindung des Menschen in das MMS und strebt eine Optimierung der Interaktionsgestaltung an (Bubb, 2015b).

Bezogen auf das Kraftfahrzeug lässt sich feststellen, dass im Grunde seit dem Nachweis der technischen Funktionstüchtigkeit und den ersten erfolgreichen Fahrten Ende des 19. Jahrhunderts neben durch Technik und Sicherheit bedingten Veränderungen, die Verbesserung der Bedienbarkeit durch den menschlichen Fahrer eine

der Haupttriebfedern für Weiterentwicklungen ist. Eine ausführliche, chronologische Übersicht zu den maßgeblichen Entwicklungen auf dem Gebiet der Fahrzeuergonomie findet sich in Akamatsu, Green und Bengler (2013). Für einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand in den einzelnen Themengebieten sei an dieser Stelle auf Bubb, Bengler, Grünen und Vollrath (2015) verwiesen.

2.4.1 Existierende Auslegungskriterien heutiger Fahrerarbeitsplätze

Aus den vorgenannten Erkenntnisbereichen der Ergonomie leiten sich konkrete Forderungen an die Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen ab, siehe dazu Bubb et al. (2015, Kapitel 6-8). Diese bilden im Fahrzeugentwicklungsprozess zusammen mit den Vorgaben aus anderen Bereichen wie Technik, Sicherheit, Design und Vertrieb ein komplexes Anforderungssystem.

Hinsichtlich der Anordnung von Funktionen hat sich wie in Bubb (2015b, S. 15-16) beschrieben eine Quasi-Konvention etabliert. Wie in Abbildung 2-15 zu sehen, werden die Funktionen gruppiert und verschiedenen Bereichen im Fahrzeug-Cockpit zugeordnet. Dabei sind die Anzeigen und Bedienelemente, die der Fahrfunktion zugeordnet sind, vor dem Fahrer mittig platziert, die Bedienung der Lichtfunktionen links vom Lenkrad, die Bedienung und Anzeige von Klima- und Infotainmentfunktionen in der Mittelkonsole und dem darüber liegenden Teil der Instrumententafel (I-Tafel).



Abbildung 2-15: Quasi-Konvention zur Aufteilung des Armaturenbretts, basierend auf der Darstellung aus Bubb (2015b)

Ähnliche Darstellungen finden sich auch in Tönnis, Broy und Klinker (2006), die diese mit einer Zuordnung der Elemente zu den primären, sekundären und tertiären Tätigkeiten des Fahrers verknüpfen oder in Schmid und Maier (2012), die unter Einbezug ergonomischer Kriterien detailliert Anzeige- und Bedienorte in einem „optimalen Basiscockpit“ festlegen. Dort, wie auch in der Zusammenstellung in Bengler, Pfromm und Bruder (2015), wird bereits deutlich, dass sich der Gestaltungsraum in modernen Fahrzeugen auf den gesamten vorderen Bereich des Fahrzeuginnenraums erweitert, um der steigenden Anzahl und Heterogenität der Funktionen Rechnung zu tragen.

Grundsätzlich gestützt werden diese Konventionen durch Normen und Gestaltungsrichtlinien. Für die Anordnung der Bedienelemente der primären und sekundären Fahrtätigkeiten sind hier beispielsweise DIN 73001, welche die Anordnung der Fahrpedale festlegt, oder DIN ISO 4040, in der die Anordnung von Bedienteilen für sekundäre Tätigkeiten wie Blinken und Scheibenwischen und die Sichtbarkeit von Anzeigen wie der Geschwindigkeitsanzeige geregelt ist, zu nennen. Dazu kommen Forderungen an die Gestaltung, wie die systemergonomischen Gestaltungsmaxime (Bubb, Bengler, Breuninger, Gold & Helmbrecht, 2015, S. 260-269) oder die Grundsätze an die Dialoggestaltung in DIN EN ISO 9241-110.

Gleiches gilt für die Gestaltung von Anzeige und Bedienung von Fahrerassistenzsystemen (FAS), Fahrerinformationssystemen (FIS) und tertiären Komfortsystemen, welche für diese Arbeit von besonderer Relevanz sind. Gerade hier haben sich wie in Bengler et al. (2015) beschrieben unterschiedliche Bedienorte im Fahrzeuginnenraum herausgebildet.

Zu den wichtigsten Normen, die sich explizit mit den aus ergonomischen Aspekten ergebenden Anforderungen an FIS und FAS beschäftigen, gehören DIN EN ISO 15005 (Technikunabhängige Betrachtung der Dialoggestaltung), DIN EN ISO 15006 (Ausgabe auditiver Informationen) und DIN EN ISO 15008 (Visuelle Informationsdarstellung). Des Weiteren sind einschlägige Normen zur Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion ebenfalls relevant. Einen guten Überblick tragen Schindhelm et al. (2004), Heinrich (2012) und Franz (2014) zusammen.

Neben den Normen kommt auf dem Gebiet der FIS den als sogenannten „Guidelines“ formulierten Gestaltungszielen eine große Bedeutung zu. Zu den wichtigsten zählen das „European Statement of Principles“ (ESoP) (Europäische Kommission, 2008), die AAM Guidelines (Alliance of Automobile Manufacturers, 2006), die JAMA Guidelines (Japan Automobile Manufacturers Association, 2004) und die Guidelines der NHTSA (NHTSA, 2013b). Ein vergleichender Überblick über diese vier Regelwerke findet sich in Heinrich (2013), ergänzt durch Heinrich (2015).

Im ESoP sind Grundsätze für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle von einzelnen, während der Fahrt nutzbaren Informations- und Kommunikationssystemen zusammengefasst. Diese sind in 34 Zielen formuliert, die – gemäß Bestimmung – die Gestaltung einer „guten Mensch-Maschine-Schnittstelle“ hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit der Nutzung dieser Systeme während der Fahrt unterstützen sollen. Konkrete Zielwerte oder messbare Größen werden nicht definiert. Abgedeckt werden die Kategorien Gesamtdesign, Installation im Fahrzeug, Darstellung von Informationen, Interaktion mit Anzeige und Bedienteilen, Systemverhalten und Informationen zum System. Zusätzlich werden in der vorliegenden, überarbeiteten Fassung Empfehlungen zur sicheren Nutzung ausgesprochen (Recommendation on Safe Use (RSU)). Zu den jeweiligen Entwicklungszielen werden Erklärungen und Beispiele ausgeführt. Ferner finden sich Hinweise auf Systeme, auf die der jeweilige Grundsatz anwendbar ist, Methoden und Möglichkeiten zur Überprüfung sowie Referenzen – meist Normen – auf die sich die Forderung bezieht. Eine Auflistung der Gestaltungsgrundsätze und der RSU findet sich in Tabelle A-5 und Tabelle A-6 in Anhang A.2.

Wie in Heinrich (2013) näher ausgeführt, verfolgen das ESoP und die Guidelines von AAM und JAMA ähnliche Ziele und geben grundlegende Konzepte vor, um den Workload und die Ablenkung des Fahrers zu reduzieren. Im Gegensatz zum ESoP definieren AAM und JAMA Kriterien und objektive Messmethoden für die Erfassung der Fahrerablenkung. Die 2013 verabschiedete Guideline zur visuellen und manuellen Fahrerablenkung der NHTSA (NHTSA, 2013b) greift die AAM-Guideline auf und führt sieben Messmethoden zur Erfassung des Fahrer- Workloads ein. Die Guidelines sind vergleichsweise streng ausgelegt, weshalb in der öffentlichen Diskussion zu diesem Dokument (NHTSA, 2013b, S. 12-65) zahlreiche Bedenken geäußert wurden. Diese betreffen beispielsweise starke Einschränkungen der Funktionen von im Fahrzeug verbauten Geräten während der Fahrt. Sind diese zu groß, wird der Fahrer in der Konsequenz auf die Nutzung ins Fahrzeug eingebrachter Geräte („Nomadic Devices“), wie beispielsweise Smartphones, ausweichen. Diese unterliegen keinerlei Beschränkungen, weisen jedoch im Regelfall kein auf die Nutzung während der Fahrt optimiertes Interface auf, wodurch insgesamt zu einem unsichereren Verhalten der Fahrer beigetragen wird (siehe auch Heinrich (2015) und OICA (2015)).

Alle genannten Guidelines verstehen sich prinzipiell als Richtlinien für fahrzeugintegrierte Systeme, auf deren Anwendung sich – mit Ausnahme der NHTSA-Guideline – die jeweiligen regionalen Automobilherstellervereinigungen selbst verpflichtet haben. Daher haben Sie, wie in Krause und Bengler (2015) dargestellt, einen hohen Stellenwert in der Entwicklung von jeglichen Informations- und Kommunikationssystemen, die im Fahrzeug genutzt werden können.

In der Entwicklung von Anzeige- und Bedienkonzepten für FAS können die oben genannten Guidelines ebenfalls hilfreich sein, auch wenn dort grundsätzlich weitere Aspekte berücksichtigt werden müssen (Europäische Kommission, 2008, S. 3). Entwicklungsgrundsätze, die sich konkret auf die Realisierung von FAS beziehen sind in der Literatur ebenfalls vorhanden. Normen betreffen in diesem Gebiet vorwiegend technische Spezifikationen oder Aspekte der funktionalen Sicherheit.

In dem „Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS“ (CoP) (Knapp et al., 2009), welcher aus dem europäischen Forschungsprojekt RESPONSE 3 hervorgegangen ist, sind Anforderungen, Vorgehensweisen und Checklisten für den Entwicklungsprozess von ADAS zusammengestellt. Der Fokus liegt auf einer sicheren und kontrollierbaren Gestaltung der Systeme auch und vor allem an Systemgrenzen. Dadurch soll kein generisches ADAS-HMI vorgegeben werden, vielmehr sollen den Entwicklern Werkzeuge an die Hand gegeben werden, die eine Integration der Prinzipien in die firmeninternen Entwicklungsprozesse ermöglichen. (Knapp et al., 2009)

Auf internationaler Ebene werden diese Themen in der UN-Arbeitsgruppe „World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations“ (WP.29) diskutiert. Diese unterteilt die Systeme im Fahrzeug in Informationssysteme, warnende Systeme und eingreifende Systeme. Informierende Systeme werden nach (United Nations - Economic Commission for Europe, 2011) bereits durch die oben dargestellten regionalen Guidelines als abgedeckt angesehen.

Richtlinien für warnende Systeme und deren hoch-priore Warnausgaben sind in dem Dokument „Guidelines on establishing requirements for high-priority warning signals“ (United Nations - Economic Commission for Europe, 2011) erfasst und in Tabelle 2-2 dargestellt.

Tabelle 2-2: Grundsätze für hoch-priore Warnungen von ADAS, übersetzt aus United Nations - Economic Commission for Europe (2011)

A. <i>Warnungen mit hoher Priorität sollten im Fahrkontext wahrnehmbar sein</i>
B. <i>Warnungen mit hoher Priorität sollten von anderen Benachrichtigungen im Fahrzeug unterscheidbar sein</i>
C. <i>Warnungen mit hoher Priorität sollten einen räumlichen Bezug zum Ort der Gefahr haben</i>
D. <i>Warnungen mit hoher Priorität sollten den Fahrer über die Nähe zur Gefahr informieren</i>
E. <i>Warnungen mit hoher Priorität sollten zeitnahe Reaktionen oder Entscheidungen hervorrufen</i>
F. <i>Mehrere [gleichzeitig auftretende] Warnungen sollten priorisiert werden</i>
G. <i>Falsche Warnungen und Fehlalarme sollten nur in geringer Häufigkeit auftreten</i>
H. <i>Systemstatus und eingeschränkte Leistung der Systeme mit hoch-prioren Warnungen sollten angezeigt werden</i>

Anforderungen an eingreifende Systeme wurden im Januar 2014 in der revidierten Fassung der Resolution zur Konstruktion von Fahrzeugen verabschiedet (United Nations - Economic Commission for Europe, 2014). In Annex 5 (S.90-102) sind dort Design Principles für Anzeige- und Bediensysteme von kontinuierlich wirkenden Assistenzsystemen aufgeführt. Diese insgesamt zwölf Gestaltungsregeln untergliedern sich in vier Anwendungsfelder, wie in Tabelle 2-3 ersichtlich.

Tabelle 2-3: Design- Grundsätze für ADAS, übersetzt aus United Nations - Economic Commission for Europe (2014)

1. Kontrollierbarkeit des Systems (Control Elements)	
a)	Aktionen des Systems sollten, in normalen Fahrzuständen und wenn Kollisionen vermeidbar sind, zu jeder Zeit einfach übersteuerbar sein.
b)	Wenn eine Kollision als unmittelbar bevorstehend erkannt wird, kann das System Aktionen ausführen, die dazu bestimmt sind diese zu verhindern und/ oder die Unfallschwere zu reduzieren
2. Funktionale Systemgestaltung (Operational Elements)	
a)	Systeme, die in normalen Fahrsituationen wirken, sollten durch den Fahrer manuell von EIN auf AUS schaltbar sowie dauerhaft deaktivierbar sein.
b)	Systeme, die in kritischen Situationen wirken, sollten im initialen Zustand auf EIN geschaltet sein.
3. Systemrückmeldungen (Display Elements)	
a)	Fahrer sollten eine deutliche Rückmeldung erhalten, die darüber informiert wenn das System aktiv in die Fahrzeugführung eingreift und die Geschwindigkeit und/oder die Querführung kontrolliert.
b)	Fahrer sollten über den Systemzustand informiert werden wenn das System eine Fehlfunktion hat oder ein Fehler vorliegt
c)	Der Fahrer sollte informiert werden wenn das System wahrnimmt, dass die Konditionen so sind, dass die normale Systemleistung nicht sichergestellt werden kann.
d)	Fahrer sollten über jeglichen systeminitiierten Übergang der Kontrolle zwischen Fahrer und Fahrzeug benachrichtigt werden
4. Ergänzende Maßnahmen (Supplementary Elements)	
a)	In Fällen, in denen Systeme automatisch die Längs- und Querführung des Fahrzeugs kontrollieren und die Aufgabe des Fahrers darin besteht die Systemhandlungen zu überwachen, sollten angemessene Maßnahmen in Erwägung gezogen werden, die den Fahrer dazu auffordern dem Fahrzeug, der Straße und der Verkehrssituation Aufmerksamkeit zu schenken.
b)	Fahrer sollten vor der Nutzung über den richtigen Gebrauch des Systems aufgeklärt werden.
c)	Falls Symbole zur Information des Fahrers verwendet werden, sollte, falls verfügbar, ein Standardsymbol verwendet werden.
d)	Aktionen des Systems, die die Aufmerksamkeit anderer Verkehrsteilnehmer erfordern, sollten den anderen Verkehrsteilnehmern angezeigt werden.

Eine Besonderheit bietet ein Anhang an den Annex 5 (United Nations - Economic Commission for Europe, 2014, S. 96-102), in dem bereits das Thema Automatisierung von Fahraufgaben und die daraus erwachsenden Herausforderungen angeführt werden, ohne jedoch konkrete Richtlinien dazu abzuleiten.

2.4.2 Änderung der Anforderungen durch automatisiertes Fahren

Die Betrachtung der Richtlinien, Empfehlungen und Normen, die in der Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen zu Grunde gelegt werden, zeigt, dass diese zumeist in Hinblick auf das manuelle Fahren und die heute verfügbaren Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme entwickelt worden sind. So wird beispielsweise im ESoP ausgeführt: *„Da der Fahrer primär für das sichere Führen seines Fahrzeugs in einer komplexen und dynamischen Verkehrsumgebung zuständig ist, besteht das primäre Ziel der Grundsätze in der Erfüllung dieser Anforderung.“* (Europäische Kommission, 2008)

Mit der Einführung von automatisierten Systemen in der Fahrzeugführung ändert sich das Zusammenspiel zwischen Fahrer und Fahrzeug grundlegend, wie in Kapitel 2.3 thematisiert. Damit geht eine Änderung der Aufgabeninhalte wie auch der Aufgabencharakteristik des Fahrers einher. Die aktive Tätigkeit als Fahrzeugführer unterscheidet sich von der passiven Überwachungstätigkeit in der Teilautomation (Level 2) oder einer möglichen komplett freien Zeitnutzung in den höheren Automationsstufen (ab Level 3) deutlich.

Eine kritische Auseinandersetzung mit den in Kapitel 2.4.1 dargestellten Anforderungen bezüglich einer direkten Übertragbarkeit auf die Gestaltung der Nutzerschnittstelle und des umgebenden Fahrerplatzes für automatisierte Fahrzustände erscheint daher notwendig und sinnvoll.

Grundsätzliche ergonomische Forderungen werden auch für die automatisierte Fahrt aufrecht erhalten. Forderungen, die in den oben genannten Quellen konkret im Hinblick auf das Wirkgefüge zwischen Fahrer und FIS oder FAS formuliert wurden und beispielsweise auf eine Minimierung der Ablenkung des Fahrers von der primären Fahraufgabe abzielen, wird mit steigendem Automationsgrad allerdings die Grundlage entzogen, siehe auch Flemisch et al. (2014, S. 357-358). Zusätzlich leiten sich aus den Spezifika der jeweiligen Automationsstufe neue Anforderungen an Fahrerplatz und Interaktion ab, womit sich in der Zusammenstellung über alle Automationsstufen das in Abbildung 2-16 dargestellte Bild ergibt.

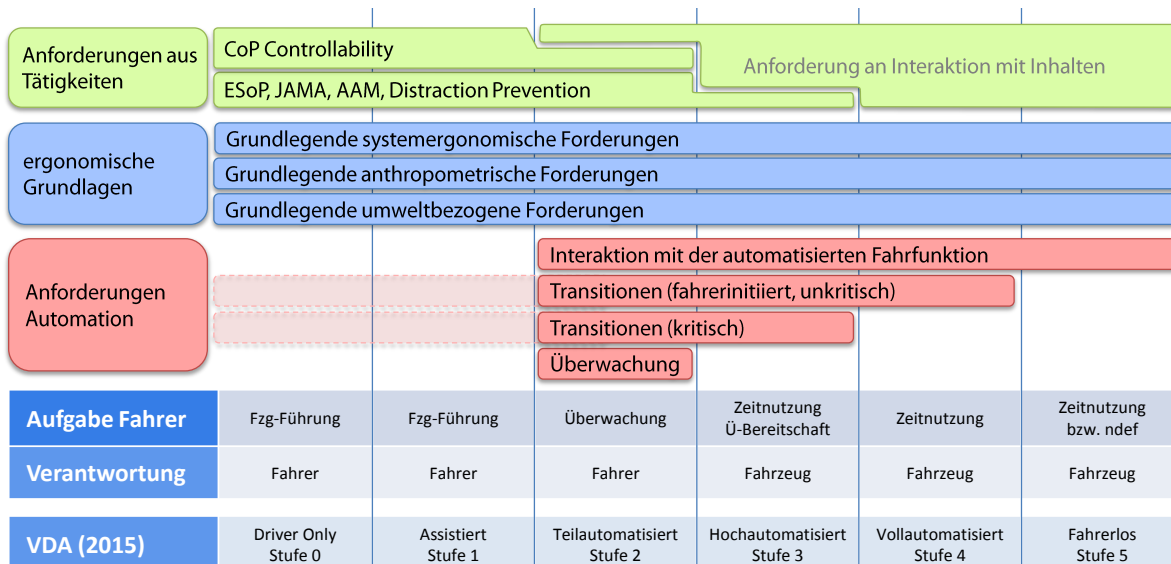


Abbildung 2-16: Gültigkeit der Anforderungen abhängig von Automationsstufen

Aus der Zusammenstellung wird ersichtlich, dass sich aus den definierten Automationsstufen wesentliche Unterschiede ergeben, da diese die Veränderung der Verantwortlichkeiten zwischen Fahrer und Fahrzeug festlegen:

In der Teilautomation muss der Fahrer in seiner (neuen) Eigenschaft als verantwortlicher Systemüberwacher bestmöglich unterstützt werden. Die Gestaltung des Fahrerplatzes wird sich dementsprechend auf eine optimale Vermittlung des Systemzustands und der Darstellung der Systemgrenzen ausrichten. Dies lässt sich in Teilen schon in der Regelung der UNECE (United Nations - Economic Commission for Europe, 2014) wiederfinden, wo diesem Umstand beispielsweise bei den Forderungen an Anzeigeelemente und unter Punkt 4a Rechnung getragen wird. Auch die Forderungen an die Informations- und Kommunikationssysteme, die darauf abzielen, die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht von dessen Hauptaufgabe abzulenken, werden daher weitgehend aufrecht erhalten werden können. Franz (2014, S. 40) tut dies beispielsweise in der Entwicklung des Bedienkonzepts „pieDrive“ für das teilautomatisierte „Conduct-by-Wire“ Konzept (siehe Kap. 2.3.3.4) vollumfänglich. Die Spielräume für fahrfremde Tätigkeiten sind in dieser Stufe gering.

In den höheren Automationsstufen (ab Level 3) bieten sich – dadurch, dass der Fahrer nicht mehr dauerhaft die Verantwortung für die Fahraufgabe hat – neue Potentiale und neue Freiheiten in der Gestaltung von fahrfremden Tätigkeiten (FFT) und Automationssystembedienung, die mit einer durchgehenden Verantwortlichkeit und einer permanent notwendigen Systemüberwachung nicht vereinbar wären (siehe auch Spoelder und Abel (2013)).

Dabei bleibt in der Hochautomation zu beachten, dass der Fahrer nach wie vor an Systemgrenzen nach Aufforderung des Systems die Fahrzeugführung übernehmen können muss. In die Anforderungen dieser Stufe fließen somit neben den Anforderungen für unkritische Modusübergänge und eine optimale Bedienbarkeit von Fahrfunktion und fahrfremder Tätigkeit ebenfalls die Anforderungen ein, die kritische Transitionen für den Fahrer wahrnehmbar und beherrschbar machen. Dies bedeutet, dass unter anderem die Teile der oben genannten Richtlinien ihre Anwendbarkeit behalten, die die Wahrnehmbarkeit und Darbietung von Systemmeldungen adressieren.

Für den Innenraum sind in Fahrzeugen, in denen weiterhin eine manuelle oder assistierte Fahrt möglich und nötig ist, gemäß Winner und Wachenfeld (2015) keine größeren Konzeptveränderungen zu erwarten: So wird ein instrumentierter Fahrerarbeitsplatz in der vorderen Reihe immer notwendig sein, auch wenn es alternative Steuerungskonzepte für die nicht automatisierten Phasen geben kann. Während der automatisierten Phasen bietet sich der Spielraum, den Innenraum an die mögliche Nutzung des „Alternativprogramms“ anzupassen – genannt werden Arbeiten, Unterhaltung, Erholung und Kommunikation. Dies ist insofern wichtig, als dass diese wie in Kapitel 2.2.3.2 aufgezeigt als Nutzen des automatisierten Fahrens gesehen werden. Auch Untersuchungen von Carsten, Lai, Barnard, Jamson und Merat (2012) belegen, dass tatsächlich mit steigendem Automationsgrad die Bereitschaft zunimmt, sich während der Fahrt fahrfremden Tätigkeiten zuzuwenden.

In den folgenden Abschnitten werden konkrete Anforderungen zusammengetragen, die aus der Assistenz- und Automationsforschung bekannt sind und sich potentiell auch auf die hochautomatisierte Stufe anwenden lassen. Die Zusammenstellung basiert auf der in Bissbort (2015) dargestellten, breit angelegten Sammlung und erweitert diese. Ob die Forderungen tatsächlich ihre Gültigkeit behalten können, kann und soll an dieser Stelle jedoch nicht abschließend beurteilt werden.

2.4.2.1 Interaktion mit der Fahrfunktion

Aus der Automationsforschung in anderen Domänen, wie sie in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 aufgezeigt wird, sind bereits Grundsätze zur Systemgestaltung und zur Gestaltung einzelner Teilaufgaben bekannt. Im Bereich der Luftfahrt werden beispielsweise in Wiener und Curry (1980) sogenannte „design decisions“ diskutiert und „automation guidelines“ für die beiden Aufgabenfelder Steuerung und Systemüberwachung abgeleitet. Billings (1991, S. 81-93) greift diese Überlegungen auf und erweitert sie auf die Themengebiete der „Information Automation“, der „Management

Automation“ sowie um allgemeine Grundsätze einer „Human-Centered Automation“, welche in Tabelle 2-4 verzeichnet sind.

Tabelle 2-4: Allgemeine Grundsätze einer Mensch-zentrierten Automation nach Billings (1991, S. 81-82)

1. <i>The human operator must be in command.</i>
2. <i>To command effectively, the human operator must be involved.</i>
3. <i>To be involved, the human operator must be informed.</i>
4. <i>The human operator must be able to monitor the automated systems.</i>
5. <i>Automated systems must be predictable.</i>
6. <i>The automated systems must also be able to monitor the human operator.</i>
7. <i>Each element of the system must have knowledge of the others' intent.</i>
8. <i>Functions should be automated only if there is a good reason for doing so.</i>
9. <i>Automation should be designed to be simple to train, to learn, and to operate.</i>

Flemisch et al. (2014) und Flemisch, Kelsch, Löper, Schieben und Schindler (2008) zeichnen den Weg weiter, von dieser Mensch-zentrierten Automation in der Domäne der Luftfahrt, hin zu einer kooperativen Automation in der Fahrzeugführung, wie sie in den in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Projekten angewandt wird. Auch Biester (2004) nutzt auf der Basis von Herczeg (2002) grundsätzlich diese Prinzipien für den Entwurf kooperativer Systeme in der Fahrzeugführung. Flemisch et al. (2014) legen weiterhin nahe, dass eine Kooperation von Fahrer und Automation die beste Voraussetzung für weitere Fortschritte im Bereich von Sicherheit und Komfort bietet und dass diese kooperative Zusammenarbeit auch in hohen Automationsstufen anwendbar ist, in denen der Fahrer zumindest zeitweise „out-of-the loop“ ist.

Aus den in Kapitel 2.3.3 benannten Projekten zur kooperativen Fahrzeugführung werden in Löper et al. (2008) Anforderungen an eine kooperative Automation definiert. Daraus werden die in Tabelle 2-5 dargestellten Anforderungen in die Konzeptentwicklung in dieser Arbeit aufgenommen.

Tabelle 2-5: Anforderungen an eine kooperative Automation angelehnt an Löper et al. (2008)

1. Herstellen einer „Automation Awareness“ durch Kommunikation der von der Automation gewählten Strategien.
2. Unterstützung der Bildung eines Mentalen Modells der Automation durch Transparenz der ausgeführten oder anstehenden Aktionen.
3. Herstellen von innerer und äußerer Kompatibilität zwischen Mensch und Automation <ul style="list-style-type: none"> • Physische Passung an Schnittstellen (Sinnesorgane, Extremitäten) zu Ein- und Ausgabeelementen • Übereinstimmende Modularisierung, Hierarchisierung oder zeitliche Einteilung zu erfüllender Teilaufgaben • Übereinstimmende Bewertung von Situationen
4. Ermöglichen einer Kommunikation zwischen Fahrer und Automation in allen Phasen der Aufgabenbearbeitung und Visualisierung der Systemreaktionen.
5. Dynamische Verschiebbarkeit der Anteile an der Aufgabenbearbeitung zur Maximierung der Synergien der Kooperation.

Des Weiteren können aus den Anforderungen, welche in Franz (2014) zusammengestellt sind, die in Tabelle 2-6 dargestellten Anforderungen an die Interaktionsgestaltung während der aktiven Automation entnommen werden. Für die jeweilige originäre Herkunft der Forderung sei auf die Aufstellung in Franz (2014) verwiesen.

Tabelle 2-6: Anforderungen an die Interaktionsgestaltung angelehnt an Franz (2014)

1. Die Eingabe von Manövern muss möglich sein.
2. Die Eingabe von Parametern muss möglich sein.
3. Das System muss jederzeit deaktivierbar sein.
4. Der Manöverzustand muss jederzeit erkennbar sein.
5. Die Parametrierung muss jederzeit erkennbar sein.
6. Die Rückmeldung nach Befehlseingaben und bei Manövern muss zeitnah ($t < 0.25s$) erfolgen.
7. Der Fahrer muss über eine verzögerte Manöverausführung informiert werden.
8. Die Auswirkung des aktiven Manövers ist erkennbar.
9. Ein Moduswechsel muss während der Fahrt möglich sein.
10. Der aktuelle Modus muss jederzeit erkennbar sein.
11. Die Erfüllung tertiärer Fahraufgaben muss möglich sein.
12. Dem Fahrer werden alle benötigten Informationen zum Führen des Fahrzeugs dargestellt
13. Alle Eingaben haben genau eine eindeutige Wirkung.

In der Arbeit von Wimmer (2014, S. 55-58) findet sich ebenfalls eine Auflistung von Anforderungen, die den dort entwickelten Interaktionskonzepten zu Grunde gelegt sind. Daraus werden die in Tabelle 2-7 aufgelisteten Anforderungen für die Konzeptentwicklung übernommen.

Tabelle 2-7: Übernommene Anforderungen an das Interaktionskonzept aus Wimmer (2014)

1.	<i>Sicherstellen von Situationsbewusstsein und motorischer Handlungsfähigkeit (Aufmerksamkeitsfokussierung auf „Region of Interest“ und einsatzbereite Hände)</i>
2.	<i>Kommunikation aktueller Systemzustände und des Automationsgrades</i>
3.	<i>Steuerbarkeit – keine Bevormundung des Benutzers durch das System durch z.B. Sollbearbeitungszeiten</i>
4.	<i>Anordnung von Anzeigen im Gesichts- / Blickgesichtsfeld</i>
5.	<i>Attraktives Bedienerlebnis(Joy-of-Use) und ansprechendes Design</i>

Diese Anforderungen weisen alle einen direkten Bezug auf die Interaktion mit der aktiven automatisierten Fahrfunktion im normalen, störungsfreien Betrieb auf. Sie bilden somit den ersten wichtigen Bereich an Grundlagen für die Entwicklung der Interaktions- und Fahrerplatzkonzepte ab.

2.4.2.2 Transitionen

Ein weiterer zu betrachtender Bereich ergibt sich aus den Übergängen zwischen den Automationsstufen (siehe auch Kapitel 2.3.1). In Bezug auf die Anforderungen ergeben sich Unterschiede zwischen kritischen und unkritischen Transitionen, wie bereits in Abbildung 2-16 dargestellt.

2.4.2.2.1 Kritische Transitionen

Kritische Transitionen stehen für die Moduswechsel, in denen das Fahrzeug bei Systemfehlern oder unvorhergesehenem Erreichen von Systemgrenzen den Fahrer zur Übernahme auffordert, mit dem Ziel die Fahraufgabe schnell und sicher an den Fahrer zu übergeben.

Laut Definition der Hochautomation hat die zur Verfügung stehende Zeitreserve „ausreichend“ für die Übernahme zu sein. Das Erkennen der Systemgrenze und das Aufrechterhalten der sicheren automatischen Fahrzeugführung, auch nach Fehlfunktionen oder Defekten, ist eine erhebliche technische Herausforderung, weshalb die systemseitig realisierbare Zeit in Abhängigkeit von Notlauffähigkeiten, Sensorreichweiten und gefahrener Geschwindigkeit begrenzt ist. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit, neben der Herstellung der motorischen Handlungsfähigkeit, vor allem

die kognitive Erfassung der Situation und das Finden und sichere Implementieren einer Handlungsalternative erfolgen muss, steht der technischen Betrachtung eine Bewertung der vom Menschen benötigten Zeit gegenüber. Welche Zeitreserve aus ergonomischer Sicht als ausreichend bezeichnet werden kann, damit der Übernahmeprozess erfolgreich und sicher durchgeführt werden kann und welche Haupteinflussgrößen es darauf gibt, ist ein eigenes Forschungsgebiet. Für einen guten Überblick dazu sei an dieser Stelle auf Damböck, Farid, Tönert und Bengler (2012), Damböck (2013), Gold, Damböck, Lorenz und Bengler (2013), Zeeb, Buchner und Schrauf (2015) und Gold (2016) verwiesen. Die Definition konkreter Richtlinien, welche Maßnahmen in der Gestaltung von Fahrerplatz oder Interaktion ergriffen werden können, um die Übernahmeleistung zu erhöhen, ist bisher in dieser Form nicht erfolgt. Vielmehr ergeben sich Hinweise auf potentiell hilfreiche Maßnahmen:

Damböck (2013) nennt die Einbindung des Fahrers in die Fahraufgabe und die Sicherstellung einer ausreichenden Situation Awareness bereits während der störungsfreien Fahrt als Möglichkeit, den Fahrer im Falle einer kritischen Übernahme schnell zurückholen zu können. Beispiele dafür finden sich in Wulf, Zeeb, Rimini-Döring, Arnon und Gauterin (2013) und Wulf, Rimini-Döring, Arnon und Gauterin (2015). Dort wird die Darstellung eines Livevideos der Szenerie neben der dargebotenen fahrfremden Tätigkeit in der Mittelkonsole mit einer positiven Wirkung auf die Situation Awareness getestet. Der Effekt einer verbesserten Übernahme ließ sich von Wulf et al. (2013) jedoch nicht nachweisen. Vor ähnlichem Hintergrund können die Untersuchungen von Kleen et al. (2014) betrachtet werden. Sie liefern Hinweise darauf, dass eine abstrakte Darstellung der Umgebung, hier mittels eines „Rahmens“ um eine Video-App auf einem Tablet, das Abfallen der Situation Awareness während der Beschäftigung mit einer fahrfremden Tätigkeit verhindern kann.

Bezüglich der Gestaltung der Übernahmeaufforderung kann angenommen werden, dass die bekannten Grundsätze für hochpriorie Warnsignale aus United Nations - Economic Commission for Europe (2011) (siehe auch Tabelle 2-2) Beachtung finden sollten. Eine weitere, ebenfalls aus dem Bereich der warnenden Assistenzsysteme bekannte Forderung von Wolf, Zöllner und Bubb (2005), gewinnt vor dem Hintergrund eventuell ausgeführter fahrfremder Tätigkeiten an Bedeutung: Die Warnung bzw. Übernahmeaufforderung sollte multimodal und gut wahrnehm- bzw. von anderen Informationen abgrenzbar gestaltet sein. Weiterhin schlagen Petermann-Stock, Hackenberg, Muhr und Mergl (2013) vor, eine verständliche Handlungsanweisung in die Übernahmeaufforderung mit aufzunehmen.

2.4.2.2.2 Unkritische Transitionen

Unkritische Moduswechsel beschreiben alle anderen Transitionen, die sowohl vom System als auch vom Fahrer initiiert werden können und eine sichere, geordnete und komfortable Übergabe der Fahraufgabe zum Ziel haben.

Die vom System ausgehenden Moduswechsel umfassen vor allem länger bekannte Systemgrenzen, beispielsweise das nahende Ende des Anwendungsfalls basierend auf Daten der Routenplanung im Navigationsgerät. Diese können ohne Zeitdruck vorbereitet werden und müssen erst wenn der Fahrer bis kurz dem Erreichen der Systemgrenze nicht übernimmt in kritische Übernahmeaufforderungen eskaliert werden. Vom Fahrer angestoßene Moduswechsel können grundsätzlich in beide Richtungen ablaufen und decken die „normale“ Aktivierung und Deaktivierung des Systems ab. In diesen Fällen steht also mehr die Systemtransparenz und die Nachvollziehbarkeit der wechselnden Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Vordergrund.

Petermann und Schlag (2010) empfehlen dazu maximal drei eindeutig voneinander abgrenzbare Systeme oder Funktionsumfänge im Fahrzeug zu integrieren, da, wie in Petermann-Stock (2015) beschrieben, für die Fahrer eher die Schwierigkeit in der Differenzierung unterschiedlicher verbleibender Anteile der Fahraufgabe liegt, als in der reinen Erfassung oder Bedienung eines klar abgegrenzten Modus. Vor diesem Hintergrund wird bei einer weitgehenden Entbindung aus dem Regelkreis, wie sie in der Hochautomation vorliegt, eine „Entweder-Oder-Logik“ empfohlen. Eine Implementierung oder gar stufenweise Aktivierung über ähnliche, beispielsweise teilautomatisierte Systemausprägungen, sollte vermieden werden. Petermann und Kiss (2009) schlagen zudem vor, den Fahrer immer über den höchsten verfügbaren Automationsgrad zu informieren, um ihn in der Bildung eines korrekten mentalen Modells der vorliegenden Automation zu unterstützen.

3 Forschungsbedarf und methodische Herangehensweise

Wie in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt, wird in der Automatisierung der Fahrzeugführung ein erhebliches Potential für die Erhöhung von Komfort, Sicherheit und Effizienz gesehen. Dabei sind die Einflüsse auf die Letztgenannten noch durch Berechnungen abschätzbar, wie beispielsweise in Winkle (2015), Cacilo et al. (2015) oder Wachenfeld und Winner (2015, S. 441) dargestellt. Die Bestimmung subjektiver Größen sowie der Akzeptanz hingegen ist zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung einer neuen Technologie nicht nur methodisch kompliziert, wie in Kapitel 2.2.3.1 thematisiert, sondern hängt entscheidend von der Gestaltung des Zusammenspiels zwischen Mensch und System ab. Bengler und Zimmermann et al. (2012) benennen in diesem Zusammenhang die Untersuchung von menschenbezogenen Faktoren wie User Experience und Trust als Untersuchungsschwerpunkte auf dem Forschungsfeld der kooperativen Automation.

Bisherige Projekte, wie sie in Kapitel 2.3.3 dargestellt sind, beschäftigen sich vorrangig mit der Frage, wie Interaktionskonzepte aussehen können, die den Fahrer im teilautomatisierten Betrieb im Regelkreis eingebunden halten oder eine dauerhafte Überwachung sicherstellen. Eine Nutzung der Fahrzeit für andere Tätigkeiten als die Fahrzeugführung ist damit nicht vereinbar und somit in dieser Stufe nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Mit der Übertragung der Verantwortlichkeit auf das System bieten die höheren Automationsstufen (ab Level 3) für den Fahrer die Möglichkeit, die Fahrzeit für fahrfremde Tätigkeiten zu nutzen, wie es in den in Kapitel 2.2.3.2 angeführten Studien deutlich als Mehrwert des automatisierten Fahrens formuliert wird.

Aus der Übersicht in Kapitel 2.3.4 wird deutlich, dass die Automationsstufen drei und vier in der Erforschung der Nutzerschnittstelle für den normalen automatisierten Fahrbetrieb in den bekannten Projekten bisher nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben und nicht systematisch betrachtet wurden. Somit lässt sich gerade für die Stufen, die potentiell einen höheren Kundennutzen aufweisen, keine ausreichende Aussage bezüglich einer optimalen Gestaltung der Aufgabenverteilung treffen.

In der vorliegenden Arbeit wird daher die Gestaltung von Interaktion und Aufgabenverteilung in den höheren Automationsstufen untersucht. Stellvertretend erfolgt dabei die Betrachtung der Hochautomation, da in dieser der Fahrer per Definition im Notfall zu einer Übernahme aufgefordert wird und die Fahraufgabe in einer angemessenen Zeit wieder übernehmen muss. Basierend auf der Definition der Hochautomation (vgl. Kapitel 2.2.1), kann nach heutigem Stand davon ausgegangen werden, dass

ebenso ein manueller oder assistierter Modus für die Fahrten außerhalb des spezifischen Anwendungsfalls verfügbar sein muss. Eine wesentliche Forderung an die Interaktionskonzepte für die automatisierte Fahrt ist daher die Integrierbarkeit in ein Fahrerplatzkonzept, das alle im Fahrzeug verfügbaren Modi unterstützt.

Daraus abgeleitet lässt sich die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit wie folgt formulieren:

- Welchen Gestaltungsprinzipien sollten Fahrerplatzkonzepte folgen, die eine Nutzung der erweiterten Beschäftigungsmöglichkeiten während einer hochautomatisierten Fahrt ermöglichen und zugleich dazu beitragen, unerwünschte Automatonseffekte zu mindern?

Zur Beantwortung dieser Frage werden zwei Schwerpunkte definiert:

- Wie sollten die Fahraufgaben im Mensch-Maschine-System verteilt und wie können Konzepte für die Interaktion mit den verbliebenen Teilen der Fahraufgabe gestaltet sein?
- Wie kann ein Fahrerplatzkonzept für ein Fahrzeug aussehen, in dem neben der hochautomatisierten weiterhin eine manuelle und assistierte Fahrt möglich ist?

In der Untersuchung der Aufgabenverteilung richtet sich die Bewertung hauptsächlich daran aus, ob die gewählte Aufteilung von den Nutzern akzeptiert wird. Im Hinblick auf eine sinnvolle Integration in ein Fahrerplatzkonzept soll zusätzlich untersucht werden, welches Verhalten die Nutzer darin zeigen, während sie mit dem automatisierten System interagieren. Sofern möglich werden aus den Ergebnissen der Untersuchungen Gestaltungsziele bzw. -prinzipien abgeleitet und in Anforderungen an die Gestaltung von Fahrerplätzen, die sowohl die manuelle/assistierte als auch eine hochautomatisierte Fahrt ermöglichen, überführt.

Die methodische Vorgehensweise erfolgt ausgerichtet an den Teilfragen ebenfalls zweistufig und bietet damit hinsichtlich der Ausgestaltung der Interaktion zusätzlich die Möglichkeit eines Iterationsschrittes.

Im ersten Schritt wird der Frage nachgegangen, welche Aufgabenverteilung für die hochautomatisierte Fahrt aus Nutzersicht vielversprechend ist. Dazu werden in einer ersten Konzeptphase Interaktionskonzepte entwickelt, die ein breites Spektrum der möglichen Aufgabenverteilung systematisch abbilden. Diese werden prototypisch in einen Versuchsträger integriert und im Rahmen einer Realfahrtstudie hinsichtlich der Nutzerakzeptanz evaluiert.

Die Resultate bezüglich der Aufgabenzuordnung und der notwendigen Interaktionen zwischen Fahrer und Automation dienen – neben den aus der Literatur bekannten Anforderungen – als Eingangsgröße für eine erste Zielformulierung zur Gestaltung eines Fahrerplatzes, der sowohl das manuelle/assistierte Fahren als auch das hochautomatisierte Fahren unterstützt. Ausgerichtet an diesen Zielen werden daraufhin im zweiten Schritt ein Fahrerplatzkonzept zur Evaluation im Realfahrtversuch entworfen und in den Versuchsträger integriert. In diesem wird die Akzeptanz darin darstellbarer Interaktionskonzepte erhoben sowie, auf deskriptiver Basis, das Verhalten der Nutzer im Zusammenhang mit angebotenen fahrfremden Tätigkeiten beobachtet und interpretiert.

Im Anschluss daran werden die Ergebnisse diskutiert und in ihrer Aussagekraft und Übertragbarkeit auf allgemeine Richtlinien zur Gestaltung des Fahrerplatzes bewertet. Wo möglich werden daraus allgemeine Gestaltungsrichtlinien formuliert.

Die Untersuchungen erfolgen am fiktiven System eines sogenannten „Autobahnpiloten“, welches unter Zugrundelegung typischerweise diskutierter Einsatzszenarien (z.B. Cacilo et al. (2015)) einen absehbaren Anwendungsfall zukünftiger hochautomatisierter Systeme abbildet. Die in diesem Anwendungsfall zu erledigenden Aufgaben lassen sich vergleichsweise gut abgrenzen, da nur eine begrenzte Anzahl an Fahrmanövern auftritt. Ausgehend von den zahlreichen in der Literatur existierenden Manöverkatalogen (z.B. Nagel, Enkelmann und Struck (1995), Vollrath, Schießl, Altmüller, Dambier und Kornblum (2005) oder Dambier (2010)) lässt sich für Fahrten auf Autobahnen das typischerweise notwendige Manöverrepertoire reduzieren. Für diese Arbeit wird davon ausgegangen, dass sich alle notwendigen Manöver über die Fahrt im Fahrstreifen mit Freifahrt und Folgefahrt sowie Fahrstreifenwechsellvorgänge nach links und rechts abbilden lassen. Überholmanöver ergeben sich aus der Kombination der oben dargestellten Grundmanöver.

Das System wird in einem Versuchsfahrzeug prototypisch umgesetzt und für Probanden auf einer Teststrecke erlebbar gemacht. Dadurch wird einerseits ein Erleben des automatisierten Fahrens und des Interaktionskonzeptes möglich, was als sinnvolle Grundlage für die Bewertung der Akzeptabilität gesehen werden kann (vgl. Kapitel 2.2.3). Andererseits können Beeinträchtigungen in der Bewertung, die aus den begrenzten Darstellungsmöglichkeiten in einem Fahrsimulator herrühren (siehe bspw. Negele (2007) oder Winter, van Leuween und Happee (2012)) ausgeschlossen werden.

4 Studie 1 – Interaktionskonzepte für die hochautomatisierte Autobahnfahrt

Zur Beantwortung der in Kapitel 3 definierten ersten Teilfrage wird eine explorative Studie zur Untersuchung der durch den Fahrer gewünschten und akzeptierten Interaktion mit einer hochautomatisierten Grundfunktion durchgeführt. Dazu werden Interaktionskonzepte entworfen, in einem Versuchsträger prototypisch umgesetzt und in einem Fahrversuch mit Probanden evaluiert. Die Evaluation der Konzepte ist auch in der Abschlussarbeit von Schmidt (2014) dargestellt. Ausgewählte Ergebnisse des Versuches sind in Albert, Lange, Schmidt, Wimmer und Bengler (2015) veröffentlicht.

Die inhaltliche Struktur dieses Kapitels beginnt mit der theoretischen Herleitung der zu untersuchenden Konzepte in Kapitel 4.1. Daran schließt sich in Kapitel 4.2 die Darstellung der Umsetzung der Konzepte für die Studie an. In Kapitel 4.3 werden die zu beantwortenden Forschungsfragen aufgeführt und in Kapitel 4.4 die eingesetzte Methodik beschrieben. Kapitel 4.5 stellt die relevanten Ergebnisse zusammen, welche in Kapitel 4.6 diskutiert werden. Kapitel 4.7 schließt das Kapitel mit dem Fazit zu diesem ersten Untersuchungsschritt ab.

4.1 Ableitung zu untersuchender Ausprägungen

Wie in den Kapiteln 2.3.3 und 2.3.4 diskutiert, bietet das Paradigma der kooperativen Fahrzeugführung ein breites Spektrum an möglichen Ausprägungen der Kooperation. Zur Stützung des systematischen Vorgehens wird das aus Kapitel 2.3.4 bekannte Diagramm (Abbildung 2-14) herangezogen. Wie in Flemisch et al. (2015, S. 1106) beschrieben, erstreckt sich der Gestaltungsraum für die Kooperation über alle vier Ebenen der Fahraufgabe: Navigation, Manöverplanung, Trajektorienplanung und Stabilisierung. Ein Übergang der Kontrolle über die Fahraufgabe kann theoretisch auf jeder der Ebenen eingerichtet werden.

Für den Entwurf der Interaktion mit dem System werden daher vier Konzepte entwickelt, welche jeweils eine Interaktion auf einer der Ebenen vorsehen, siehe Abbildung 4-1. Dies geschieht nach der Definition in Flemisch et al. (2015, S. 1107) seriell, das heißt es kommt auf der jeweiligen Ebene zur Übergabe der Kontrolle und Verantwortung an die Automation. Die darunterliegenden Ebenen werden nur noch vom Fahrzeug ausgeführt, der Fahrer davon entbunden.

Die konkreten Unterschiede lassen sich anhand der im Anwendungsfall Autobahn zu erledigenden Aufgaben beschreiben. Gemäß Christen und Huang (2008) und der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (2010) können diese in Phasen unterteilt werden: „Zunächst wird ein Spurwechselwunsch abhängig von der Zufriedenheit auf der Fahrspur gebildet. Anschließend wird die Durchführbarkeit überprüft. Schließlich beginnt bei positivem Ergebnis der Spurwechsel.“ (Christen & Huang, 2008, S. 6). Diese Struktur lässt sich für den Fall von Fahrstreifenwechseln (FSW) mit den Aufgaben im Vier-Ebenen-Modell verknüpfen:

Die Festlegung eines gewünschten Manövers – eine Tätigkeit, die sich der Manöverplanungsebene im Vier-Ebenen-Modell zurechnen lässt – ergibt sich aus der Bildung einer Fahrstreifenwechselintention. Diese bildet sich aus den auf Navigationsebene festgesetzten Zielen. Nach Christen und Huang (2008, S. 6) können einem Manöver eine Vielzahl von Beweggründen zugrunde liegen, das Überholen langsamerer Fahrzeuge oder das Verfolgen einer Route werden explizit als wichtige Triebfedern benannt. Daran schließt sich die Bestimmung einer geeigneten Lücke und damit verbunden – beim Finden einer solchen – die Festlegung der zukünftigen Sollbewegung des Fahrzeugs zum sicheren Erreichen der Lücke auf Trajektorienplanungsebene an. Im Anschluss daran erfolgt die Umsetzung der Trajektorie auf der Stabilisierungsebene.

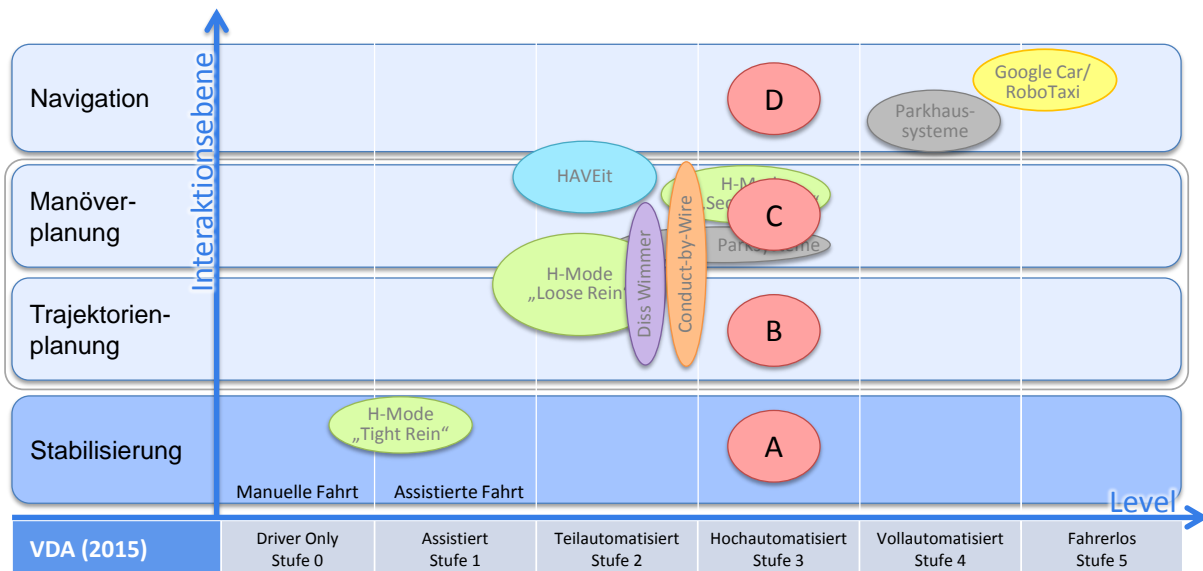


Abbildung 4-1: Einordnung der neuen Interaktionskonzepte A-D

Basierend auf diesen Überlegungen stellt sich die Aufgabenteilung in den jeweiligen Konzepten, ausgehend von der Grundfunktion einer hochautomatisierten Fahrt im Fahrstreifen, folgendermaßen dar:

Konzept A: Der Fahrer ist in allen oben genannten Schritten beteiligt und führt diese selbst aus. Aus der automatisierten Fahrt im Fahrstreifen heraus erfolgt der Kontakt mit dem Fahrzeug an den Bedienelementen der Stabilisierungsebene. Der Fahrer stellt also die Trajektorie (manuell) ein.

Konzept B: Der Kontakt zwischen Fahrer und Fahrzeug findet auf Trajektorienplanungsebene statt. Der Fahrer entscheidet also auf Basis seines Routenplanes und der Verkehrssituation über die Notwendigkeit der Manöverdurchführung, wählt eine geeignete Trajektorie aus und übergibt sie an das System. Dieses setzt sie über die Aktorik für Längs und Querbewegung bestmöglich um.

Konzept C: Der Fahrer beauftragt das abstrakte Manöver bei der Automation. Diese berechnet auf Basis der erfassten Umgebung die bestmögliche Trajektorie und regelt diese ein.

Konzept D: Die Interaktion findet auf Navigationsebene statt. Der Fahrer kommuniziert die gewünschte Route an das Fahrzeug. Während der Fahrt im spezifischen Anwendungsfall ist er somit aus der Interaktion am Manöver entbunden: Das System im Fahrzeug erkennt die Notwendigkeit eines Manövers, wählt dieses aus, bestimmt die optimal geeignete Trajektorie und stellt sie ein.

Wie bereits in Bengler und Zimmermann et al. (2012, S. 3) theoretisch betrachtet, unterscheiden sich die jeweils über die Mensch-Maschine-Schnittstelle übermittelten Informationen auf den verschiedenen Ebenen deutlich in ihrer Semantik. Die Umsetzung der Konzepte für den Versuch wird im folgenden Kapitel beschrieben.

4.2 Umsetzung

Die vier Konzepte werden prototypisch in einem Versuchsträger der AUDI AG umgesetzt. Es handelt sich dabei um einen Audi A7, Baujahr 2010. Dieser ist mit umfangreicher Mess- und Versuchstechnik zur Realisierung automatisierter Fahrfunktionen ausgerüstet. Daneben wurden zur Darstellung der Interaktionskonzepte Modifikationen an Kombiinstrument und Head-Up-Display zur Anzeige proprietärer Inhalte durchgeführt, sowie ein 10 Zoll Tablet-PC vor dem Bildschirm des Infotainmentsystems in der Mitte der Instrumententafel verbaut. Abbildung 4-2 zeigt das aus der Integration dieser Elemente resultierende Cockpit im Versuchsträger.

Zur Aktivierung und Deaktivierung des Systems wird ein mit dem rechten Daumen bedienbarer Taster am Multifunktionslenkrad genutzt, dessen Anbindung an die Fahrzeugvernetzung modifiziert und der mit einem neuen Symbol beschriftet ist.



Abbildung 4-2: Integration der HMI-Elemente in den Versuchsträger

4.2.1 Konzepte

Aus den in 4.1 dargestellten Konzeptüberlegungen werden vier prototypische Umsetzungen abgeleitet. Diese können durch Nutzung der herkömmlichen Bedienelemente im Fahrzeug und die neu eingebrachten Anzeige- und Bedienelemente dargestellt werden.

Die Anzeigen in Kombi- und Head-Up-Display repräsentieren dabei die Systemzustände (System verfügbar, System nicht verfügbar, System aktiv, System-Übernahmeaufforderung), codiert durch die Farbe und eine entsprechende Textmeldung. Die einzelnen Grafiken sind in Anhang A.3.1 zu sehen. Zusätzlich wird im HUD die aktuelle Geschwindigkeit angezeigt, im Kombidisplay bleiben die Informationen der Zeigerinstrumente unverändert.

Die Darstellung der Informationen in Kombi und HUD bleibt über alle Konzepte unverändert. Das Zusatzdisplay in der Mitte ist zweigeteilt: In der rechten Hälfte ist Platz für die Darstellung von fahrfremden Tätigkeiten oder die Infotainmentbedienung vorgesehen. In der dem Fahrer zugewandten linken Hälfte werden, während die Automation aktiv ist, interaktionsspezifische Inhalte und eine abstrahierte Repräsentation des Umfelds angezeigt. Diese soll den Fahrer in der Bewältigung seiner Aufgaben unterstützen und ihm eine Kontrolle des Systems ermöglichen.

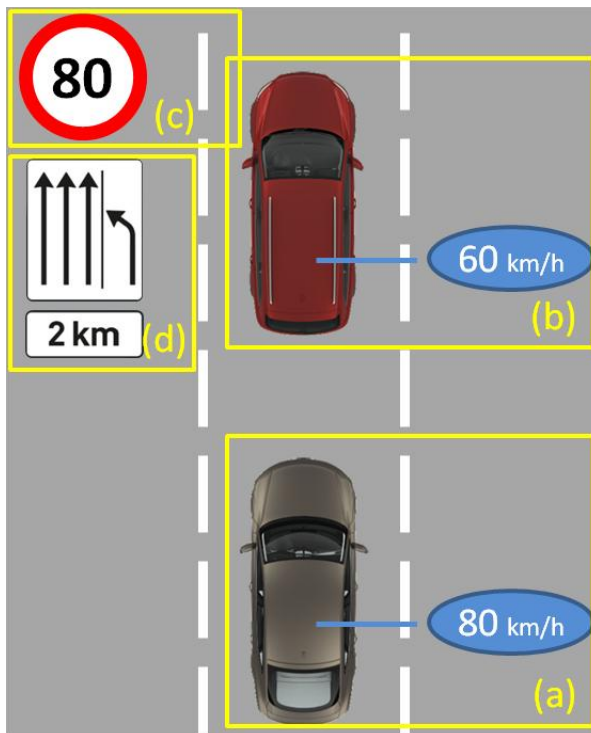


Abbildung 4-3: Konzept zur Darstellung der Umfeldinformationen

Zu den Umfeldinformationen, die in jeder Konzeptausprägung vorhanden sind, zählt wie in Abbildung 4-3 zu sehen die Darstellung des eigenen Fahrzeugs und direkt zugeordnet der eigenen Geschwindigkeit (a). Sofern ein vorausfahrendes Fahrzeug vorhanden und erkannt worden ist, wird zusätzlich ein Vorderfahrzeug und dessen momentane Geschwindigkeit eingeblendet (b). Durch die Anordnung und Gestaltung der Information soll eine schnelle Entscheidung, ob ein Überholen sinnvoll ist, unterstützt werden. Desweiteren wird in Form eines Verkehrszeichens die aktuell erlaubte Höchstgeschwindigkeit, sowie, sofern es durch die Sensorik erkannt würde, ein Überholverbot mitgeteilt (c). Direkt darunter erfolgt die Information über die aktuelle Infrastruktur. Sie umfasst die aktuelle Anzahl vorhandener Fahrstreifen und gegebenenfalls eine künftige Änderung, wie beispielsweise einen Fahrstreifenwegfall, inklusive der entsprechenden Distanz bis zur Änderung (d). Zur besseren Identifizierung wird die Gestaltung an bekannte Verkehrszeichen angelehnt.

Zusammen mit den konzeptabhängigen Interaktionsmöglichkeiten und Informationsquellen ergeben sich die in den folgenden Kapiteln aufgeführten Anzeigehalte und Bedienabläufe. Eine Verstellung der Setzgeschwindigkeit ist nicht vorgesehen, der Pilot richtet sich nach dem erkannten Tempolimit oder umgebungsbedingten Einschränkungen. Der Fahrer kann in jedem der Konzepte jederzeit eingreifen und die Fahraufgabe wieder komplett selbst übernehmen. Dies geschieht entweder durch ein Treten des Bremspedals, durch Aufbringen eines Momentes am Lenkrad über einen gewissen Schwellenwert hinaus oder durch Drücken des Tasters am Lenkrad.

4.2.1.1 Konzept A

Konzept A sieht die Interaktion auf Stabilisierungsebene vor, weshalb das Einregeln der Trajektorie mit den herkömmlichen Bedienelementen stattfindet. Der Fahrer betätigt dazu aus der automatisierten Fahrt heraus den Blinker, woraufhin das Fahrzeug die Fahrstreifenwechselintention erkennt und die Querführung an den Fahrer übergibt. Dieser betätigt das Lenkrad, um den Wechsel auf der von ihm gewünschten Trajektorie einzustellen. Nach Abschluss des Fahrstreifenwechsels (FSW) erfolgt die umgekehrte Übergabe der Kontrolle abhängig von der vom Fahrzeug erkannten Zentrierung im Zielfahrstreifen (Abstand zur Fahrstreifen- Mitte und Ausrichtung im Fahrstreifen (Winkel)). Aus technischen Gründen kann in der Realisierung im Versuchsträger keine Übergabe der Längsführung für die Dauer des Manövers implementiert werden, sodass diese für die gesamte Fahrdauer vom Fahrzeug ausgeführt wird.

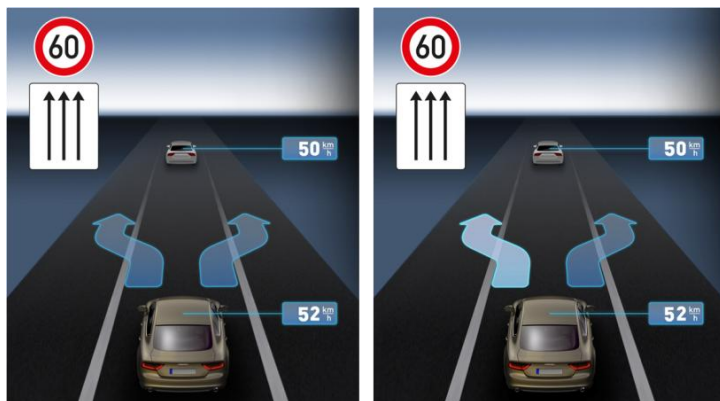


Abbildung 4-4: Grafische Umsetzung von Konzept A auf dem Zusatzdisplay

Wie in allen anderen Konzepten wird der Fahrer mittels der Anzeige, welche für Konzept A in Abbildung 4-4 zu sehen ist, über den aktuellen Fahrmodus und das aktuell aktive Manöver informiert. Dies wird durch ein leichtes, pulsierendes Blinken hervorgehoben.

4.2.1.2 Konzept B

Die für Konzept B vorgesehene Übergabe einer ausgewählten Trajektorie wird wie in Abbildung 4-5 dargestellt umgesetzt. Der Fahrer hat hier die Möglichkeit zwischen zwei verschiedenen dynamischen Manöverparametrierungen je Richtung auf dem Touchscreen auszuwählen. Der näher am eigenen Fahrzeug positionierte Pfeil repräsentiert dabei einen komfortablen, der weiter vorne liegende Doppelpfeil einen sportlichen Fahrstreifenwechsel. Nach Betätigung der Touchfläche sichert das Fahrzeug den Wechsel ab und führt ihn – falls möglich – durch (zweite Darstellung von links). Sollte das Manöver in der gewählten Parametrierung nicht durchführbar sein,

beispielsweise aufgrund eines schnell herannahenden Fahrzeugs im Nachbarfahrstreifen, wird der Fahrstreifen als belegt markiert (zweite Darstellung von rechts) und das Manöver wird verworfen. Es obliegt daraufhin dem Fahrer, einen erneuten Auftrag – gegebenenfalls mit geänderter Dynamik – zu erteilen.

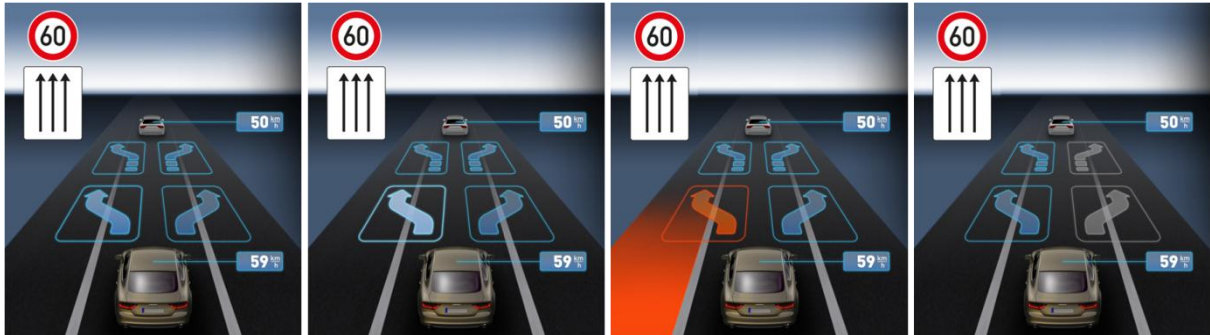


Abbildung 4-5: Grafische Umsetzung von Konzept B auf dem Zusatzdisplay

In Abgrenzung zu den obigen, auf Grund der Verkehrssituation temporär nicht möglichen Manövern, sind dauerhaft nicht verfügbare Manöver nicht beauftragbar. Dies betrifft beispielsweise die Wechsel nach rechts während der Fahrt im rechten Fahrstreifen. Wie in Abbildung 4-5 rechts zu sehen, werden diese Schaltflächen ausgegraut dargestellt.

4.2.1.3 Konzept C

Konzept C sieht eine Interaktion auf Manöverplanungsebene und damit eine Beauftragung von Manövern durch den Fahrer vor. In der Umsetzung obliegt ihm dazu die Pflege eines Manöverplans, in den er gewünschte Manöver zur Abarbeitung durch das Fahrzeug hineinwählt. Zur Umsetzung der Manöver prüft das automatisierte System die Freiräume im umgebenden Verkehr, ermittelt eine passende Trajektorie und regelt diese über die Aktorik ein. Die Interaktion erfolgt über die in Abbildung 4-6 dargestellte Touchoberfläche. Der Manöverplan wird darauf durch die Platzhalter in der linken Spalte repräsentiert. Der unterste, in der Gestaltung leicht hervorgehobene Platzhalter stellt immer das aktuelle Manöver dar. Die Abarbeitung der Manöver im Plan erfolgt entlang der durch die Gestaltung ersichtlichen Reihung von unten nach oben, sobald das jeweils folgende Manöver ausführbar wird. Nach Abschluss des Manövers erfolgt bei leerem Plan oder bis zur Ausführbarkeit des nächsten geplanten Manövers ein Übergang in das Basismanöver „Fahrt im Fahrstreifen“.

Der Fahrer hat die Möglichkeit, Manöver durch antippen der jeweiligen Symbolfläche in der Umfeldrepräsentation auf den untersten freien Platz im Plan zu wählen. Ebenso kann er per „Drag&Drop“ ein Manöver auf einen beliebigen Platz ziehen und dort ablegen. Dies ermöglicht auch eine Umplanung der noch nicht begonnen Manöver in

der im Plan sichtbaren Abfolge, falls dies durch eine geänderte Verkehrssituation notwendig wird. Das Löschen eines Manövers ist durch das Verschieben des Manövers von seinem Platz im Plan auf den stilisierten Papierkorb möglich.

Zudem besteht die Möglichkeit das kombinierte Manöver „Überholen“ über das dritte Manöversymbol direkt zu beauftragen. Dieses teilt sich im Plan in die beiden Basismanöver „Wechsel links“ und „Wechsel rechts“ auf.

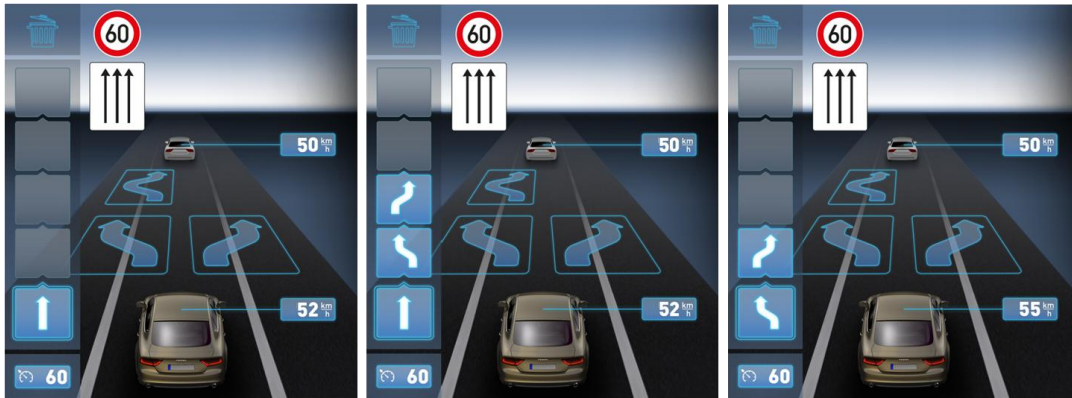


Abbildung 4-6: Grafische Umsetzung von Konzept C auf dem Zusatzdisplay

Wie auch im folgenden Konzept D ist die Darstellung mit der zusätzlichen Anzeige der Setzgeschwindigkeit in der linken Spalte so gewählt, dass die wichtigsten Informationen über den Fahrzustand auch in einem „reduzierten Modus“ sichtbar bleiben. Darin beschränkt sich die Anzeige auf die linke Spalte, der Bereich für fahrfremde Tätigkeiten auf dem rechten Teil des Screens wird maximiert.

4.2.1.4 Konzept D

Konzept D ist dadurch gekennzeichnet, dass keine Interaktion am Manöver selbst erforderlich ist. Der Fahrer interagiert mit dem System vor der Aktivierung und das System übernimmt für den kompletten Anwendungsfall auch die Entscheidung, ob die Durchführung eines Manövers notwendig oder sinnvoll ist.

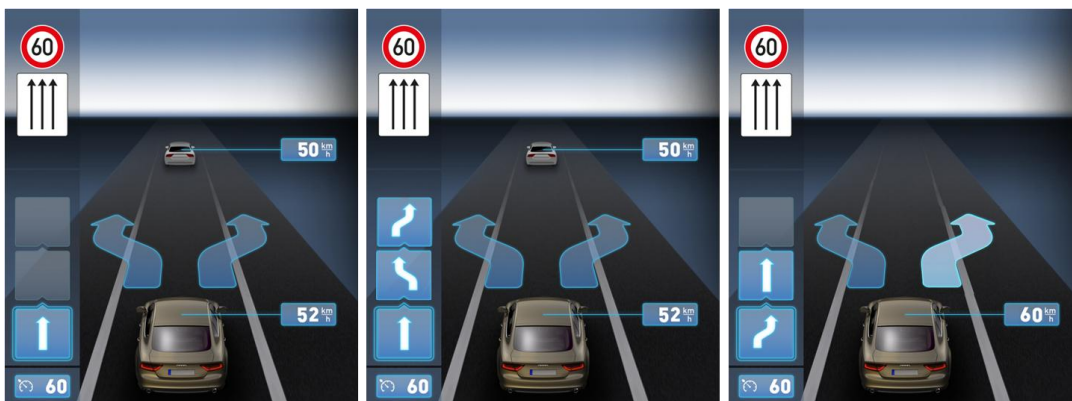


Abbildung 4-7: Grafische Umsetzung von Konzept D auf dem Zusatzdisplay

Die grafische Oberfläche in Abbildung 4-7 dient demnach nur einer möglichen Überwachung des Systems durch den Fahrer und bietet neben der Umfeldrepräsentation einen Überblick über die aktuellen und kommenden Manöver.

4.2.2 Technische Realisierung

Die technische Realisierung erfolgt angelehnt an die in Kapitel 2.2.2 dargestellte grundlegende funktionale Architektur eines automatisierten Fahrzeuges. Die Umsetzung der Anzeigen sowie die Interaktion mit der Fahrfunktion wird mittels der in 4.2 beschriebenen Elemente realisiert. Diese bilden den Block HMI in dem in Abbildung 4-8 vereinfacht dargestellten Gesamlayout des für die Studie eingesetzten Systems. Die weiteren Komponenten dienen der Realisierung der Fahrfunktion und der Datenaufzeichnung während des Versuches.

Auf Wahrnehmungs-, Funktions- und Aufzeichnungsrechner läuft dabei jeweils eine Instanz der Entwicklungsumgebung ADTF (Automotive Data and Time Triggered Framework), auf HMI-Rechner und Tablet-PC eine HTML5-basierte Softwareimplementierung der Firma Germaneers. Die Ansteuerung der Aktorik erfolgt über eine dSpace Autobox. Zur Lokalisierung wird ein Positionierungssystem der Firma uBlox verwendet.

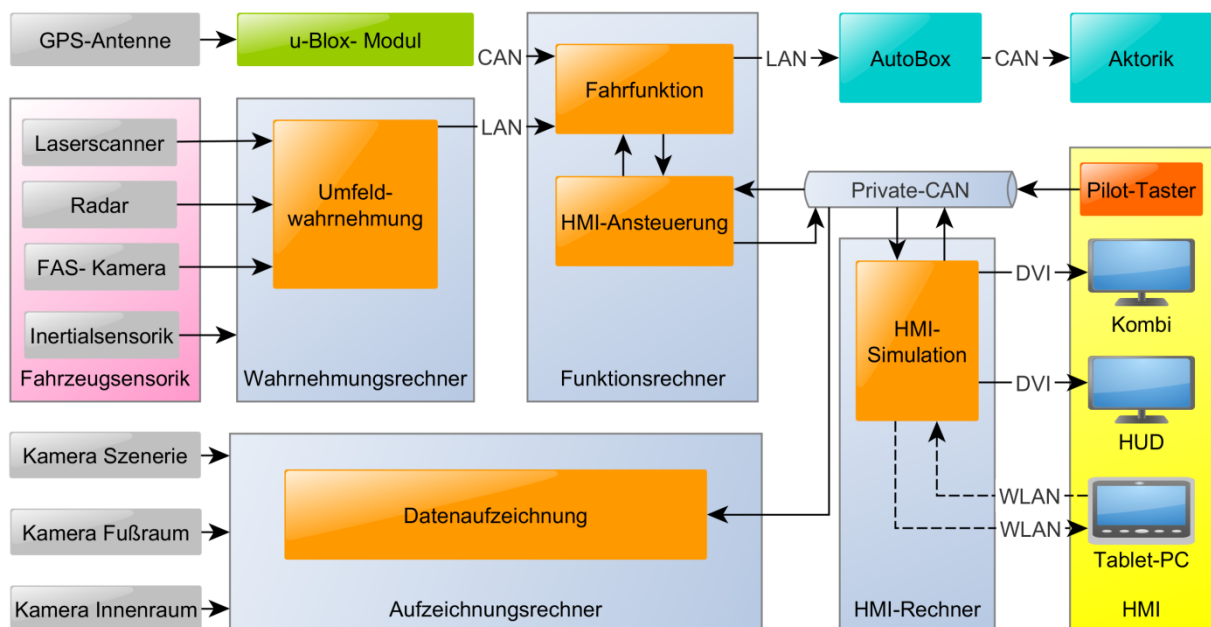


Abbildung 4-8: Gesamtsystem für die Evaluation der Bedienkonzepte

4.2.2.1 Fahrfunktion

Die Fahrfunktion wird, abgestimmt auf den Untersuchungszweck und die Versuchsumgebung, wahrnehmungsbasiert realisiert. Dazu werden die Sensorinformationen aus FAS-Kamera, Doppelradarsystem und Laserscanner auf dem Wahrnehmungsrechner ausgewertet und in Form von Informationen über die Fahrstreifenverläufe, Objektpositionen und -bewegungen an den Funktionsrechner übergeben. Auf dieser Basis wird in der Fahrfunktion abhängig vom aktuell durchgeführten Manöver (Fahrstreifenfolgen, Fahrstreifenwechsel links/rechts) eine Soll-Trajektorie errechnet. Diese wird zur Einregelung an die AutoBox übergeben, welche die Parameter in longitudinaler und lateraler Richtung über die entsprechende Fahrzeugaktuatorik einstellt. Zur Aufprägung eines an den Streckenverlauf angepassten Verlaufes der Sollgeschwindigkeit (siehe Kapitel 4.4.3) wird die Geschwindigkeitsinformation eines vorkonfigurierten GPS-Tracks genutzt.

4.2.2.2 Anzeige und Bedienung

Die Steuerung von Anzeige und Bedienung erfolgt in dem Modul „HMI-Ansteuerung“, welches im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde und eng verknüpft mit der Fahrfunktion in der gleichen ADTF-Instanz auf dem Funktionsrechner arbeitet. Darin werden konzeptabhängig die Darstellungen auf den Anzeigen gesteuert und die Nutzereingaben für die Fahrfunktion in normierte Manöverkommandos übersetzt. Zusätzlich wird eine grafische Nutzeroberfläche für die Funktionsapplikation und die Steuerung durch den Versuchsleiter bereitgestellt.

Die Kommunikation mit der HMI-Simulationssoftware auf dem HMI-Rechner erfolgt über den dafür reservierten Private-CAN. Die Displays in Kombi und HUD sind als Monitore an den HMI-Rechner angeschlossen, die Kommunikation mit dem Tablet-PC erfolgt per WLAN.

4.3 Forschungsfragen

Zur vergleichenden Bewertung der vier umgesetzten Interaktionskonzepte werden Fragestellungen und Hypothesen formuliert, an Hand derer die mittels Fragebogen ermittelten subjektiven Daten untersucht werden.

Bezüglich der Akzeptanz existieren Erkenntnisse aus den Projekten zur kooperativen Fahrzeugführung (Kapitel 2.3.3), welche in der Entlastung des Fahrers von Teilen der Fahraufgabe einen vielversprechenden Ansatz sehen (z.B. Hoeger et al. (2011,

S. 151-158) oder Kauer-Franz, Franz und Abendroth (2015)). Andererseits sind Probleme übermäßiger Automation hinsichtlich Vertrauen (Lee & See, 2004) und Akzeptanz (Sheridan & Parasuraman, 2005, S. 112) bekannt.

Daher wird erwartet, dass die Akzeptanz der Konzepte auf Führungsebene (Manöver- und Trajektorienplanung, Konzepte B und C) am höchsten ausgeprägt ist. Da diese jedoch geringere Unterschiede zueinander aufweisen, als zu den Konzepten A und D, ist a priori eine detaillierte Abschätzung der Akzeptanzverteilung zwischen B und C nicht möglich. Es wird also eine Hypothese und eine explorative Frage formuliert, die diesen Unterschied adressiert:

Hypothese 1 (H1): Die Akzeptanzbewertung fällt bei den Interaktionskonzepten der Führungsebene am positivsten aus.

Explorative Fragestellung 1 (EF1): Existieren Unterschiede in der Akzeptanzbewertung der Interaktionskonzepte B und C?

Um die zu erwartenden Unterschiede detailliert analysieren zu können, werden, basierend auf der Arbeit von Arndt (2011), „wahrgenommene Eigenschaften des Systems“ ermittelt.

Bezüglich des erfassten Fahrspaßes besteht die verbreitete Annahme, dass dieser abnimmt, je mehr automatisiert wird (siehe Kapitel 2.2.3.2 oder Payre, Cestac und Delhomme (2014)), wonach sich die gerichtete Hypothese 2 formulieren lässt:

Hypothese 2 (H2): Der Fahrspaß nimmt mit steigender Automation von Interaktionskonzept A über B und C bis zu Modus D ab.

Für die Konstrukte Usability, Systemvertrauen, Fahrkomfort und Kontrolle lässt sich im Voraus keine begründete Aussage zu einer weiteren gerichteten Hypothese treffen, weshalb eine zweite, explorativ untersuchte Frage formuliert wird.

Explorative Fragestellung 2 (EF2): Werden Usability, Systemvertrauen, Fahrkomfort und Kontrolle in Abhängigkeit der Interaktionskonzepte unterschiedlich bewertet?

Wie in Kapitel 4.4.2 näher ausgeführt, werden die Fahrer statt mit einer fahrfremden Tätigkeit mit der Nutzung der Zeit zur Entspannung beauftragt. In einer weiteren explorativen Frage wird demnach der Zusammenhang zwischen empfundener Entspannung und Interaktionskonzept untersucht:

Explorative Fragestellung 3 (EF3): Unterscheidet sich die angegebene empfundene Entspannung zwischen den Interaktionskonzepten?

Des Weiteren soll der Nutzen der dargebotenen Informationen bewertet werden. Auch hier wird keine gerichtete Hypothese formuliert, sondern explorativ der Zusammenhang mit den jeweiligen Konzepten betrachtet:

Explorative Fragestellung 4 (EF4): Wird der Nutzen der Informationsdarstellung in Abhängigkeit der Interaktionskonzepte unterschiedlich bewertet?

4.4 Methodik

Ziel der Evaluation der Interaktionskonzepte ist es, diese in einer autobahnähnlichen Situation in einer längeren, monotonen Fahrt in einem realen Fahrzeug für Probanden erlebbar zu machen, um daraus Aussagen über die entwickelten Konzepte zu erhalten und hinsichtlich der in Kapitel 4.3 aufgestellten Hypothesen und Fragestellungen zu prüfen.

4.4.1 Versuchsdesign

Zur Darstellung der Situation ist eine hochautomatisierte Fahrt auf einer Strecke mit mehreren Fahrstreifen je Richtung erforderlich. Die Grundfunktion stellt die automatisierte Fahrt im rechten Fahrstreifen sicher. Dabei trifft das automatisiert fahrende Fahrzeug in unregelmäßigen Abständen auf ein Vorderfahrzeug, welches mit geringerer Geschwindigkeit unterwegs ist. Abhängig vom Interaktionskonzept wird das daraufhin notwendig werdende Überholen des langsameren Fahrzeuges ausgeführt.

Auf Grund des hohen Aufwands für einen Fahrversuch wird ein Within-Subject Design gewählt, um eine hohe Aussagekraft mit vergleichsweise wenigen Probanden zu erreichen, siehe auch Bortz und Döring (2006, S. 630-631). Der Versuch ist so gestaltet, dass jeder Proband jedes der vier Konzepte erlebt. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wird die Abfolge der Expositionen permutiert. Es ergibt sich somit ein einfaktorielles Within-Subject Design mit dem Interaktionskonzept als vierfach gestufte, unabhängige Variable.

Gemäß Bubb (2003b) sollte der Versuchsplan mindestens eine vollständige Permutation ermöglichen, was somit für eine Mindestprobandenzahl von 24 Personen spricht. Ausgehend von einem α -Niveau von 5 % und einer angestrebten Teststärke von 80 %, lässt sich aus der Tabelle nach Bortz und Döring (2006, S. 631) für eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bei drei Freiheitsgraden (vier Konzepte) und einem angenommenen mittleren Effekt ein optimaler Stichprobenum-

fang von 23 Personen ermitteln. Hierbei wird von einer durchschnittlichen Korrelation zwischen den Messzeitpunkten von $r=0.5$ ausgegangen. Eine Berechnung mit G*Power (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007) unter der Annahme eines mittleren Effekts und einer Korrelation von $r=0.5$ ergibt eine Probandenzahl von 24 Personen. Wird in einer konservativeren Abschätzung von einer geringen Korrelation zwischen den Messwerten ausgegangen (Rasch, Friese, Hofmann und Naumann (2014b, S. 77) empfehlen einen Wert zwischen 0.2 und 0.4), ergibt die Berechnung mit $r=0.3$ eine Zahl von 32 Versuchspersonen. Die Eingabeparameter und die Ausgabe sind in Tabelle A-7 zu finden. Auf dieser Basis wird die angestrebte Probandenzahl auf 36 Personen festgelegt. Dies ermöglicht eine vollständig durchlaufene Permutation (24 Probanden) und eine weitere mit 12 Kombinationen und der Restriktion, dass die Konzepte der Führungsebene (B und C), die sich in ihrer Ausgestaltung geringer unterscheiden, in der Abfolge unmittelbar hintereinander von den Probanden erlebt werden.

Der eingesetzte Fragebogen ist dreigeteilt und in Anhang A.3.3 wiedergegeben. Welche Komponenten zur Beantwortung der formulierten Fragestellungen herangezogen werden ist in Kapitel 4.5 aufgeführt.

Teil1 erfasst die Angaben zur Person, wie demographische Daten und personenbezogene Merkmale. Darunter eigene Fragen zu Fahrten auf der Autobahn, Vorerfahrung mit FAS und Nutzung von Informationsquellen während der Fahrt, eine Selbsteinschätzung des eigenen Fahrstils, übernommen aus Arndt (2011, S. 97-99) und zur Erfassung der Technikaffinität den Fragebogen „Kontrollüberzeugung im Umgang mit Technik“ (KUT) mit 8 Items und fünfstufiger Antwortskala nach Beier (2004). Diese Moderatorvariablen dienen zur Charakterisierung des Probandenkollektivs.

Die abhängigen Variablen werden in Teil 2 und 3 des Fragebogens erfasst. Teil 2 des Fragebogens umfasst konzeptspezifische Bewertungen und wird im Anschluss an jede Fahrt gestellt.

Zur Ermittlung der Akzeptanz auf Einstellungsebene (Akzeptabilität, siehe Kapitel 2.2.3.1) der erlebten Systeme werden Teile des in Arndt (2011) entwickelten Fragebogens (dort als „Einstellung auf Objektebene“ bezeichnet) genutzt. Die in Arndt (2011) als „Einstellung zum FAS“ betitelte affektive Bewertung des Systems, bestehend aus einem semantischen Differential mit 19 Items, wird als „Attraktivität der Interaktionsart“ in den Fragebogen übernommen. Des Weiteren sind für die Akzeptanzbewertung die in Arndt (2011) als „wahrgenommene Produkteigenschaften“ betitelten Konstrukte interessant. Die Fragen zu Usability, Fahrkomfort, Vertrauen, Fahrspaß und Systemkontrolle werden aus dem ursprünglichen Fragebogen in die

„Eigenschaft der Interaktionsart“ übernommen. Von der Ermittlung von Verkehrssicherheit, Umweltfreundlichkeit und Image wird mit Blick auf die Menge der zu beantwortenden Fragen abgesehen, da hier kein, durch die Interaktionsgestaltung hervorgerufener, Unterschied zwischen den Konzepten zu erwarten ist. Näheres dazu ist in Schmidt (2014) ausgeführt.

Zusätzlich zur Bestimmung der Gebrauchstauglichkeit über das Konstrukt von Arndt (2011), wird auf die Ermittlung durch den etablierten Fragenbogen „System Usability Scale“ (SUS) nach Brooke (1996) in der deutschen Übersetzung aus Rummel und Ruegenhagen (2013) zurückgegriffen.

Die Erfassung der während der Fahrt möglichen Entspannung wird mittels einer „Category Partitioning“-Skala von 0 bis 51 erhoben, siehe dazu Müller (1996) oder Shen und Parsons (1997). Müller (2011) beschreibt Anwendungen dieser Bewertungsmethode für die Erfassung mentaler Belastung. Diese auch als CP50-Skala bekannte, zweistufige Bewertungsmethode sieht die Zuordnung des Erlebten in eine Kategorie (7-stufig, von „gar nicht entspannen“ bis „vollkommen entspannen“) mit anschließender Angabe einer Tendenz vor. Dazu sind die mittleren 5 Kategorien jeweils in 10 Punkte unterteilt, Kategorie 1 und 7 ermöglichen als Extrempole keine Angabe einer Tendenz und besetzen den Skalenwert 0 respektive 51.

Zur Bewertung der Elemente der Nützlichkeit der Informationsdarstellung wird die Frage, wie hilfreich die sichtbaren Elemente sind, auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet. Dies umfasst bei allen Konzepten die Geschwindigkeit des eigenen und des Vorderfahrzeugs, die Information über das aktuelle Manöver und die Anzeige der Verkehrszeichen. Bei Konzept C und D wird zusätzlich das dargestellte Element Setzgeschwindigkeit und bei D zusätzlich die Anzeige der geplanten Manöver bewertet.

Der dritte Teil des Fragebogens umfasst eine retrospektive Bewertung aller erlebten Konzepte nach Ende des letzten Durchgangs.

Zu jedem Konzept geben die Probanden hier auf einer 5-stufigen Skala an, wie gern sie dieses in Ihrem eigenen Auto verbaut hätten und begründen ihre Wahl in Stichpunkten. Zusätzlich werden sie gebeten, aufzuschreiben, welche Stärken und Schwächen sie im jeweiligen Interaktionskonzept sehen. Zur Ermittlung einer Rangreihenfolge ist zu jedem Konzept noch eine Platzierung von 1-4 anzugeben.

Den Abschluss des Fragebogens bildet ein freier Raum für Anmerkungen.

Zusätzlich wird durch den Versuchsleiter während der Fahrten ein Protokoll zur Dokumentation von Besonderheiten und Anmerkungen, die während der Fahrt geäußert

werden, geführt. Zur Stützung der Auswertungen werden weiterhin auf dem in Abbildung 4-8 aufgeführten Aufzeichnungsrechner CAN-Daten vom Fahrzeug und Videodaten aus drei Perspektiven aufgezeichnet. Diese decken den Blick aus der Frontscheibe (Szenerie), den Fußraum des Fahrers und den Innenraum mit einem Blick auf die Bedienelemente und die oberen Extremitäten des Fahrers ab.

4.4.2 Fahrfremde Tätigkeit

Zu Versuchsbeginn erhalten die Fahrer die Anweisung, sich zurückzulehnen, zu entspannen und die Fahrt zu genießen. Diese instruierte „Tätigkeit“ bildet dabei einen der – von potentiellen Kunden – oft genannten Vorteile automatisierten Fahrens ab: Entlastung und Entspannung (siehe auch Kapitel 2.2.3.2).

Ein weiterer, wichtiger Grund für dieses Vorgehen liegt darin, zu verhindern, dass die Akzeptanzbewertung unkontrolliert beeinflusst wird, wie dies durch die Instruktion einer alternativen Tätigkeit möglich wäre. In Automationsuntersuchungen mit anderen Schwerpunkten verwendete Standardaufgaben, wie beispielsweise der Surrogate Reference Task (SuRT) nach (ISO ISO/TS 14198), oder natürliche Tätigkeiten, wie die in Wimmer (2014) oder Petermann-Stock et al. (2013) verwendeten Spiele und Bürotätigkeiten, könnten sich durch ihre (mangelnde) Attraktivität, durch sie hervorgerufene kognitive Beanspruchung oder Bediencharakteristik (z.B. Eingabe am Touchscreen) auf die Bewertung auswirken. Auf den Einsatz einer spezifischen fahrfremden Tätigkeit wird daher in diesem Versuch verzichtet.

4.4.3 Setting

Die Versuche wurden auf dem Test- und Kundenerlebnisgelände der AUDI AG in Neuburg durchgeführt. Dieses bietet für den Versuch optimale Rahmenbedingungen hinsichtlich Belegung, Sicherheit und Infrastruktur.

Neben weiteren Strecken existieren auf dem Gelände zwei parallele Geraden zur Entwicklung von FAS mit einer Länge von je 550m, verbunden durch Kurven mit einem Radius von 25m, die einen geschlossenen Rundkurs ergeben. Dieser bietet durchgängig drei Fahrstreifen und mehrere Möglichkeiten zur Auf- und Abfahrt, welche durch das zweite Fahrzeug genutzt werden können.

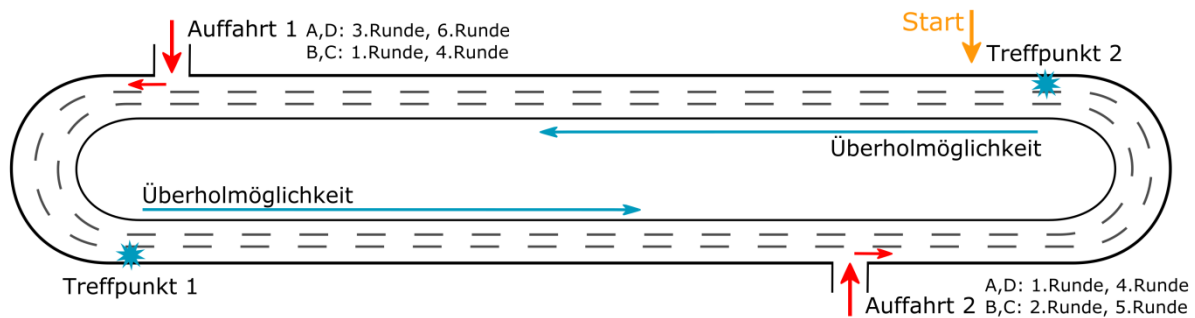


Abbildung 4-9: Schematische Darstellung der Versuchsstrecke in Neuburg

Wie in Abbildung 4-9 ersichtlich, werden zur Auffahrt des Vorderfahrzeugs zwei Zufahrten genutzt, die in geringem Abstand zur Kurve liegen. Das Vorderfahrzeug fährt dort immer so auf den Kurs auf, dass es mit einigem Abstand vor dem Versuchsfahrzeug durch die Kurve fährt und sich direkt nach der Kurve am Beginn der Geraden die Möglichkeit zum Überholen bietet.

Aufgrund der baulichen Gegebenheiten und zur Abbildung einer monotonen Fahrt mit geringen Längs- und Querbeschleunigungen wird das Geschwindigkeitsprofil so festgelegt, dass das Versuchsfahrzeug auf den Geraden in der Freifahrt mit 60km/h fährt und die Geschwindigkeit zur Durchfahrt der Kurven jeweils auf 25km/h reduziert. Das Vorderfahrzeug durchfährt nach der Auffahrt die Kurve ebenfalls mit ca. 25km/h und behält diese Geschwindigkeit nach dem Kurvenausgang bei, womit eine Annäherung des Versuchsfahrzeugs erfolgt und eine Geschwindigkeitsdifferenz vorliegt, die ein Überholen wünschenswert werden lässt.

4.4.4 Versuchsablauf

Nach Begrüßung der Probanden erfolgt eine standardisierte, mündliche Einführung in den Gegenstand des Versuches durch die Versuchsleitung sowie eine kurze Sicherheitseinweisung in das Fahrzeug und das Gelände.

Darauf folgt das Ausfüllen des ersten Teils des Fragebogens zur Erfassung demographischer Daten und personenbezogener Merkmale.

Im Anschluss folgen die vier Versuchsdurchgänge, wobei in jedem Durchgang vor jeder Fahrt eine kurze, standardisierte Erklärung des jeweiligen Konzepts durch die Versuchsleitung erfolgt und zwei Einführungsrunden gefahren werden, in der die Probanden das System kennenlernen können. Während der darauf folgenden Messfahrt werden sechs Runden zurückgelegt, wobei das automatisierte Fahrzeug vier Mal auf das Vorderfahrzeug trifft. Das Auffahren des Vorderfahrzeugs findet nach

dem Plan in Tabelle A–8 randomisiert statt. Jeder Durchgang wird durch das Ausfüllen des Fragebogens zum Interaktionskonzept (Teil2) beendet.

Nach dem Ende des letzten Durchgangs erfolgt zusätzlich noch das Ausfüllen des dritten Fragebogenteils zum Vergleich der Konzepte. Zum Abschluss erhalten die Probanden falls gewünscht Süßigkeiten als Dankeschön und werden verabschiedet.

Die Gesamtdauer beläuft sich pro Proband auf ungefähr eineinhalb Stunden.

4.4.5 Probandenkollektiv

Bei der Rekrutierung der Probanden musste aus Gründen der prototypischen Umsetzung der Fahrfunktion im Fahrzeug und den damit verbundenen Restriktionen auf Mitarbeiter der AUDI AG zurückgegriffen werden, die in Besitz eines Prototypenführerscheins sind. Diese werden aus Mitarbeitern der technischen Entwicklung rekrutiert und sind als Experten aus den Themengebieten Fahrerassistenz/ automatisiertes Fahren, Bedien- und Anzeigekonzepte oder Ergonomie/ Maßkonzeption mit der Bewertung einschlägiger prototypischer Systeme vertraut. Nach Färber (2005, S. 95) ist das Heranziehen solcher Experten zur Akzeptanzbewertung in früheren Umsetzungsstadien zudem vorteilhaft, da diese im Vergleich zu Laien weniger dazu neigen, sozial erwünscht zu antworten und technisch komplexe Systeme zu überschätzen. Zudem weisen Experten meist eine bessere Vorstellungskraft auf, die bei – aus dem prototypischen Aufbau herrührenden – Unzulänglichkeiten helfen kann, eine Verfälschung der Systembewertung zu vermeiden.

Wie in Kapitel 4.4.1 festgelegt, besteht das Ziel darin, 36 gültige Datensätze zur Auswertung vorliegen zu haben. Dies führt zur Teilnahme von 37 Probanden, da ein Datensatz aufgrund von Unvollständigkeiten ausgeschlossen werden musste. Darunter sind 32 Männer und 5 Frauen, im Alter zwischen 25 und 54 Jahren ($M = 33.05$ Jahre, $SD = 6.38$ Jahre). Die mittlere Fahrleistung beträgt im Schnitt knapp 26000 km ($M = 25964.86$ km, $SD = 12371.11$ km) im Jahr, davon ungefähr 50% auf der Autobahn ($M = 50.38\%$, $SD = 21.78\%$).

Die Erfahrung mit Assistenzsystemen im Fahrzeug ist, wie durch die Zusammensetzung des Probandenkollektivs zu erwarten, hoch, siehe Tabelle A–11. Die Systeme ACC, AALA (Audi Active Lane Assist) und PLA (Parklenkassistent) sind bei ungefähr 90% bekannt, bei 20% sogar im am häufigsten genutzten Fahrzeug verbaut. Diejenigen, die das jeweilige System im Fahrzeug haben, nutzen ACC im Mittel oft, AALA gelegentlich bis selten und PLA selten. Die Abfrage zum System Staupilot (STP), welches sich noch nicht in Serie befindet, soll die Kenntnisse und Erfahrungen mit automatisierten Systemen erfassen. Hier geben 67.6% an, das System zu kennen,

zwei Probanden geben an, dies sei in ihrem am häufigsten genutzten Fahrzeug vorhanden. Eine mögliche Erklärung sind Fehler beim Ausfüllen des Fragebogens oder Entwickler, die privat selten Auto fahren, sodass die Formulierung „am häufigsten genutztes Fahrzeug“ entsprechend ausgerüstete Entwicklungsfahrzeuge bezeichnet.

Bezüglich der „Kontrollüberzeugung im Umgang mit Technik“ (KUT) nach Beier (2004) zeigt sich ebenso ein hoher Durchschnittswert von 33.92 (SD = 3.92, Min = 23, Max = 40), welcher die Besonderheit des rekrutierten Probandenkollektivs bestätigt.

Eine Übersichtstabelle mit allen erfassten Werten mit und ohne Berücksichtigung des Versuchspersonenausschlusses findet sich in Anhang A.3.4.1.

4.5 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt ausgerichtet an den in Kapitel 4.3 formulierten Hypothesen und Fragestellungen.

Die Überprüfung der Unterschiedshypothesen erfolgt mittels einfaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung, für anschließende Post-Hoc-Tests erfolgt die Korrektur des Signifikanzniveaus nach Bonferroni. Zu prüfende Voraussetzungen betreffen nach Bortz (2005, S. 284) und Rasch et al. (2014b, S. 71) die Normalverteilung der Daten und die Sphärizität. Die Normalverteilung ist nicht durchgängig gegeben, siehe Tabelle A–16, gemäß Rasch et al. (2014b, S. 31) und Bortz (2005, S. 287) liefert die Varianzanalyse bei mittleren und großen Stichproben – wie der hier vorliegenden – jedoch trotzdem zuverlässige Ergebnisse.

Für den Vergleich der Systeme erfolgt die Operationalisierung der Akzeptanz über die Abfrage, wie gerne die Probanden das System im eigenen Fahrzeug verbaut haben würden und über die nach Ende der Versuche gebildete Rangfolge.

Hypothese H1 und Fragestellung EF1 werden an folgendem Hypothesenpaar überprüft:

H₀: Es existiert kein Unterschied zwischen den Konzepten.

H₁: Es existiert ein Unterschied zwischen den Konzepten.

Die Abfrage, wie gerne die Probanden das System in ihrem eigenen Fahrzeug verbaut haben würden, zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Konzepten ($F(3,105) = 15.111$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .302$). Über Einzelvergleiche mit Bonferroni-Korrektur lassen sich Unterschiede zwischen A und C, A und D sowie B und D ermit-

teln ($M_{A-C} = -1.111$, $p = .003$; $M_{A-D} = -1.750$, $p < .001$; $M_{B-D} = -1.139$, $p < .001$). Die Ergebnisse sind im Diagramm in Abbildung 4-10 links grafisch aufbereitet.

Die gebildete Rangreihenfolge wurde mittels des nonparametrischen Friedman-Tests ausgewertet und liefert signifikante Ergebnisse ($\chi^2(3, n = 36) = 42.580$, $p < .001$), Einzelvergleiche mittels Wilcoxon-Test liefern signifikante Differenzen zwischen den Konzepten A und C, A und D sowie B und D. Die übrigen Paarungen werden durch die konservative Anpassung des Signifikanzniveaus nach Bonferroni ($p_{krit} = \alpha / \text{Anzahl der Vergleiche} = .008$) nicht signifikant, wie in Tabelle A-17 und Abbildung 4-10 rechts zu sehen.

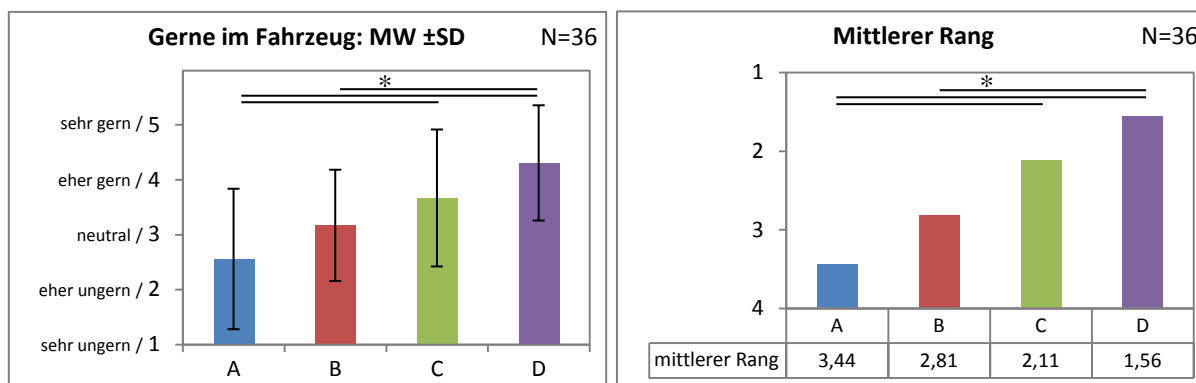


Abbildung 4-10: Angabe wie gerne das System im eigenen Fahrzeug gewünscht wird (links) und mittlere Ränge des abschließenden Rankings (rechts)

Zur inferenzstatistischen Auswertung der wahrgenommenen Eigenschaften wird für jeden Faktor (Fahrkomfort, Systemvertrauen, Kontrolle, Fahrspaß und Usability) folgendes Hypothesenpaar untersucht:

H_0 : Der Faktor unterscheidet sich nicht zwischen den Interaktionskonzepten.

H_1 : Der Faktor unterscheidet sich zwischen den Interaktionskonzepten.

Hierbei ergibt sich hinsichtlich des Komforts ein signifikanter Haupteffekt ($F(3,105) = 26.152$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .428$), mit signifikanten Unterschieden zwischen allen Konzepten außer B und C ($M_{A-B} = -.622$, $p = .002$, $M_{A-C} = -.811$, $p < .001$, $M_{A-D} = -1.406$, $p < .001$, $M_{B-D} = -.783$, $p < .001$, $M_{C-D} = -.594$, $p = .005$).

Bezüglich des Systemvertrauens kann ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt ermittelt werden ($F(3,105) = 7.963$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .185$), die Post-Hoc Tests ergeben einen Unterschied zwischen Konzept A und C ($M_{A-C} = -.583$, $p = .01$), sowie A und D ($M_{A-D} = -.750$, $p = .004$).

Hinsichtlich der wahrgenommenen Kontrolle werden ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Konzepten ermittelt ($F(3,105) = 52.228$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .599$).

Post-Hoc treten signifikante Differenzen zwischen D und allen anderen Konzepten zu Tage: $M_{A-D} = 2.139, p < .001, M_{B-D} = 2.500, p < .001, M_{C-D} = 2.528, p < .001$.

In der Analyse des Fahrspaßes und Usability-Konstrukts von Arndt (2011) konnte die Sphärizitätsannahme mittels des Mauchly-Tests (siehe Tabelle A-18) nicht bestätigt werden, weshalb die Freiheitsgrade angepasst werden müssen (Korrektur nach Greenhouse-Geisser).

Bezüglich des angegebenen Fahrspaßes zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Konzepten ($F(2.313, 80.948) = 2.613, p = .071, \eta_p^2 = .069$). Die Varianzanalyse des Usability-Konstrukts offenbarte einen signifikanten Haupteffekt ($F(2.308, 80.794) = 4.145, p = .015, \eta_p^2 = .106$), welcher nach Post-Hoc Tests auf Unterschiede zwischen den Konzepten A und D ($M_{A-D} = -0.432, p = .021$) sowie B und D ($M_{B-D} = -0.272, p = .037$) zurückgeführt werden kann.

Eine Übersicht über die Ergebnisse ist in Abbildung 4-11 zusammengestellt, alle Werte können in Tabelle A-18 in Anhang A.3.4.2 nachgeschlagen werden.

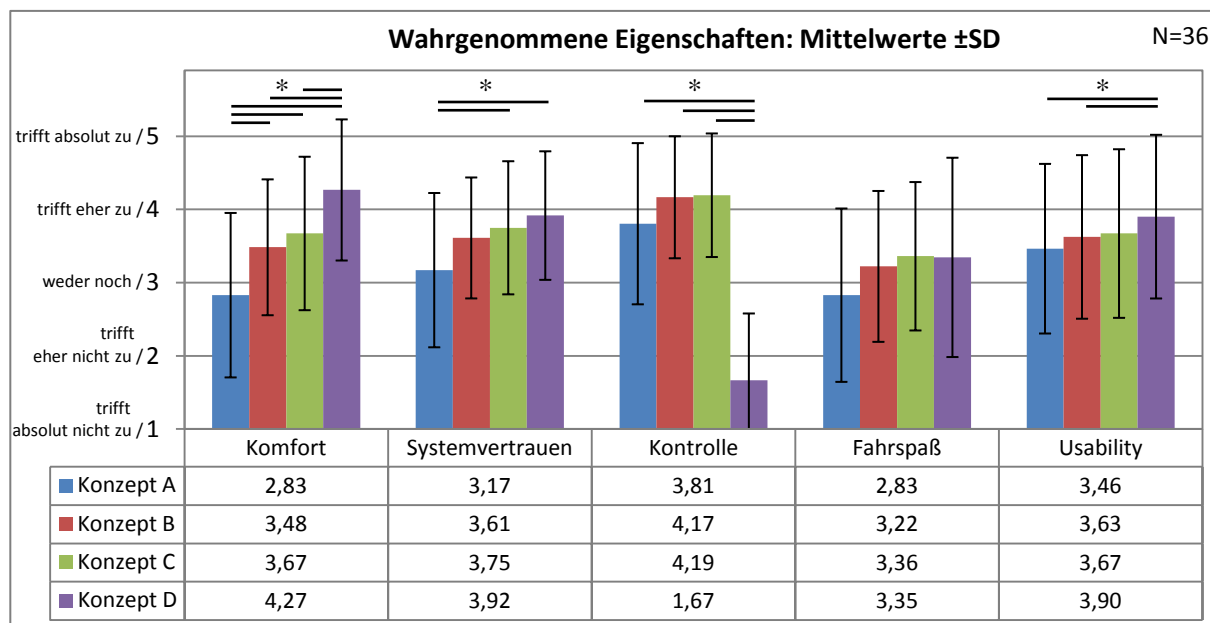


Abbildung 4-11: Faktoren der wahrgenommenen Eigenschaften

Auch bei der Auswertung der System Usability Scale (SUS) kann nach dem Mauchly-Test nicht von Sphärizität ausgegangen werden, weshalb es zu einer Anpassung der Freiheitsgrade kommt. Die Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Haupteffekt ($F(2.162, 75.672) = 17.696, p < .001, \eta_p^2 = .336$), die Post-Hoc Vergleiche einen Unterschied zwischen allen Konzepten mit Ausnahme von B und C ($M_{A-B} = -13.403, p = .001, M_{A-C} = -12.639, p = .041, M_{A-D} = -25.069, p < .001, M_{B-D} = -11.667, p = .001, M_{C-D} = -12.431, p < .001$, siehe auch Tabelle A-19). Abbildung 4-12 zeigt die erreichten SUS-Scores, welche an der in einer Metastudie von Bangor, Kortum und Miller

(2009) entstandenen Einordnung der Werte begrifflichen Bewertungen zugeordnet werden können.

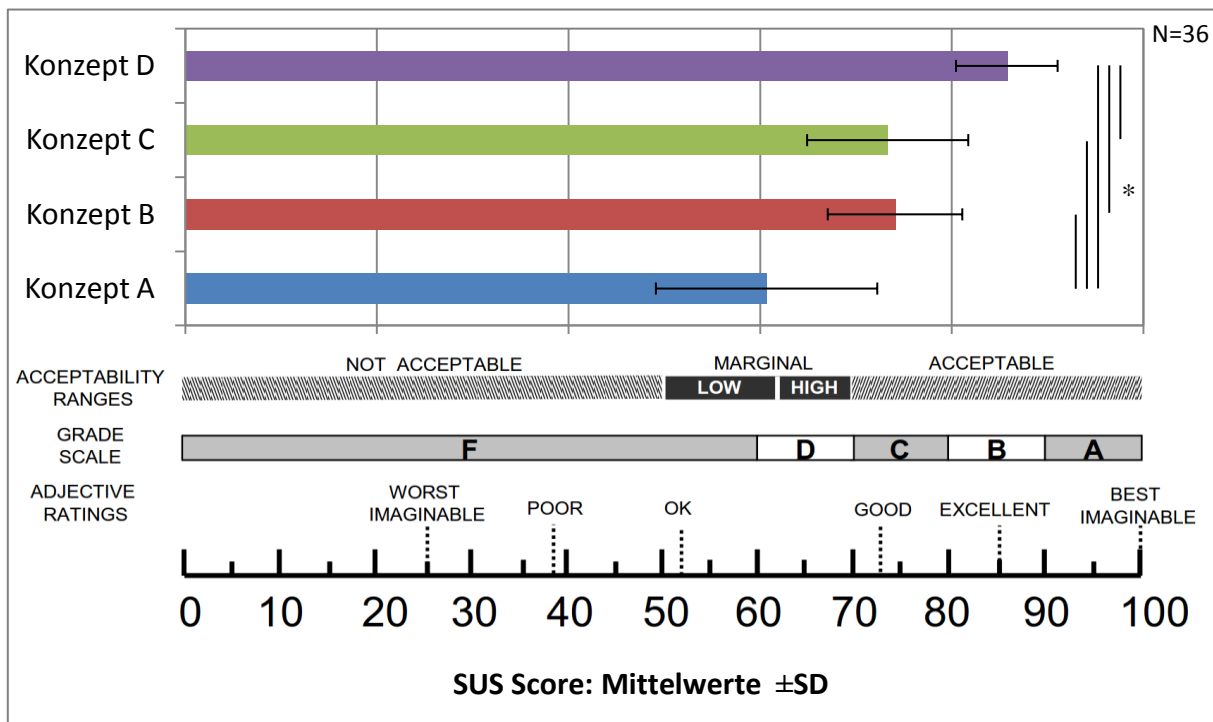


Abbildung 4-12: SUS-Score mit Einordnung nach Bangor et al. (2009)

Zur Prüfung der empfundenen Entspannung (EF3) werden die Wertungen auf der CP50-Skala analysiert. Das Hypothesenpaar ergibt sich wie folgt:

H₀: Der angegebene Entspannungswert unterscheidet sich nicht zwischen den Interaktionskonzepten.

H₁: Der angegebene Entspannungswert unterscheidet sich zwischen den Interaktionskonzepten.

In der Auswertung der empfundenen Entspannung zeigt sich, dass die Sphärizität verletzt ist (MauchlyTest, siehe Tabelle A-20), weshalb die Freiheitsgrade angepasst werden müssen. Es ergeben sich signifikante Unterschiede ($F(2.160, 75.609) = 21.594, p < .001, \eta_p^2 = .382$), welche mittels Post-Hoc Vergleichen mit Bonferroni-Korrektur Unterschiede zwischen allen Konzepten mit Ausnahme der Paarung B und C ergeben ($M_{A-B} = -6.500, p = .015, M_{A-C} = -8.927, p < .001, M_{A-D} = -15.833, p < .001, M_{B-D} = -9.333, p < .001, M_{C-D} = -6.861, p = .014$).

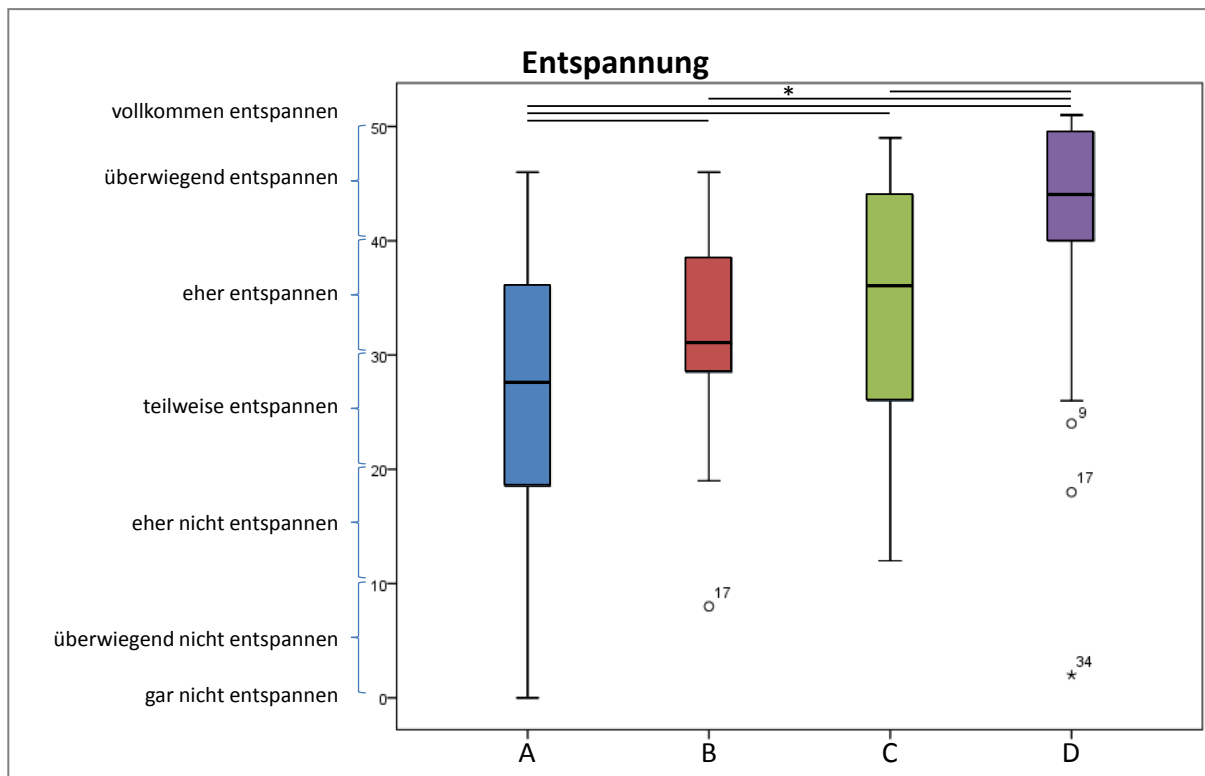


Abbildung 4-13: Boxplots der von den Probanden angegebenen Entspannung, N=36

Fragestellung vier (EF4) umfasst den Nutzen der angebotenen Informationen. Für jede der vier in allen Konzepten dargebotenen Informationselemente werden Varianzanalysen gerechnet, wobei bei dem Element „Geschwindigkeit Vorderfahrzeug“ die Sphärizitätsannahme nicht bestätigt werden kann und die Freiheitsgrade angepasst werden müssen.

Das Hypothesenpaar ergibt sich zu:

H_0 : Für das Informationselement existiert kein Unterschied zwischen den Konzepten.

H_1 : Für das Informationselement existiert ein Unterschied zwischen den Konzepten.

Das Element Setzgeschwindigkeit, welches nur in den Konzepten C und D vorhanden ist, wird mittels eines t-Tests für verbundene Stichproben auf eine konzeptabhängige Bewertung an Hand des folgenden Hypothesenpaares geprüft:

H_0 : Es existiert kein Unterschied im bewerteten Nutzen zwischen Konzept C und D.

H_1 : Es existiert ein Unterschied im bewerteten Nutzen zwischen Konzept C und D.

Das Element „anstehendes Manöver“ welches in Konzept D ein vom Fahrzeug ausgewähltes Manöver anzeigt wird mangels Vergleichsmöglichkeit lediglich in die deskriptive Auswertung aufgenommen.

Für die Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs ($F(2.178, 76.219) = .883, p = .453, \eta_p^2 = .025$), des eigenen Fahrzeugs ($F(3, 105) = .760, p = .519, \eta_p^2 = .021$) und die Anzeige der Verkehrszeichen ($F(3, 105) = 1.991, p = .120, \eta_p^2 = .054$) werden keine Unterschiede zwischen den Interaktionskonzepten ermittelt. Für die Anzeige des aktuellen Manövers hingegen existiert ein signifikanter Haupteffekt ($F(3, 105) = 15.345, p < .001, \eta_p^2 = .305$). Die paarweisen Vergleiche ergeben signifikante Differenzen zwischen Konzept A und den anderen drei Konzepten ($M_{A-B} = -1.167, p = .001, M_{A-C} = -1.611, p < .001, M_{A-D} = -.778, p = .032$), sowie zwischen den Konzepten C und D ($M_{C-D} = .833, p = .008$) wie in Abbildung 4-14 dargestellt. Der t-Test für die Darstellung der Setzgeschwindigkeit offenbart keine signifikanten Unterschiede ($t(35) = .863, p = .394$).

Die komplette Bewertung der dargestellten Elemente ist in Abbildung 4-14 grafisch zusammengestellt, die einzelnen Werte finden sich in

Tabelle A– 21.

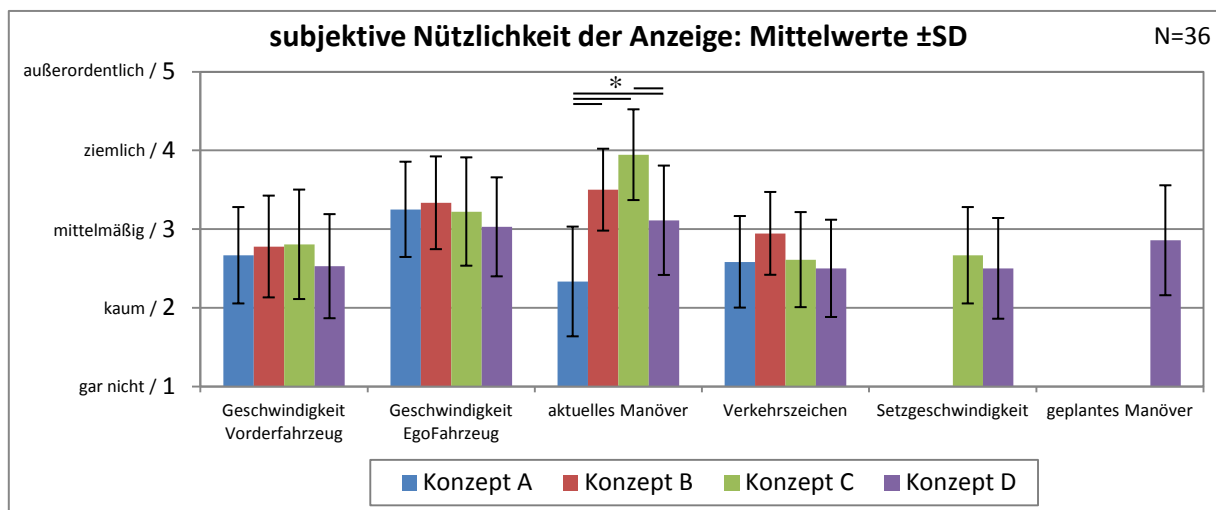


Abbildung 4-14: Darstellung der bewerteten Nützlichkeit der Informationselemente

4.6 Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass Hypothese 1 (H1) zur Akzeptanzbewertung verworfen werden muss. Es zeigt sich in den betrachteten Metriken zwar ein signifikanter Unterschied zwischen den Konzepten, allerdings liegt die positivste Bewertung nicht für die Konzepte der Führungsebene vor, sondern für dasjenige Konzept, in dem sich die Interaktion auf die Navigationsebene beschränkt. In der Betrachtung der Ergebnisse fällt zudem auf, dass die paarweisen Vergleiche jeweils zwischen den Konzepten B und C keine signifikanten Unterschiede aufdecken (EF1), wenngleich eine Betrachtung der Mittelwerte in den Diagrammen in Abbildung 4-10 eine Tendenz nahelegt. Die zu Grunde liegende Vermutung, nach der die Akzeptanz einer Interaktion auf Führungsebene am höchsten sein würde, kann somit nicht bestätigt werden, vielmehr erreicht das Konzept die höchsten Werte, in dem in unmittelbarer zeitlicher Nähe zum Manöver keine Aktionen notwendig werden.

Eine mögliche Begründung kann darin liegen, dass der positive Effekt einer Entlastung des Fahrers durch den Wegfall von Teilen der Fahraufgabe nicht bei allen Konzepten in dem Maße eingetreten ist, in dem er erwartet wurde. Eine Betrachtung der in Kapitel 2.1 vorgestellten Modelle von Fahraufgabe und menschlicher Informationsverarbeitung liefern einen Erklärungsansatz:

Das im Versuch betrachtete Szenario bildet eine vergleichsweise einfache Fahrsituation ab. Die darin anfallenden Fahraufgaben werden von einem erfahrenen Autofahrer im manuellen Modus bereits mit geringem kognitivem Aufwand ausgeführt. Im Modell nach Rasmussen (siehe Kapitel 2.1.1) wäre diese Aufgabe im Normalfall dem fertigkeitbasierten Level zuzuordnen. Das Fahren mit aktiver Automation ist hingegen für die Probanden noch keine Routine. Die neue Art der Interaktion mit dem Fahrzeug zwingt sie somit zumindest situativ dazu, auf eine bewusstere Handlungsebene des regel- oder gar wissensbasierten Verhaltens zurückzugreifen. Abhängig vom Konzept müssen dabei verschieden viele und verschieden zeitkritische Informationen aufgenommen und verarbeitet werden (siehe Kapitel 4.2.1).

Hinzu kommt, dass der Fahrer in den Fahrtabschnitten ohne Vorderfahrzeug und ohne notwendige Manöver in keinem der Konzepte mehr aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen muss. Die daraus entstehende, kognitive Belastung kann somit ebenfalls als gering angenommen werden. Über den Fahrtablauf gesehen folgen also auf längere Abschnitte, in denen der Fahrer sich komplett von der Fahraufgabe zurückziehen kann, Phasen, in denen plötzlich anspruchsvollere Prozesse ablaufen. Vor diesem Hintergrund wird plausibel, das Konzept D, in dem während der Fahrt keine

Entscheidungen für einzelne Manöver mehr zu treffen sind, die meiste Entlastung bietet.

In die gleiche Richtung weist auch die Betrachtung der wahrgenommenen Eigenschaften der Systeme (EF2) nach Arndt (2011, S. 211): Der Komfort wird dort als eine der bedeutendsten Variablen im Akzeptanzmodell beschrieben, das Systemvertrauen als Variable mit einem starken Effekt auf die Kaufabsicht. Die Komfortbewertung verbessert sich von Konzept A über B und C nach D, wobei lediglich der Einzelvergleich zwischen den Konzepten der Führungsebene (B und C) nicht signifikant wird. Das Systemvertrauen offenbart ein niedrigeres Vertrauen in das Konzept A im Vergleich zu C und D, siehe Abbildung 4-11. Die wahrgenommene Kontrolle fällt hingegen bei Konzept D stark ab, was angesichts der fehlenden Einbindung in die Ausführung der Manöver nur folgerichtig scheint. Interessant ist hier, dass sich diese niedrigere Bewertung nicht wie eingangs vermutet in der Akzeptanz niederschlägt, sondern von anderen Faktoren aufgewogen zu werden scheint.

Bezüglich des erlebten Fahrspaßes (H2), zeigt das Interaktionskonzept entgegen der Erwartung keinen Einfluss. Die angegebenen Werte bewegen sich auf der fünfstufigen Skala um einen weitgehend neutralen Wert von drei.

Die Usability-Bewertung liefert wiederum vielfältige Hinweise auf Unterschiede zwischen den Konzepten. Sowohl das Usability-Konstrukt nach Arndt, als auch die Werte der System Usability Scale (SUS) zeigen das bekannte Bild einer zunehmend besseren Bewertung je höher die Ebene ist, auf der die Interaktion stattfindet.

Die Werte des SUS weisen über die in Bangor et al. (2009) getroffene Zuordnung zu Systembewertungen darauf hin, dass die Konzepte allesamt in einem akzeptablen Bereich liegen, B und C eine Wertung von „Gut“ und D sogar eine Wertung von „Exzellente“ erhalten würden, siehe Abbildung 4-14. Konzept A mit einem Mittelwert von knapp 60 SUS-Punkten befindet sich jedoch unter dem Durchschnitt aller in Bangor et al. (2009) erfassten 3500 Usabilitystudien, der bei ca. 68 Punkten liegt.

Die von den Probanden empfundene Entspannung (EF3) unterscheidet sich ebenfalls signifikant zwischen allen Konzepten, mit Ausnahme des Unterschiedes zwischen B und C. Dabei verbessern sich die mittleren Werte von einer „teilweisen Entspannung“ in A hin zu einer „überwiegenden Entspannung“ in Konzept D. Durch die in Abbildung 4-13 dargestellten Boxplots lassen sich zudem die Besonderheiten der Verteilungen berücksichtigen, die sich zwischen den Konzepten stark unterscheiden. Auffällig ist, dass bei Konzept A nahezu das gesamte Bewertungsspektrum abgedeckt wird und der Interquartilsabstand vergleichsweise groß ist, was auf eine eher uneinheitliche Bewertung durch die Probanden schließen lässt. Konzept B und D

hingegen zeigen eine eher „schmale“ Verteilung, in der die angegebenen Werte näher zusammen liegen. Dies soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass im sehr hoch bewerteten Konzept D auch Bewertungen in der unteren Hälfte der Skala abgegeben wurden, welche als Ausreißer sichtbar sind.

Bezüglich der explorativen Frage, als wie hilfreich die Informationselemente für die Situationsbewertung angesehen werden (EF4), zeigen sich lediglich in der Darstellung des aktuellen Manövers signifikante Unterschiede. In Konzept A, in dem der Fahrer selbst die Kontrolle über die Lenkung übernimmt, wird diese Anzeige gegenüber allen anderen Konzepten als signifikant am wenigsten hilfreich bezeichnet. In den Konzepten B und C, in denen der Fahrer für die Beauftragung oder Planung der Manöver zuständig ist, finden sich hingegen sehr hohe Werte, in Konzept D fällt dies wieder ab und liegt sogar signifikant unter dem Wert von C. Das spricht einerseits dafür, dass die Probanden diese Informationen zur Überwachung der Automation nutzen, solange sie in der Verantwortung für die Manöverdurchführung stehen. Die nur noch mittelmäßig hilfreiche Bewertung in Konzept D könnte im Zusammenhang mit dem angegebenen Systemvertrauen ein Indiz dafür sein, dass die Probanden dem System so weit vertrauen, dass sie Aufgaben, die sie an das System delegiert haben, gar nicht mehr überwachen wollen.

Generell werden die dargebotenen Informationen eher verhalten und allenfalls als mittelmäßig hilfreich beurteilt, was sowohl auf ein geringes Überwachungsbedürfnis, als auch auf die relativ einfache, künstliche Umgebung im Versuchsetting zurückzuführen sein kann.

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um einen explorativen Versuch zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung der zu Grunde liegenden Technologie. In der Interpretation und Diskussion der Ergebnisse müssen folgende, sich aus den Umsetzungen und der Methodik ergebenden Einschränkungen berücksichtigt werden:

Bedingt durch die einschränkenden Voraussetzungen, welche in der Rekrutierung der Probanden beachtet werden mussten, ergibt sich das in Kapitel 4.4.5 beschriebene Probandenkollektiv. Dieses unterscheidet sich in möglicherweise relevanten Punkten von der Gesamtheit der Autofahrer. Insbesondere die Erfahrung mit Assistenzsystemen und die hohe Technikaffinität (operationalisiert über den Faktor KUT), können zu einer positiveren Bewertung der automatisierten Systeme führen.

Das gewählte Setting auf dem Testgelände weicht von dem einer realen Autobahnfahrt ab. Sowohl die durch den Fahrzyklus erreichten Geschwindigkeiten, als auch die Verkehrsdichte und die Komplexität der aufgetretenen Situationen sind merklich

geringer als in der Realität. Dies kann, speziell auch im Hinblick auf die wahrgenommene Sicherheit und das Bedürfnis nach Kontrolle, zu Verzerrungen führen.

Den Kommentaren der Probanden und deren Verhalten während der Fahrt kann jedoch entnommen werden, dass sich wie beabsichtigt das Gefühl einer gewissen Monotonie während den Fahrten eingestellt hat. Die von mehreren Probanden gestellten Nachfragen nach einer Beschäftigung weisen darauf hin, dass dies unter anderem dem bewussten Verzicht auf das Angebot von fahrfremden Tätigkeiten geschuldet ist. Ein Einfluss dieses Umstands auf den in den Fragebögen geäußerten Fahrspaß kann vermutet werden.

Ein weiterer Einflussfaktor ergibt sich durch die Umsetzung der Fahrfunktion selbst. Die in Konzept A (siehe Kapitel 4.2.1.1) erforderliche Übernahme der Lenkung durch den Fahrer und die Rückgabe nach Abschluss des Wechsels an das Fahrzeug waren durch die prototypische Implementierung mehrfach Ursache für die Deaktivierung des gesamten Systems, was eine negative Beeinflussung der Bewertungen von Konzept A wahrscheinlich macht.

4.7 Fazit

Zusammengefasst lässt sich aus diesen Beobachtungen ableiten, dass die Probanden ein hohes Vertrauen in das dargestellte automatisierte Systeme zeigen und sich wohl damit fühlen, die situativ rund um die Manöver anfallenden Aufgaben an das automatisierte System zu delegieren.

Die Umsetzung von Konzept A spiegelt die Probleme der technischen Realisierung einer seriellen Kooperation auf Stabilisierungsebene wieder. Es findet dabei nicht nur gewissermaßen während der Manöverdurchführung temporär eine Transition in einen anderen Automationsgrad (Manuell oder Assistent) statt. Vielmehr werden Probleme einer diskreten Übergabe der Stabilisierungsaufgabe und beispielsweise der Verhinderung von unsicheren Wechseln offenbar, wenn Fahrer und Automation nicht parallel auf das Stellteil einwirken. Eine sinnvollere Möglichkeit einer Kooperation auf Stabilisierungsebene kann demnach in „shared control“- Ansätzen wie H-Mode (siehe Kapitel 2.3.3.3) gesehen werden, die genau dies vorsehen. Eine mögliche Umsetzung wird in Cramer et al. (2015) vorgestellt.

Solange die Entscheidung ein Manöver durchzuführen beim Fahrer verbleibt, nehmen die Fahrer wahr, dass Sie vergleichsweise viel Kontrolle über das System und das Fahrzeug haben. Dazu sind Informationen über das System und das aktuelle Manöver hilfreich. Mit der Abgabe dieser Entscheidungsgewalt über die Manöver und damit dem Entfall der Interaktion während der automatisierten Fahrt, fällt die wahrgenommene Kontrolle stark ab. Das Systemvertrauen bleibt auf einem hohen Niveau, der Fahrspaß bleibt konstant auf weitgehend neutralem Niveau, aber der Komfort und die als „Tätigkeit“ instruierte Entspannung steigen. Dazu passend nimmt gleichzeitig die Wichtigkeit der Anzeige des aktuellen Manövers ab.

5 Studie 2 – Fahrerplatz und fahrfremde Tätigkeit

Zur Beantwortung der zweiten Teilfrage aus Kapitel 3 wird ein Konzept für einen Fahrerplatz entworfen, der sowohl das manuell/assistierte, als auch das hochautomatisierte Fahren unterstützen soll. Darin werden zwei auf den neu eingebrachten Elementen darstellbare Interaktionskonzepte integriert. Diese werden in dem Versuchsträger umgesetzt und im Fahrversuch evaluiert. Die umgesetzten Konzepte bauen auf den in Bissbort (2015) dargestellten Entwürfen auf, Teile der Evaluation sind auch in Fuchs (2016) dargestellt.

Die inhaltliche Gliederung dieses Kapitels orientiert sich an der bekannten Struktur aus Kapitel 4. Aufbauend auf den in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Erkenntnissen der ersten Studie und den Vorgaben aus Kapitel 2.4.2 werden in Kapitel 5.1 Gestaltungsziele für den neu zu entwickelnden Fahrerplatz und die darin integrierten Interaktionskonzepte formuliert sowie Maßnahmen für die Umsetzung definiert. Die konkrete Ausgestaltung der Umsetzung für die durchzuführende Studie ist in Kapitel 5.2 dargestellt. Daran schließt Kapitel 5.3 mit den Überlegungen zu geeigneten fahrfremden Tätigkeiten und deren Integration in das Fahrerplatzkonzept an. In Kapitel 5.4 werden die im Rahmen der Studie betrachteten Forschungsfragen formuliert und in Kapitel 5.5 die angewandte Methodik zu deren Beantwortung vorgestellt. An die Vorstellung der Ergebnisse in Kapitel 5.6 knüpfen deren Diskussion in Kapitel 5.7 und das abschließende Fazit in Kapitel 5.8 an.

5.1 Ableitung von Konzeptgrundlagen

Die Ergebnisse der ersten Studie dokumentieren eine hohe Akzeptanz der Fahrer für die Interaktion auf den höheren Ebenen des in Abbildung 4-1 abgebildeten Schemas. Zudem legen sie eine Präferenz für die weitgehende Entbindung von Fahraufgaben während aktiver Automation nahe. Dies schafft, neben der Entlastung von den Fahraufgaben und der Verantwortung, den Freiraum für die Nutzung der Fahrzeit für fahrfremde Tätigkeiten gemäß den Überlegungen in Kapitel 2.4.2. Der Einbezug fahrfremder Tätigkeiten in den Entwurf des Fahrerplatzes sowie die Untersuchung von deren Auswirkungen auf die Interaktion bilden daher die Schwerpunkte dieses zweiten Schrittes.

Die systematische Vorgehensweise in der Entwicklung des neuen Fahrerplatzkonzeptes geschieht durch die Ausrichtung an Gestaltungszielen, die auf der Basis einschlägiger Literatur (siehe Kapitel 2.4.2) und Erkenntnissen aus Studie 1 formuliert werden. Analog zu den aus Kap 2.4.1 bekannten Guidelines erfolgt die Formulierung

dieser Ziele lösungsneutral. Erst im zweiten Schritt werden Maßnahmen zur Umsetzung dieser Gestaltungsziele in die konkreten Interaktionskonzepte abgeleitet.

5.1.1 Gestaltungsziele

Um den nachfolgend formulierten Zielen eine Struktur zu geben werden diese zu drei thematischen Handlungsfeldern zusammengefasst:

Handlungsfeld „Erhöhung der Nutzerakzeptanz“:

1. Nutzung fahrfremder Tätigkeiten

Für die Zeit der hochautomatisierten Fahrt wird dem Fahrer ermöglicht, selbstbestimmt einer Beschäftigung nachzugehen. Diese sind aus einer großen Auswahl angebotener fahrfremder Tätigkeiten (FFT) frei wählbar.

2. Unterstützung in verbleibenden Aufgaben

Sofern Teile der Fahraufgabe beim Fahrer verbleiben, wird der Fahrer in deren Bearbeitung unterstützt.

3. Optimale Interaktionstiefe

Dem Fahrer wird keine Interaktion mit dem Fahrzeug aufgezwungen oder vorenthalten.

Handlungsfeld „Optimierung der Gestaltung von Informationsfluss und -art im Mensch-Maschine-System“:

4. Eindeutige Differenzierbarkeit

Alle im Fahrzeug angebotenen Automationsmodi spiegeln durch die Gestaltung der Interaktion, des Innenraums und der funktionalen Gestaltung eindeutig die mit dem Modus einhergehende Aufteilung von Aufgabenbearbeitung und Verantwortung wieder.

5. Sichere Transitionen

Übergänge zwischen den Automationsmodi werden durch eindeutige Handlungen gekennzeichnet. Diese Handlungen unterstützen durch ihre Gestaltung die Erfassung und Bearbeitung der Aufgaben nach der Transition.

6. Minderung von Automationseffekten

Durch die Automation hervorgerufene, negative Effekte auf die menschliche Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit werden durch die Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle gemindert.

Handlungsfeld „Optimierung der anthropometrischen Gestaltung“:

7. Vermeidung von Zwangshaltungen

Dem Fahrer wird durch die geometrische Gestaltung des Innenraums eine angenehme Haltung ermöglicht. Auch im längeren Betrieb sind alle Schnittstellen komfortabel bedien- und ablesbar.

5.1.2 Maßnahmen

In dem Bestreben, die formulierten Ziele möglichst umfassend zu erreichen, werden im Folgenden Maßnahmen zur Umsetzung im Versuchsträger definiert, wobei eine Maßnahme zur Erfüllung mehrerer Gestaltungsziele beitragen kann:

a) *Bewusste Zuwendung zu einem neuen Tätigkeitsfeld während der automatisierten Fahrt:*

Die Anzeige- und Bedienorte von manueller/assistierter Fahrt und automatisierter Fahrt werden bewusst voneinander getrennt. Anders als in der konventionellen Fahrzeugführung interagiert der Fahrer während der automatisierten Fahrt über Elemente im Bereich der Mittelkonsole und mittleren Schalttafel mit der Fahrfunktion. Dort können, wie unter b) beschrieben, zusätzlich die fahrfremden Tätigkeiten auf den dafür optimierten Elementen ausgeführt werden. Die Interaktion mit den Elementen der konventionellen Fahrzeugführung (Pedalerie, Lenkrad, Lenkstockhebel) bleibt dem manuell/assistierten Modus vorbehalten. Auf diese Weise wird der Fokus deutlich auf die für den jeweiligen Fahrmodus relevanten Elemente und Aufgaben gelenkt.

b) *Integration von Informationen aus FFT und Fahrgeschehen auf fahrzeugeigenen Elementen:*

In dem in a) definierten neuen Tätigkeitsfeld werden die Inhalte von fahrfremden Tätigkeiten mit Systeminformationen auf fahrzeugfesten HMI-Elementen integriert. Dadurch wird sichergestellt, dass dem Fahrer, während er fahrfremden Tätigkeiten nachgeht, Informationen vom System nahe seines momentanen Aufmerksamkeitsfokus dargestellt werden können. Im Falle einer Übernahmeaufforderung an Systemgrenzen kann im Extremfall die Tätigkeit systemseitig unterbrochen und dem Fahrer entzogen werden. Die Integration auf fahrzeugfesten Geräten ermöglicht, neben der Sicherung des informatorischen Zugriffs, eine auf komfortable Haltungen optimierte Anordnung im Fahrzeuginnenraum (Ziel 7) und verhindert das Einbringen mobiler Endgeräte zwischen Rückhaltesysteme (vor allem Airbags) und Fahrer.

c) *Vielfältiges Angebot unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten:*

Um die Akzeptanz der Beschränkung der FFT auf die ortsfesten Elemente zu stärken und den Anreiz der Nutzung eigener Geräte zu senken, wird ein vielfältiges Tätigkeitsportfolio zur Nutzung angeboten.

d) *Anbindung an Kommunikationsmittel (Telefon, Internet, Medienangebote):*

Die Anbindung an Telefon, Internet und Medieninhalte wird ebenfalls aus Gründen der Nachfrage und des gesicherten Zugriffs (z.B. Stummschaltung von Telefonanrufen) über fahrzeugeigene Systeme realisiert.

e) *Konsistente Gestaltung der tertiären Aufgaben über alle Fahrmodi hinweg:*

Eine durchgängige Gestaltung der Bedienung der in allen Fahrmodi verfügbaren tertiären Tätigkeiten im Fahrzeug – wie beispielsweise die Bedienung des Radios – wird sichergestellt. Der Fahrer findet Gewohntes dort, wo er es erwartet, auch während der automatisierten Fahrt.

f) *Maximierung der Automationsdauer:*

Die Zeitdauer der Fahrtabschnitte, in denen das Fahrzeug die Fahraufgabe übernimmt ist möglichst lang und darf eine gewisse Untergrenze nicht unterschreiten, um dem Fahrer FFT zur ermöglichen und Unterbrechungen zu minimieren.

g) *Bereitstellung von relevanten Informationen:*

Dem Fahrer werden die Informationen dargeboten, die für ihn auf Grund der Aufgabenverteilung von Interesse sind und die ihm helfen, den bei ihm verbliebenen Fahraufgaben nachzukommen.

h) *Unterstützende Gestaltung der Anzeigeinhalte:*

Informationen werden dem Fahrer in der Nähe seines momentanen Aufmerksamkeitsfokus und an Orten angezeigt, an denen er sie aus Zeiten der manuellen Fahrt erwartet. Systemmeldungen erscheinen beispielsweise sowohl im Kombi als auch im HUD, Details zur Meldung finden sich aber nur im Kombi. Da keine Fahrerüberwachung umgesetzt wird, erscheinen die Informationen teilweise redundant. Im erwähnten Beispiel sind Meldung und Details ebenfalls auf den Anzeigeelementen im neuen Tätigkeitsbereich aus a) zu finden.

i) *Bereitstellung von Informationen über das Fahrzeugumfeld:*

Dem Fahrer werden vereinfachte Informationen über das eigene Fahrzeug und die Automation sowie über den umgebenden Verkehr auf den Elementen des während der automatisierten Fahrt aktuellen Tätigkeitsfeldes (siehe a)) dargeboten. Diese sollen den Fahrer darin unterstützen, ein Bewusstsein über die aktuelle

Situation aufrecht zu erhalten und im Falle einer Übernahme helfen, die Fahrzeugführung wieder schnell und sicher zu übernehmen.

j) Interaktion wie gewünscht:

Basierend auf den Erkenntnissen aus Studie 1 werden die Interaktionsebenen der beiden umgesetzten Konzepte gemäß den dort angegebenen Präferenzen festgelegt. Somit erfolgt in einem Konzept eine Interaktion auf der Manöverplanungsebene („Manöverplan“) und im anderen Konzept auf Navigationsebene („Manöverautomation“).

k) Keine erzwungenen Eingaben nach Systemmeldungen:

Sofern während der automatisierten Fahrt Nutzereingaben erforderlich sind und es sich nicht um eine kritische Übernahmesituation handelt, ziehen Systemmeldungen keinen unmittelbaren Handlungszwang nach sich. Der Fahrer kann selbst entscheiden, wann und wie er auf die Meldung reagiert.

l) Gestalterische Abgrenzung zwischen manuellem/assistiertem und automatisiertem Fahren:

Die Gestaltung der Anzeigen verdeutlicht den Fahrmodus und trägt dadurch zu einer schnellen und fehlerfreien Erfassung der aktuellen Aufgaben- und Verantwortungsverteilung bei.

m) Komfortable Erreichbarkeit der Elemente:

Alle Bedienelemente sind so gestaltet, dass sie komfortabel erreichbar sind. Abhängig von der Art der notwendigen Eingaben werden Unterstützungen (z.B. Handballenauflage) vorgesehen. Um einer dauerhaften Verdrehung der Körperachse durch die Fokussierung auf den neuen Tätigkeitsbereich aus a) vorzubeugen, wird eine geringfügige Drehung im Sitz ermöglicht.

n) Fahrerorientierte Anzeigeelemente:

Die Anzeigeelemente im neuen Tätigkeitsfeld werden geringfügig zum Fahrer ausgerichtet, um eine angenehme Bedienung auch über längere Zeiträume zu ermöglichen.

o) Ausreichendes Zeitbudget:

Wo immer möglich wird für Transitionen ein großzügiges Zeitbudget zur Verfügung gestellt und der Fahrer frühzeitig informiert (beispielsweise vor Ende des Anwendungsfalls bei der Abfahrt von der Autobahn).

p) *Ablenkungsfreie Bedienbarkeit:*

Um die Ablenkung des Fahrers während der Interaktion mit der Fahrfunktion gering zu halten wird durch gestalterische Maßnahmen versucht, eine Blindbedienbarkeit (z.B. über Fühlhilfen) zu ermöglichen oder die Blickabwendung zu reduzieren.

Die obigen Maßnahmen lassen sich den in Kapitel 5.1.1 definierten Gestaltungszielen zuordnen. Tabelle 5-1 verdeutlicht, dass alle Ziele durch mehrere umgesetzte Maßnahmen gestützt werden, genauso gibt es Maßnahmen, die zur Erfüllung mehrerer Ziele beitragen.

Tabelle 5-1: Zuordnung der Maßnahmen zu den Gestaltungszielen

		1. Mehrwert durch Nutzung FFT	2. Unterstützung in verbleibenden Aufgaben	3. Optimale Interaktionstiefe	4. Eindeutige Differenzierbarkeit des Automationspektrums	5. Sichere Transitionen	6. Minderung von Automationsseffekten	7. Vermeidung von Zwangshaltungen
a	Bewusste Zuwendung zu einem neuen Tätigkeitsfeld während der automatisierten Fahrt:	x				x	x	x
b	Integration von Informationen aus FFT und Fahrgeschehen auf fahrzeugeigenen Elementen:	x						x
c	Vielfältiges Angebot unterschiedlicher fahrfremder Tätigkeiten:	x						
d	Anbindung an Kommunikationsmittel (Telefon, Internet, Medienangebote):	x						
e	Konsistente Gestaltung der tertiären Aufgaben über alle Fahrmodi hinweg:	x						
f	Maximierung der Automationsdauer:	x						
g	Bereitstellung von relevanten Informationen:		x					x
h	Unterstützende Gestaltung der Anzeigeinhalte:		x				x	
i	Bereitstellung von Informationen über das Fahrzeugumfeld:		x					x
j	Interaktion wie gewünscht:				x			
k	Keine erzwungenen Eingaben nach Systemmeldungen:				x			
l	Gestalterische Abgrenzung zwischen manuellem/assistierten und automatisierten Fahren:					x		
m	Komfortable Erreichbarkeit der Elemente:						x	x
n	Fahrerorientierte Anzeigeelemente:							x
o	Ausreichendes Zeitbudget:						x	
p	Ablenkungsfreie Bedienbarkeit:	x						x

5.2 Umsetzung

Die Realisierung der oben aufgeführten Maßnahmen erfolgt im bereits aus der ersten Studie bekannten Versuchsträger. Zur Beibehaltung einer größtmöglichen Flexibilität in der Gestaltung von Information, Interaktion und fahrfremden Tätigkeiten werden diese auf Touchscreens umgesetzt, welche im neuen Tätigkeitsfeld im Bereich der Mittelkonsole integriert werden. Angepasst auf dieses geometrische Konzept des Fahrerplatzes werden zwei auf den neu eingebrachten Elementen darstellbare Interaktionskonzepte entworfen. Sie stellen Weiterentwicklungen der in Studie 1 am besten bewerteten Konzeptausprägungen dar.

Die Integration in den bestehenden Innenraum erfolgt mit Unterstützung eines Produktdesigners und ist angelehnt an aktuelle Konzeptstudien (z.B. e-tron quattro concept (AUDI AG, 2017)). Der Gestaltungsbereich erstreckt sich, wie im oberen Teil von Abbildung 5-1 im Original- Cockpit des Versuchsträgers dargestellt, auf den gelb markierten Bereich der Instrumententafel und der Mittelkonsole.

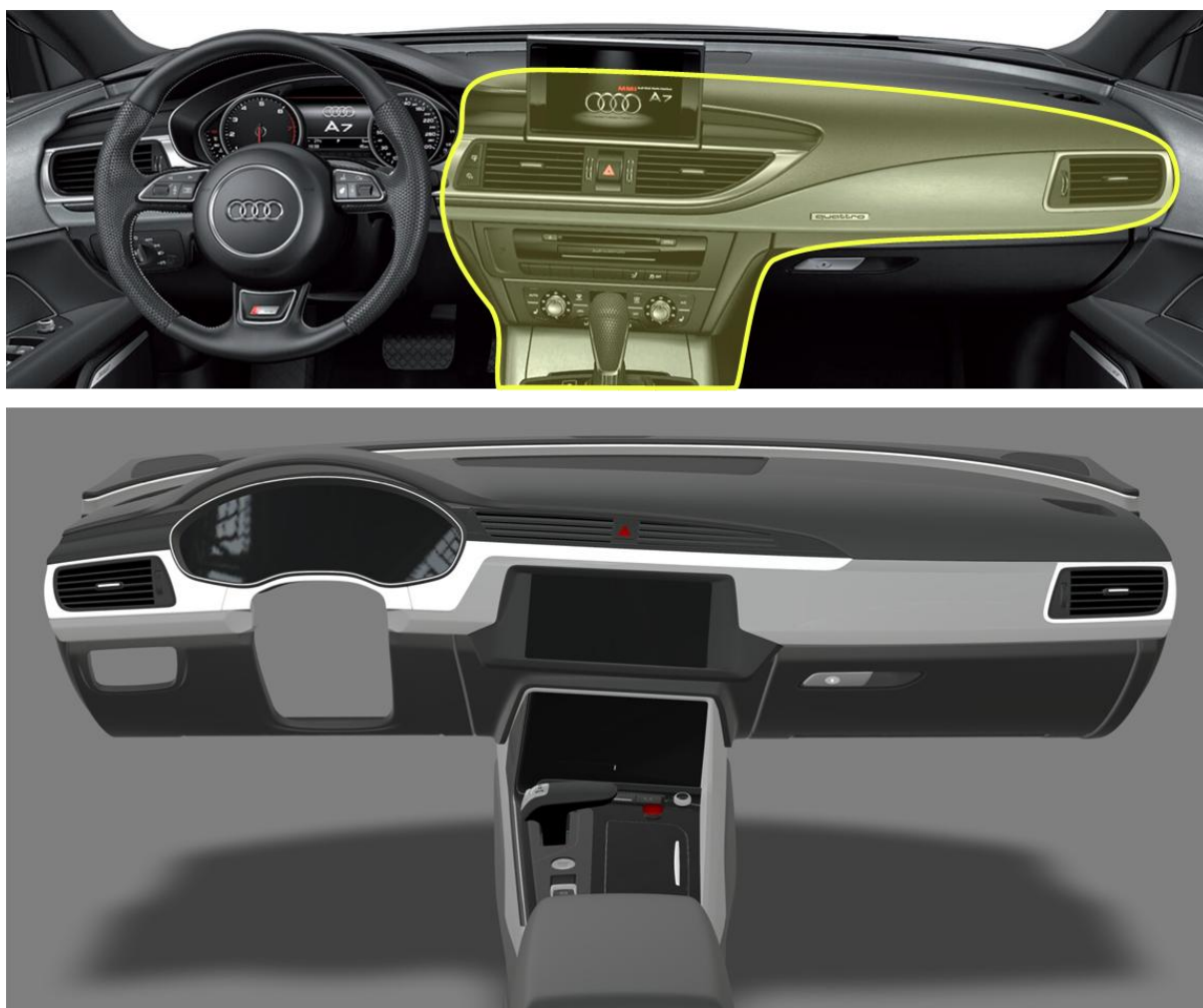


Abbildung 5-1: Seriencockpit des Versuchsträgers (oben) mit Änderungsbereich und CAD-Modell des integrierten Fahrerplatzkonzepts im Versuchsträger (unten)

Abbildung 5-1 unten zeigt ein CAD-Modell der Integration der beiden Touchdisplays mit Bildschirmdiagonalen von 10 Zoll und 8 Zoll in das Interieur. Die Positionierung der Displays erfolgt in Abhängigkeit von Sicht, Erreichbarkeit und Realisierbarkeit der Hardwareintegration. Der Taster zur Aktivierung und Deaktivierung des automatisierten Systems wird vor dem unteren Display in der Mittelkonsole angeordnet. Zur Unterstützung der Bedienung des unteren Touchscreens bei längeren Eingaben wird der Gangwahlhebel als Handballenauflage positioniert.

Diese Umgestaltung zieht weitgehende Neuordnungen aller bisher in diesem Bereich befindlichen Bauteile nach sich:

Die Komponenten des Infotainments und das Bedienmodul der Klimaanlage werden an anderen Orten im Fahrzeug nicht sichtbar verbaut und die Luftauslässe sowie die Kanalführungen der Klimaanlage entsprechend des verfügbaren Bauraums angepasst. Der Gangwahlhebel, welcher bereits aufgrund vorangegangener Nutzung des Versuchsträgers in einer Shift-by-Wire-Variante vorhanden ist, wird – ebenso wie der Start-Stopp-Taster, die elektronische Parkbremse, der Lautstärkereglern und der Cupholder – neu in der angepassten Mittelkonsole arrangiert.

Die bisher ebenfalls in diesem Bereich vorhandenen Sonderumbauten zum Betrieb der Versuchstechnik werden unter die angedeutete Cupholderabdeckung verlegt, einzig der Not-Aus-Taster bleibt aus Sicherheitsgründen im Direktzugriff und gut sichtbar verbaut. Abbildung 5-2 zeigt die Integration der neuen Elemente aus der Fahrerperspektive.



Abbildung 5-2: Integration des Fahrerplatzkonzepts im Versuchsträger

5.2.1 Konzepte

Die Inhalte beider Konzepte für die Interaktion mit der automatisierten Fahrfunktion und die Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten werden auf den oben beschriebenen Displays umgesetzt. Zudem werden im HUD Systemzustand und -status, die eigene Geschwindigkeit und Informationen der Verkehrszeichenerkennung angezeigt. Im Kombidisplay werden – neben den Informationen auf den Rundinstrumenten – Systemzustand und -status sowie weitere erklärende Statusinformationen angeboten (siehe Anhang A.4.1). Über eine neu geschaffene Anbindung an das Audiosystem des Fahrzeugs können Hinweis- und Warntöne sowie die Töne der fahrfremden Tätigkeiten ausgegeben werden.

Die Aktivierung und Deaktivierung der Systeme erfolgt über den Taster in der Mittelkonsole. Zusätzlich führen die Betätigung von Gas- oder Bremspedal und das Aufbringen eines bestimmten Lenkmoments zu einer Deaktivierung.

Die Signalisierung vom System angeforderter Übernahmeaufforderungen erfolgt multimodal. So wird auf allen ansteuerbaren Bildschirmen die Textmeldung „Bitte übernehmen“ ausgegeben und dem Fahrer die fahrfremde Tätigkeit entzogen. Zusätzlich ertönt ein Warnton (Frequenz: 2000 Hz, Dauer: 1 s), der die Übernahmeaufforderung signalisiert. Zeigt der Fahrer nach 5 Sekunden keine Reaktion, erfolgt eine Eskalation des akustischen Signals (Frequenz: 2000 Hz, Dauer: 0,5 s; Ansteuerung des Warntons einmal pro Sekunde), nach weiteren 5 Sekunden wird an den Notfallassistenten („Emergency Assist“) übergeben. Dieses System prüft, ob der Fahrer noch zum Führen des Fahrzeugs in der Lage ist und bringt es, falls dies nicht der Fall ist, in einen sicheren Zustand und setzt einen Notruf ab.

Die Interaktionskonzepte werden auf Basis der in Kapitel 5.1 beschriebenen Grundlagen entwickelt. Sie stellen Weiterentwicklungen der beiden bestbewerteten Konzepte C und D des vorherigen Versuchs (siehe Kapitel 4.2.1) dar und bilden daher eine Interaktion auf Manöverplanungsebene und Navigationsebene ab.

5.2.1.1 Konzept Manöverplan

Das Konzept des Manöverplans (MP) sieht eine Interaktion auf Manöverplanungsebene (vgl. Abbildung 4-1) vor, während die Automation aktiv ist. Die grundlegende Systemfunktionalität lässt sich wiederum am Beispiel der Fahrt auf der Autobahn erklären:

Die Grundfunktion stellt eine Fahrt im Fahrstreifen dar. Wird ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug erkannt, drosselt das eigene Fahrzeug die Geschwindigkeit und

folgt dem Vorderfahrzeug in sicherem Abstand. Überschreitet die Differenz zur gewünschten (Setz-) Geschwindigkeit einen vorgegeben Wert, erfolgt die Empfehlung an den Fahrer, einen Fahrstreifenwechsel zu initiieren. Tut er dies, stellt das Fahrzeug die Durchführbarkeit sicher und leitet den Wechsel ein. Sollte ein Wechsel nicht möglich sein, wird der Auftrag so lange gespeichert und aufrechterhalten bis die Verkehrssituation einen Wechsel zulässt. Die Entscheidung zum Wechsel zurück in den rechten Fahrstreifen obliegt wiederum dem Fahrer, das Fahrzeug gibt bei erkannter freier Fahrbahn eine Empfehlung dazu ab. Weiterhin besteht für den Fahrer die Möglichkeit direkt das kombinierte Manöver „Überholen“ auszuwählen, in dem nach Passieren des langsameren Fahrzeugs automatisch ein Wechsel nach rechts erfolgt.

In der konkreten Umsetzung ist das obere Display, wie in Abbildung 5-3 zu sehen, in mehrere Zonen unterteilt: Am linken Displayrand finden sich die Oberkategorien zur Auswahl der fahrfremden Tätigkeiten wie Medien, Kartendienste und Officeprogramme. In der Statuszeile am oberen Displayrand ist, neben der Uhrzeit und Konnektivätsinformationen, auch die Steuerung des Medienplayers im dauerhaften Direktzugriff angezeigt. Näheres dazu findet sich in Kapitel 5.3. Den größten Teil der Anzeigefläche nimmt die für die Inhalte der fahrfremden Tätigkeit reservierte Fläche ein (in der Abbildung: Coverflow des Mediaplayers). Im rechten Teil finden sich System- und Umfeldinformationen, wie sie grundsätzlich auch bereits in den Konzepten des ersten Versuchs abgebildet waren (siehe Kapitel 4.2.1). Angezeigt werden die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs, falls vorhanden ein Vorderfahrzeug und dessen Geschwindigkeit sowie das aktuell geltende Tempolimit. Dazu kommen Informationen über den aktuellen Systemzustand sowie aktuelle Manöver und zukünftige Manöver.

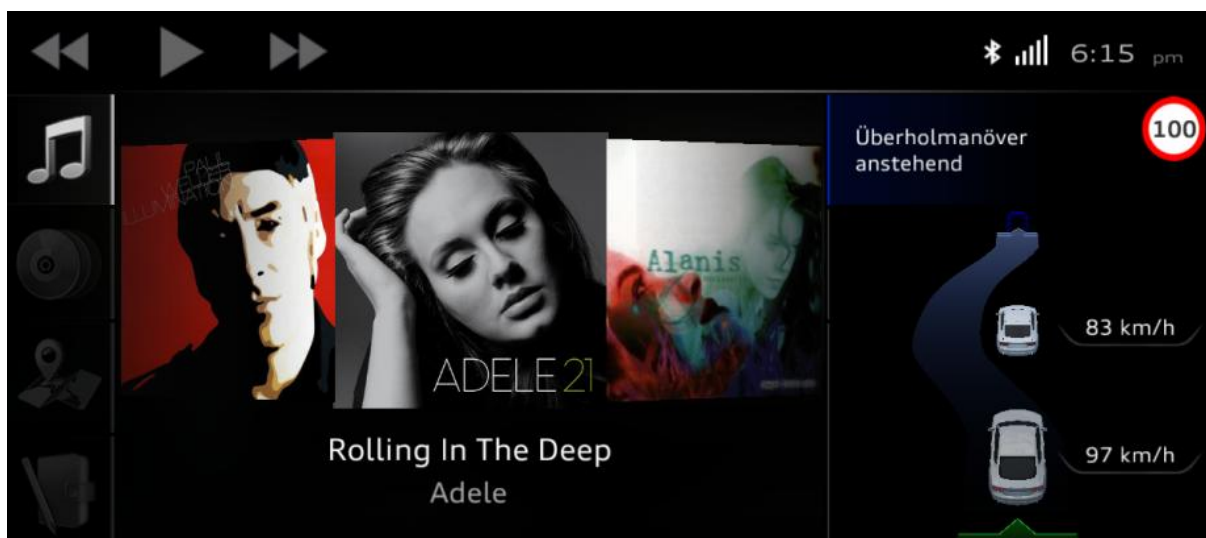


Abbildung 5-3: Oberes Display im Konzept Manöverplan

In dem Beispiel der Abbildung 5-3 wird auf die Durchführbarkeit eines vom Fahrer beauftragten Überholmanövers gewartet: Aktuell ist noch die Fahrt im Fahrstreifen aktiv (grüner Pfeil am Ego-Fahrzeug), das Überholen (blauer Pfeil und Text) ausgewählt und anstehend. Weitere Informationen kann sich der Fahrer anzeigen lassen, indem er das Infowindow erweitert (durch Tippen ins Infowindow oder ziehen des Randes). Dort würde er Detailinformationen zu Systemzustand und Manövern finden. Ein Beispiel dazu findet sich in Abbildung A-5 in Anhang A.4.1.

Auf dem unteren Display (Abbildung 5-4) wird die Bedienoberfläche zur Beauftragung der Manöver angezeigt. Darin ist perspektivisch eine abstrahierte Darstellung der Umgebungssituation inklusive zur Verfügung stehender Fahrstreifen und eventuell vorhandenem Vorderfahrzeug zu finden.



Abbildung 5-4: Unteres Display im Konzept Manöverplan

Per Wischgeste auf dem Touchscreen werden dem Fahrzeug die Manöverwünsche übergeben (siehe auch Abbildung A-6 in Anhang A.4.1). Eine Wischgeste, ausgehend vom Ego-Fahrzeug, nach links oder rechts beauftragt einen einfachen Fahrstreifenwechsel, das Wischen in einem leichten Bogen nach vorne (angedeutet um das Vorderfahrzeug herum) beauftragt einen Überholvorgang, also einen Wechsel nach links mit anschließendem Wechsel zurück in den Ausgangsfahrstreifen. Das Fahrzeug quittiert die Eingabe, einerseits durch eine Änderung des Systemstatus (Spurwechsel/Überholmanöver anstehend), andererseits durch Anzeige eines blau-transparenten Fahrzeugs, welches den künftigen Ort relativ zur Umgebung darstellt. Nach Abschluss des Manövers wird in einer Animation das Ego-Fahrzeug auf die Position des transparenten Fahrzeugs geführt und die gesamte Darstellung wieder so zentriert, dass das Ego-Fahrzeug an der Ursprungsposition mittig auf dem Display angezeigt wird. Somit wird erreicht, dass der Startpunkt der Wischgesten immer an der gleichen Stelle auf dem Display liegt und eine Blindbedienung möglich ist. Die

komplette Sequenz eines Manövers ist in der Bilderfolge in Abbildung A–7 in Anhang A.4.1 zu sehen. Zur weiteren Unterstützung der Blindbedienbarkeit sieht das Konzept vor, an der Stelle, die mit der Ego-Fahrzeugposition den Start der Gesten markiert, eine ertastbare Markierung („Fühlhilfe“) zur besseren Orientierung anzubringen.

Diese Fühlhilfe sowie die Umsetzung der unterschiedlichen Einfärbung der Manöverpfeile in den verschiedenen Phasen der Manöver sind zum Zeitpunkt der Studie nicht im Fahrzeug umgesetzt. Die Probandenfahrten erfolgen daher ohne Fühlhilfe am unteren Touchscreen und mit durchgängig blau eingefärbten Pfeilen.

5.2.1.2 Konzept Manöverautomation

Das Konzept der Manöverautomation (MA) sieht – ähnlich dem Konzept D aus Studie 1 – eine Interaktion auf Navigationsebene vor. In Kenntnis des Navigationszieles führt das Fahrzeug innerhalb des Anwendungsfalls – also auf der Autobahn – alle notwendigen Manöver selbständig aus. Der Fahrer ist dadurch von der Entscheidung, ob und welches Manöver ausgeführt werden soll, entbunden.

Die Belegung der beiden Displays spiegelt diesen Wegfall der manöverbasierten Interaktion während der automatisierten Fahrt wieder:

Im oberen Display steht im ähnlichen Grunddesign die komplette Fläche für die Anzeige der Inhalte fahrfremder Tätigkeiten zur Verfügung, siehe Abbildung 5-5.

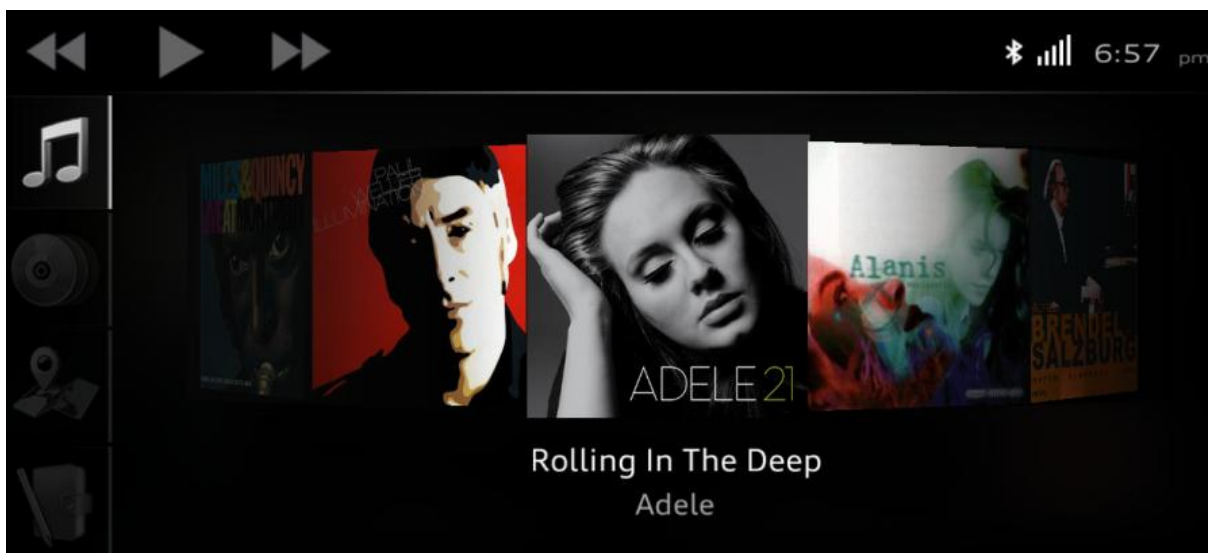


Abbildung 5-5: Oberes Display des Konzepts Manöverautomation

Die im Konzept Manöverplan im rechten Teil des oberen Bildschirms dargestellten Anzeigen der Informationen über Systemzustände und Fahrzeugumfeld werden auf den unteren Bildschirm verlagert, wie in Abbildung 5-6 zu sehen.

Die grundsätzliche Anordnung der Informationen in der Darstellung bleibt erhalten. Erfolgt im Manöverplan Hinweise auf sinnvolle Manöver und Bestätigungen vom Fahrer getätigter Eingaben, wird der Fahrer in der Manöverautomation an gleicher Stelle über die vom System getroffenen Entscheidungen informiert und erhält Zusatzinformationen über die Gründe der Auswahl.

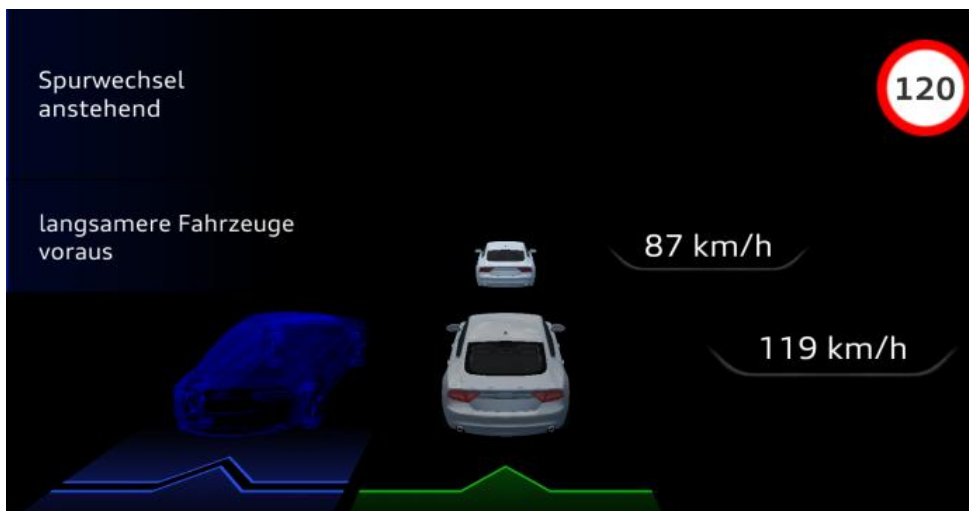


Abbildung 5-6: Unteres Display des Konzepts Manöverautomation

Auch im Konzept Manöverautomation steht die Farbkodierung der Manöverphasen zum Zeitpunkt der Studie nicht zur Verfügung und die Probandenstudie wird mit durchgängig blau eingefärbten Pfeilen durchgeführt.

Bezüglich der Verteilung der Fahraufgaben bilden die beiden Konzepte also die Konzepte C und D aus der ersten Studie weitgehend nach. Die Optimierungen und Weiterentwicklungen betreffen – neben der Integration in das Gesamtkonzept des Fahrerplatzes – vorrangig die Bedienung und die Anordnung sowie Gestaltung der Rückmeldungen und Empfehlungen des Systems.

5.2.2 Technische Realisierung

Zur Umsetzung der in Kap. 5.2.1 beschriebenen Konzepte wird der gleiche Versuchsträger wie im vorangegangenen Versuch genutzt. Neben den Umbauten zur Integration des Fahrerplatzkonzeptes sind in Bezug auf die Realisierung der Fahrfunktion und der Umsetzung des Interaktionsablaufes umfangreiche Weiterentwicklungen erfolgt, welche im Folgenden beschrieben werden. Abbildung 5-7 zeigt eine vereinfachende Übersicht über die Elemente des zur Studie eingesetzten Gesamtsystems.

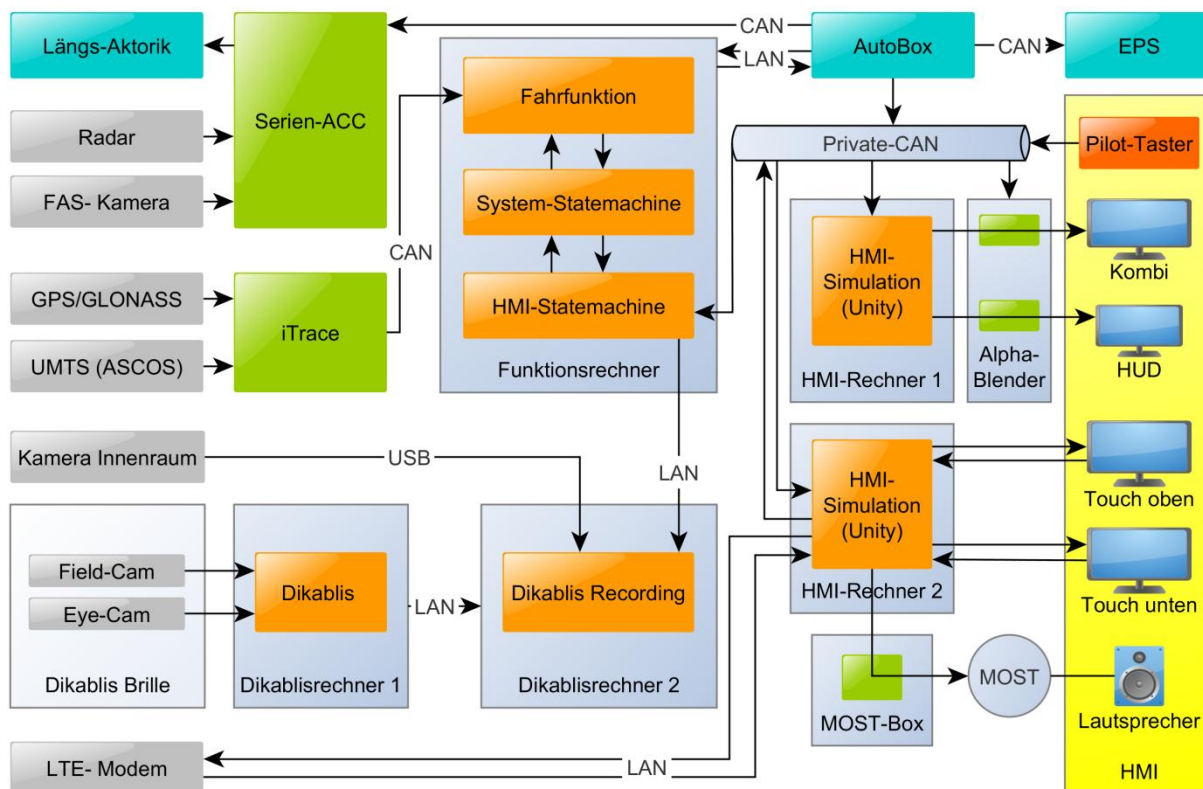


Abbildung 5-7: Gesamtsystem für die Evaluation der Fahrerplatzkonzepte

Ebenfalls darin ersichtlich ist die eingesetzte Aufzeichnungslösung für Blick-, Video und Fahrdaten, welche über das Dikablis-System der Firma Ergoneers GmbH (Version 2.5 der Analysesoftware DLab) auf zwei Rechnern umgesetzt ist. Durch ein, auf dem Kopf des Probanden in einem brillenähnlichen Gestell fixiertes Kamerasystem wird das Blickfeld nach vorne sowie das linke Auge erfasst. Die Überlagerung der Bilder ermöglicht es nachzuvollziehen, worauf der Proband seine Blicke zu welchem Zeitpunkt richtet. Synchron dazu werden ausgewählte Daten der Fahrzeugsysteme über die Vernetzung mit der ADTF-Konfiguration und ein Videobild des Innenraums aufgezeichnet, siehe Abbildung 5-7.

5.2.2.1 Fahrfunktion

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Studie 1 erfolgen grundlegende Änderungen und Erweiterungen der Fahrfunktion, um die speziellen Anforderungen abzudecken, die die Darstellung eines realistischen hochautomatisierten Autobahnscenarios für Probanden stellt.

Zur Steigerung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Fahrfunktion bei allen Witterungsverhältnissen wird die kamerabasierte Fahrbahnwahrnehmung durch eine digitale Karte der Strecke sowie hochgenaue GPS-Lokalisation ersetzt. Diese bietet über das Inertialsystem iTraceRT-F400 der Firma imar mittels interner Sensorik und

über die Satelliten des GPS- und GLONASS-Systems, unter Nutzung von über Mobilfunk bezogenen Korrekturdaten, eine zentimetergenaue Lokalisierung auf der im Vorfeld der Studie hochgenau vermessenen Strecke. Auf dieser Basis erfolgt – unter Einbezug der Manöveranforderungen – die Trajektorienplanung in der Fahrfunktion. Die so festgelegte Trajektorie wird wiederum über die Autobox durch die Aktorik für Quer- und Längsregelung eingestellt. Zur Sicherstellung einer auf eine natürliche Fahrweise optimierten Fahrzeugbewegung wird in dieser Umsetzung für die Längsregelung im Hintergrund auf das etablierte Seriensystem ACC zurückgegriffen. Die Querregelung erfolgt über die direkte Ansteuerung der elektromechanischen Lenkung (EPS).

In Summe kann damit für die Durchführung der Studie und der dafür festgelegten Methodik (siehe Kapitel 5.5) auf eine umfangreiche eigene Sensordatenverarbeitung und Situationsinterpretation verzichtet werden.

5.2.2.2 Anzeige und Bedienung

Die Integration der Anzeige- und Bedienelemente erfolgt wieder eng verzahnt mit der Fahrfunktion als Modul in der ADTF-Konfiguration auf dem Fahrzeugrechner. Die für diese Studie von Grund auf neu entwickelte *HMI-Statemachine* stellt das Bindeglied zwischen den Systemzuständen der Funktionsseite und den Eingaben und Anzeigen auf allen HMI-Elementen (in Abbildung 5-7 gelb hinterlegt) dar.

Wie in Abbildung 5-7 ersichtlich, erfolgt die ausgehende Kommunikation mit dem für HMI-Zwecke reservierten Private-CAN nicht direkt, sondern aus Gründen der Synchronisierung aller im Fahrzeug befindlicher Systemelemente über die Autobox. HMI-seitig betrifft dies hauptsächlich die Darstellung der Systemzustände auf den Displays. Die eingehenden Informationen vom Private-CAN, wie etwa die Signale des Pilot-Tasters in der Mittelkonsole und die übersetzten Eingaben an den Touchscreens, werden direkt über die Schnittstellen des Funktionsrechners eingelesen.

Zur Bereitstellung der zahlreichen Inhalte auf den insgesamt 4 Anzeigen werden zwei zusätzliche Rechner benötigt. Die Generierung der dynamischen Anzeigen erfolgt auf beiden Rechnern über die 3D Laufzeitumgebung Unity und wurde durch die Firma Germaneers implementiert. HMI-Rechner 1 bedient die Displays in Kombi und HUD über jeweils einen vorgeschalteten Alpha-Blender, der eine partielle Überblendung des Originalbildes ermöglicht. Die Unity-Konfiguration auf HMI-Rechner 2 stellt die Interaktionskonzepte und die komplette Funktionalität der fahrfremden Tätigkeiten zur Verfügung. Die beiden Displays in der Mittelkonsole sind als Monitore an den Rechner angebunden, die Eingaben der auf den Displays aufgebrachten Touchoberf-

lächen werden per USB zurückgeführt. Die Ausgabe von Tönen erfolgt über eine Kopplung von Rechner 2 über eine Adapterbox an den optischen Medien- Bus des Fahrzeugs (MOST). Zur Anbindung an mobile Datendienste ist ein externer LTE-Router im Fahrzeug verbaut, welcher per LAN-Verbindung mit Rechner 2 verbunden ist.

5.3 Fahrfremde Tätigkeiten

Zur realistischen Darstellung des Nutzens und zur Untersuchung des Einflusses auf die Akzeptanz und das Verhalten wird, wie eingangs in den Maßnahmen in Kapitel 5.1 formuliert, eine Vielzahl an fahrfremden Tätigkeiten zur Nutzung auf dem oberen Touchscreen in der Mittelkonsole implementiert. Wie in Kapitel 5.2.1.1 unter Bezug auf Abbildung 5-3 angedeutet, lassen sich, sobald die hochautomatisierte Fahrt aktiv ist, Inhalte aus den Kategorien Musik, Freizeitmedien, Kartendienste und Officeprogramme nutzen. Die Auswahl erfolgt dabei mehrstufig: Am linken Displayrand sind die genannten Kategorien im Direktzugriff zur Auswahl vorgehalten. Durch Antippen der Kategorie öffnet sich in der Hauptfläche ein Kachel-Menü mit den jeweiligen Unterprogrammen oder Inhalten zur weiter gehenden Auswahl. In der finalen Ausbaustufe stehen folgende Inhalte bereit:

Musik → MP3-Sammlung

Freizeit → Filme, Spiele, Internetbrowser

Kartendienste → Karte, Navigation

Office → Email, Kalender, Präsentationen, Videomeeting

Alle Inhalte werden auf der – je nach Konzept – dafür zur Verfügung stehenden Fläche angezeigt. Die Mediensteuerung in der Statusleiste bleibt dauerhaft sicht- und bedienbar. Somit kann beispielsweise während des Verfassens einer Email Musik gehört und der Titel gewechselt werden, ohne das Erstellungsfenster verlassen zu müssen. Die zur Texteingabe notwendige Tastatur überblendet temporär die Inhalte des unteren Screens.

5.4 Forschungsfragen

Die Formulierung der Hypothesen stützt sich auf die Erkenntnisse aus der ersten Studie und theoretische Überlegungen.

Bezüglich der Systeme (Manöverplan, Manöverautomation) werden Effekte auf die Akzeptanz und die aus der ersten Studie bekannten, wahrgenommenen Systemeigenschaften, angelehnt an Arndt (2011), erwartet. Die Richtung der Hypothesen kann mit den Erkenntnissen aus der ersten Studie folgendermaßen formuliert werden:

Hypothese 1 (H1): Die Akzeptanzbewertung fällt beim System Manöverautomation positiver aus.

Hypothese 2 (H2): Das System Manöverautomation erreicht höhere Bewertungen bezüglich Usability, Komfort und Systemvertrauen.

Hypothese 3 (H3): Das System Manöverplan erreicht höhere Bewertungen bezüglich Fahrspaß, Kontrolle und Diskomfort.

In der Betrachtung der oben genannten Dimensionen interessiert zusätzlich der Einfluss der in der Studie eingesetzten fahrfremden Tätigkeiten, welche in Kapitel 5.5.2 vorgestellt werden. In der Annahme, dass die Tätigkeit aus dem Arbeitskontext belastender ist als die aus dem Freizeitkontext und der Mensch immer nach einer Minimierung der Beanspruchung strebt, wird folgende Hypothese zur Interaktion zwischen System und Tätigkeit formuliert:

Hypothese 4 (H4): Hinsichtlich der Konstrukte der Systembewertung (Akzeptanz, wahrgenommene Eigenschaften) wird der Manöverplan im Freizeitkontext höher bewertet als im Arbeitskontext, die Manöverautomation im Arbeitskontext höher bewertet als im Freizeitkontext.

Um die Annahme zu H4 kontrollieren zu können wird ebenfalls die von den Fahrern empfundene Anstrengung (Beanspruchung) erfasst. Gemäß der oben geäußerten Annahme wird die Hypothese H5 wie folgt formuliert:

Hypothese 5 (H5): Bei der Tätigkeit im Arbeitskontext ist die hervorgerufene Anstrengung höher.

Um dem erklärten Ziel der Minderung von Automationseffekten näher zu kommen, adressieren Teile der Maßnahmen die Unterstützung des Situationsbewusstseins des Fahrers (siehe Kapitel 5.1.2). Durch die aktive Einbindung des Fahrers in die Manöverentscheidung werden beim Manöverplan höhere Bewertungen der Situation Awareness erwartet:

Hypothese 6 (H6): Bei Nutzung des Systems Manöverplan werden höhere Werte bezüglich der Situation Awareness erreicht.

Neben den Fragebogendaten werden zusätzlich Blickdaten erfasst, um das Blickverhalten der Probanden einer explorativen Auswertung zugänglich zu machen. Schwerpunktmäßig sollen dabei die Blickverteilungen und Blickzuwendungszeiten während der Fahrt im Fahrstreifen und im Manöverfall betrachtet werden und Auffälligkeiten im Blickwechselverhalten aufgedeckt werden. Ein besonderes Augenmerk gilt weiterhin dem Ablauf der Blickzuwendungen bei Manöverbeginn.

5.5 Methodik

Im Folgenden wird die methodische Herangehensweise zur Prüfung der in Kapitel 5.4 formulierten Hypothesen und Fragestellungen dargestellt. Besonderes Augenmerk wird zur Stärkung der Aussagekraft der Ergebnisse auf die Vermeidung bekannter kritischer Punkte des ersten Versuchs gelegt. Durch die in Kapitel 5.2.2 beschriebene Modifikation der Fahrfunktion und des Versuchsträgers werden die systembedingten Ausfälle verringert und die Zuverlässigkeit auch unter schwierigen Bedingungen erhöht.

5.5.1 Versuchsdesign

Ziel der Studie ist die Untersuchung der Fahrerplatzkonzepte, der Wechselwirkung zwischen Tätigkeiten und Interaktionsgestaltung und dem Verhalten der Fahrer in einem solchen System. Wie in der ersten Studie sind die Konzepte in einem realen Versuchsträger umgesetzt und für die Probanden in einer hochautomatisierten Fahrt, die einer Autobahnsituation nachempfunden ist, erlebbar.

Während des Versuchs erlebt jeder Proband jede Kombination aus System und fahrfremder Tätigkeit einmal, woraus sich ein 2x2 Design mit Messwiederholung der Innersubjektfaktoren „System“ und „fahrfremde Tätigkeit“ ergibt.

Zur Reduzierung der Einführungsfahrten werden die Systeme immer en bloc gefahren, wodurch sich für die Permutation acht Möglichkeiten ergeben (siehe Tabellen im Anhang A.4.2). Bortz und Döring (2006, S. 632) empfehlen für einen 2x2 Versuchsplan bei $\alpha=0.05$, einer angestrebten Teststärke von 80 % und einem mittleren Effekt 33 Versuchspersonen. Für die a priori Stichprobengrößenberechnung mit G*Power (Faul et al., 2007) muss die Effektstärke für eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf beiden Faktoren gemäß Rasch, Friese, Hofmann und Naumann (2014a, S. 12) korrigiert werden. Dies ergibt für einen mittleren Effekt ein korrigiertes $f' = \sqrt{2} \cdot 0.25 = 0.3536$ und damit bei einer angenommenen Korrelation zwischen den Messzeitpunkten von $r=0.5$ eine Stichprobengröße von 18 Personen,

bzw. in der konservativen Abschätzung mit $r=0.3$ eine Anzahl von 24 Personen (siehe Tabelle A-22). Es wird daher angestrebt 40 Datensätze zu erheben, mit dem Ziel, nach eventuell notwendigen Fallausschlüssen eine Mindestzahl von 32 Probanden auswerten zu können.

Der für den Versuch eingesetzte Fragebogen umfasst mehrere Teile, wie in Anhang A.4.3 zu sehen. Die Zuordnung ausgewählter Komponenten zu den Fragestellungen ist in Kapitel 5.6 aufgeführt:

Der erste Teil des Fragebogens wird zu Beginn des Versuches noch vor der ersten Fahrt ausgefüllt und erfasst persönliche Angaben und personenbezogene Merkmale der Probanden. Neben Alter, Geschlecht und Händigkeit werden die Kilometerleistung und die Regelmäßigkeit von Autobahnfahrten erfasst. Außerdem erfolgt die Erhebung einer Selbsteinschätzung zum eigenen Fahrstil anhand eines semantischen Differentials (nach Stern und Schlag (1999)), welches das in der ersten Studie genutzte um zwei Gegensatzpaare erweitert.

Des Weiteren wird die Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug an Hand der Systeme Tempomat, ACC, Spurhalteassistent und HUD erfasst. Zur Erhebung der Technikaffinität werden neben den acht Items des KUT nach Beier (2004) weitere 4 Items aus dem Fragebogen zum technikbezogenen Selbstkonzept (TSK) nach Janneck, Vincent-Höper und Othersen (2012) herangezogen, welche auf die Dimensionen Technikangst, Affekt und Selbstwirksamkeit laden, da diese im KUT nicht direkt erfasst werden. Weitere 3 Items werden aus dem Fragebogen zur Technikaffinität der Nutzer elektronischer Geräte (TA-EG) nach Karrer, Glaser, Clemens und Bruder (2009) herangezogen, um die globale positive Einstellung gegenüber technischen Geräten zu ermitteln.

Da in Teil 2 des Fragebogens nach jeder durchfahrenen Bedingung die subjektiv erlebte Anstrengung (SEA) erfasst wird, wird vor den Fahrten eine Baseline dazu erhoben. Dies geschieht mittels der in Poitschke (2011) genutzten SEA-Skala von 110mm Länge, auf der den Probanden – neben der Skaleneinteilung – Ankerpunkte für die subjektive Selbstbewertung vorgegeben sind. Diese Skala geht auf die 220-stufige SEA-Skala nach Eilers, Nachreiner und Hänecke (1986) zurück, welche als deutsche Übersetzung der „Rating Scale Mental Effort“ (RSME) nach Zijlstra (1993) konstruiert wurde.

Teil 2 des Fragebogens enthält das Fragenset, welches nach jedem Durchgang zur Bewertung der erlebten Fahrt eingesetzt wird.

Zur Bewertung der fahrfremden Tätigkeit wird einerseits wieder die Beanspruchung über die SEA-Skala erfasst, andererseits werden zwei zusätzliche Fragen nach Kenntnis und Interesse bezogen auf den präsentierten Inhalt gestellt.

Zur Erfassung des Bewusstseins über die Situation außerhalb des Fahrzeugs wird sich einer eigenen Übersetzung des Fragebogens der „Situational Awareness Rating Technique“ (SART) nach Taylor (1990) bedient. Der Fragebogen umfasst zehn Items in den drei Subskalen Situationswissen, vorhandene Aufmerksamkeit und beanspruchte Aufmerksamkeit.

Daran schließt eine Abfrage an, wie die Fahrer die Nutzung des Systems wahrgenommen haben, angelehnt an das semantische Differential zur Attraktivität der Interaktionsart in Studie 1.

Ebenfalls nach jedem Durchgang erfolgt die Abfrage zur direkten Bewertung der Interaktionskonzepte. Die wahrgenommenen Eigenschaften „Fahrkomfort“ (mit den beiden Dimensionen Komfort und Diskomfort), „Systemvertrauen“ und „Fahrspaß“ werden über die Fragen nach Arndt (2011) erhoben. Die „Kontrolle“ wird über eigene Items an das Thema Automation angepasst, die Gebrauchstauglichkeit (Usability) über die etablierten Fragen der „System Usability Scale“ (SUS) nach Brooke (1996) erfasst. Zusätzlich wird erhoben, wie gerne die Fahrer das System in ihrem eigenen Fahrzeug integriert hätten, ob sie das System weiterempfehlen würden und ob sie sich das System in einem Serienfahrzeug vorstellen könnten.

Der dritte Fragebogenteil wird nach Beendigung aller Fahrten ausgefüllt und dient der vergleichenden Bewertung der Bedingungskombinationen. Dort erfolgt eine Erfassung der Präferenz für eines der beiden Systeme und des wahrgenommenen Mehrwerts für das präferierte System. Zusätzlich sind die Probanden angehalten, in Freitextfeldern Anmerkungen zu konkret wahrgenommenen Vor- und Nachteilen der beiden Systeme zu machen.

Zusätzlich zur Erfassung der Fragebogendaten wird das Blickverhalten der Probanden erhoben. Dazu wird, wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben, das Dikablis-System genutzt, das eine Verknüpfung mit ausgewählten Fahrzeugdaten, in diesem Fall den Systemzuständen des Anzeigekonzepts, ermöglicht.

Ergänzend wird von der Versuchsleitung ein Protokoll geführt, das besondere Vorkommnisse und Kommentare während den Fahrten dokumentiert.

5.5.2 Fahrfremde Tätigkeit

Für die vorliegende Studie fließt – wie in Kapitel 5.1 festgelegt – die Beschäftigung des Fahrers mit einer fahrfremden Tätigkeit mit in die Betrachtung ein. Zur Abbildung einer möglichst realistischen Fahrsituation werden Tätigkeiten ausgewählt, die eine Nutzung der Fahrzeit im Kontext von Freizeit und Arbeit abbilden. Dazu werden zwei Umsetzungen benötigt, die sich lediglich hinsichtlich der für den Unterschied zwischen Arbeit und Freizeit relevanten Dimension der kognitiven Beanspruchung unterscheiden. Um potentielle Einflüsse auf die Bewertung reduzieren zu können, sind für die Auswahl weiterhin die Vergleichbarkeit hinsichtlich der genutzten Modalitäten, der Komplexität der Bedienung und der Verortung im Menü wichtige Voraussetzungen.

Aufbauend auf diesen Prämissen werden für die Studie zwei Filmausschnitte unter „Freizeit“ und zwei Videokonferenzen unter „Office“ ausgewählt (siehe auch Fuchs (2016)):

Die in der Studie verfügbaren Videos im Freizeitkontext zeigen einen Audi-internen Dokumentarfilm zur Entwicklung und Technik des Audi 100, siehe Abbildung 5-8 links (in der Darstellung im System Manöverplan). Der im Arbeitskontext auswählbare Inhalt stellt die Teilnahme an einem geschäftlichen Treffen per Videoschaltung dar. Gezeigt wird ein Videomitschnitt eines Vortrages mit neben dem Vortragenden eingeblendeten Vortragsfolien, siehe Abbildung 5-8 rechts (System: Manöverautomation).

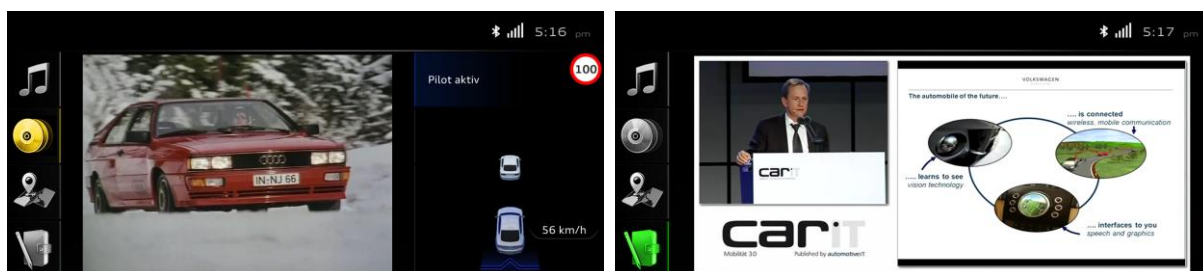


Abbildung 5-8: Auswahl fahrfremder Tätigkeiten für den Fahrversuch

Zudem unterscheiden sich die Tätigkeiten in den durch den Versuchsleiter vorgegebenen Instruktionen. Sollen die Probanden in der Freizeitbedingung lediglich den Film auswählen und betrachten, erfolgt in der Arbeitsbedingung die Anweisung, die Inhalte in Vortrag und Folien zu verfolgen, um danach Fragen dazu beantworten zu können. Als Anreiz zur richtigen Beantwortung der Fragen werden im Nachgang der Studie Gutscheine unter den Besten ausgelost.

5.5.3 Setting

Zur Sicherstellung einer hohen Aussagekraft der Ergebnisse fließen die einleitend beschriebenen zentralen Forderungen nach einer zuverlässigen Darstellung eines hochautomatisierten Autobahnszenarios in die Auswahl des Versuchsumfeldes ein. Aufgrund des Prototypenstatus des Versuchsträgers ist eine Fahrt auf einem abgesperrten Testgelände unumgänglich. Zudem wird eine ausreichend lange, durchgängig mit einer höheren Geschwindigkeit befahrbare Strecke benötigt, um die Autobahnsituation adäquat nachbilden zu können. Auf Grund der Umstellung der Fahrfunktion auf die GPS-basierte Lokalisierung ist ein guter Satelliten- und Mobilfunkempfang sicherzustellen.

Auf dem VW-Prüfgelände Ehra-Lessin findet sich ein Kurs, der die wichtigsten Voraussetzungen für diesen Versuch erfüllt. Die Strecke bildet einen Rundkurs von 4,7 km Länge, bestehend aus zwei Geraden und zwei unterschiedlich großen Kurven mit Radien von 205 m und 305 m ohne Überhöhung. Auf der Strecke sind durchgängig zwei nebeneinanderliegende Fahrstreifen befahrbar, ein dritter in weiten Teilen angedeutet. Für die Fahrwege des Vorderfahrzeugs bieten sich durch die in der Mitte liegende Dynamikfläche zahlreiche Variationsmöglichkeiten. Abbildung 5-9 zeigt die Übersicht der Strecke mit Fahrwegen von Versuchs- und Vorderfahrzeug.

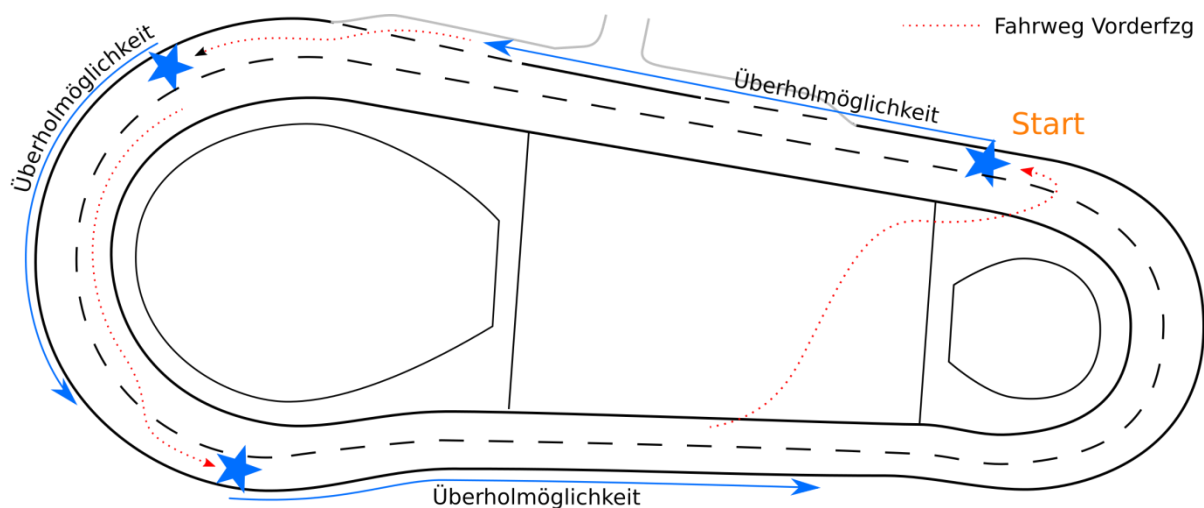


Abbildung 5-9: Plan der Versuchsstrecke in Ehra-Lessin

Die Setzgeschwindigkeit wird abhängig von der Position auf der Strecke und den Umgebungsbedingungen variiert. Im Normalfall beträgt die Geschwindigkeit auf den Geraden 100 km/h, in den Kurven erfolgt eine Reduktion auf 80 km/h in der großen Kurve und 70 km/h in der kleinen Kurve, um keine zu hohen Querbeschleunigungen hervorzurufen und einen Sicherheitspuffer für das abrufbare Lenkmoment zu haben.

Bedingt durch ungünstige Wetterbedingungen (anhaltender Starkregen) musste für mehrere Probanden wegen Aquaplaninggefahr die Geschwindigkeit auf der Startgeraden auf 80 km/h und in der kleinen Kurve auf 65 km/h reduziert werden. Zudem entfiel bei diesen Probanden aus Sicherheitsgründen das Manöver auf der Startgeraden.

5.5.4 Versuchsablauf

Der Ablauf der Versuche folgt einem standardisierten Vorgehen. Nach einer kurzen Begrüßung am Eingang des Testgeländes erfolgen der Transfer zur Teststrecke und eine kurze allgemeine Einweisung in das Verhalten auf dem Prüfgelände. An der Strecke wird in das Versuchsfahrzeug gewechselt und der Proband in das Fahrzeug und das Sicherheitskonzept eingewiesen. Daran schließt sich das Ausfüllen des ersten Fragebogenteils und das Aufsetzen und Kalibrieren des Dikablis-Systems an.

Die Versuchsfahrten werden entsprechend der Reihenfolge abgewickelt, die nach dem in Anhang A.3.2 dargestellten Permutationsschema festgelegt wird. Dieses sieht – wie in Kapitel 5.5.1 angesprochen – vor, Durchgang 1 und 2 mit einem und Durchgang 3 und 4 mit dem anderen System zu durchfahren. Somit werden lediglich vor dem ersten und vor dem dritten Durchgang Einführungsfahrten zum Kennenlernen des Systems erforderlich. Die Zahl der Einführungsrunden richtet sich nach dem Umgang der Probanden mit dem System. Sobald die Bedienung verstanden ist und sicher beherrscht wird, erfolgt der Start der Messfahrt ab dem Startpunkt. An jede Fahrt schließt sich das Ausfüllen der konzeptspezifischen Fragen im zweiten Fragebogenteil an. In den Durchgängen mit der Tätigkeit aus dem Arbeitskontext werden zusätzlich vom Versuchsleiter Fragen zum Inhalt der Präsentation gestellt und im Versuchsprotokoll vermerkt.

Nach Abschluss aller vier Fahrten wird die Dikablisbrille abgenommen und zusätzlich der letzte Fragebogenteil ausgefüllt. Vor der Verabschiedung können die Probanden als Aufwandsentschädigung eines von drei Geschenken auswählen. Danach erfolgt der Transfer zum Ausgang des Testgeländes.

Die Gesamtdauer des Versuches beläuft sich pro Proband auf ungefähr zwei Stunden.

5.5.5 Probandenkollektiv

Durch die Erhöhung der Systemzuverlässigkeit und die Umgebung auf dem Testgelände sind für diesen Versuch keine Sonderfahrerlaubnisse erforderlich. Die in der ersten Studie geforderte Beherrschung des Fahrzeugs bei Fehlfunktionen und die

Fähigkeit zwischen Bewertungsgegenstand und prototypischer Umsetzung zu differenzieren, treten bei der Auswahl der Versuchsteilnehmer für diese Studie in den Hintergrund. Somit bietet sich die Möglichkeit, auch unbedarftere Fahrer als Probanden zu gewinnen, was nach Bubb (2003b) eine wesentlich höhere Aussagekraft bezüglich des künftigen Verhaltens ermöglicht.

Aus Gründen der Geheimhaltung auf dem Rest des Testgeländes müssen alle Teilnehmenden allerdings aus dem Kreis der Mitarbeiter der VW AG rekrutiert werden. Dies geschieht über den VW-Probandenpool, der eine Datenbank mit interessierten Mitarbeitern aus allen Geschäftsbereichen führt und bei der Rekrutierung und Abwicklung unterstützt.

In Summe nahmen nach Systemausfällen, witterungsbedingten Streckensperrungen und Probandenabsagen 35 Versuchspersonen an dem Versuch teil, darunter 15 Frauen und 20 Männer zwischen 25 und 57 Jahren ($M = 37.0$ Jahre, $SD = 7.7$ Jahre). 32 Probanden waren Rechtshänder, drei Linkshänder, eine Rot-Grün-Schwäche gab kein Proband zu Protokoll. Die mittlere jährliche Fahrleistung beträgt 22176 km ($SD = 11655$ km). Die Erhebung zu den Autobahnfahrten zeigt, dass zwölf Probanden täglich im dienstlichen Zusammenhang Autobahn fahren, zehn mehrmals pro Woche, vier einmal wöchentlich, fünf einmal pro Monat und vier noch seltener.

Die Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug ist im Probandenkollektiv relativ hoch. 94.1 % der Probanden haben einen Tempomaten, 73.5 % ACC und 76.5 % einen Spurhalteassistenten bereits als Fahrer im Fahrzeug erlebt. Einzig die Erfahrung mit dem HUD fällt mit 26.5% niedriger aus.

Der zur Erfassung der Technikaffinität herangezogene KUT-Fragebogen nach Beier (2004) ergibt mit im Mittel 33.26 Punkten ($SD = 3.10$) einen hohen Durchschnittswert, die Werte streuen zwischen 26 und 39 Punkten. Damit liegt die darüber erfasste Kontrollüberzeugung im Umgang mit technischen Geräten ähnlich hoch wie in der ersten Studie. Die ebenfalls erfassten Werte des TA-EG und des TSK deuten ebenso auf eine hohe Technikaffinität hin. Die tabellierten Werte sind in Anhang A.4.4.1, Tabelle A-25 zu finden.

5.6 Ergebnisse

Die inferenzstatistische Auswertung der über den Fragebogen erhobenen Daten erfolgt, ausgerichtet an den in Kapitel 5.4 formulierten Hypothesen, mittels der Statistiksoftware SPSS. Zur deskriptiven Betrachtung des Blickverhaltens werden die Rohdaten des Dikablis-Systems aufgrund der unzureichenden automatischen Pupillenerkennung Bild für Bild manuell nachbearbeitet, bevor die Berechnung der Blickzuwendungen in der Analysesoftware DLab ausgeführt wird. Die so generierten Daten werden unter der Nutzung von MATLAB weiterverarbeitet und der explorativen Auswertung zugänglich gemacht.

5.6.1 Fragebogen

Die Überprüfung der Unterschiedshypothesen erfolgt mittels zweifaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung. Als Zwischensubjektfaktor wird das Geschlecht der Probanden herangezogen.

Voraussetzungen dieser Analyseverfahren sind nach Rasch et al. (2014b, S. 71) Normalverteilung, Homogenität der Varianzen und Sphärizität. Letztere ist bei weniger als drei Faktorstufen nicht relevant (Field (2009, S. 459)). Die Normalverteilung und die Varianzhomogenität sind nicht durchgängig gegeben, siehe Tabelle A–27 und Tabelle A–28 im Anhang. Die Varianzanalyse wird dem gegenüber jedoch als relativ robust angesehen (Rasch et al. (2014b, S. 32), Bortz (2005, S. 287)) und daher zur Auswertung genutzt.

In die Bewertung der Akzeptanz fließen die Fragen zu Präferenz und wahrgenommenem Mehrwert sowie die Frage, ob das System im eigenen Fahrzeug gewünscht ist, ein. Zur Überprüfung der Hypothese H1 wird daher für jede Komponente das folgende Hypothesenpaar überprüft:

H₀: Es existiert kein Unterschied zwischen den Konzepten.

H₁: Es existiert ein Unterschied zwischen den Konzepten.

In der Bewertung, ob die Probanden das System gerne im eigenen Fahrzeug hätten, findet sich ein signifikanter Haupteffekt des Systems: $F(1,31) = 13.985$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .311$. Die Bewertung fällt dabei für das System Manöverautomation im Mittel höher aus ($M_{MP-MA} = -.639$).

Die Auswertung der Präferenz ergibt, dass 24 Personen (71%) die Manöverautomation bevorzugen, 10 Personen (29%) den Manöverplan. Probanden, die die Manöverautomation präferieren schätzen den Mehrwert dieses Systems gegenüber dem

anderen auf einer Skala von 0-100 im Mittel mit 77.96 Punkten ein (SD = 12.99, min = 55, max = 99). Die zehn Anhänger des Manöverplans geben den Mehrwert „ihres“ Systems mit im Mittel 59 Punkten an (SD = 30.01, min = 5, max = 91).

Zur weitergehenden Analyse werden die Angaben zur Präferenz in eine Rangreihenfolge überführt und mittels des Friedman-Tests auf obiges Hypothesenpaar getestet. Das Ergebnis ($X^2(1, n = 34) = 5.765, p = .016$) bedeutet einen signifikanten Unterschied in den Präferenzangaben. Abbildung 5-10 stellt alle zur Akzeptanzbewertung herangezogenen Maße grafisch dar, alle Werte sind in Tabelle A–29 aufgeführt. Für die von den Probanden genannten Vor- und Nachteile sei auf die Listen in Anhang A.4.4.3 verwiesen.

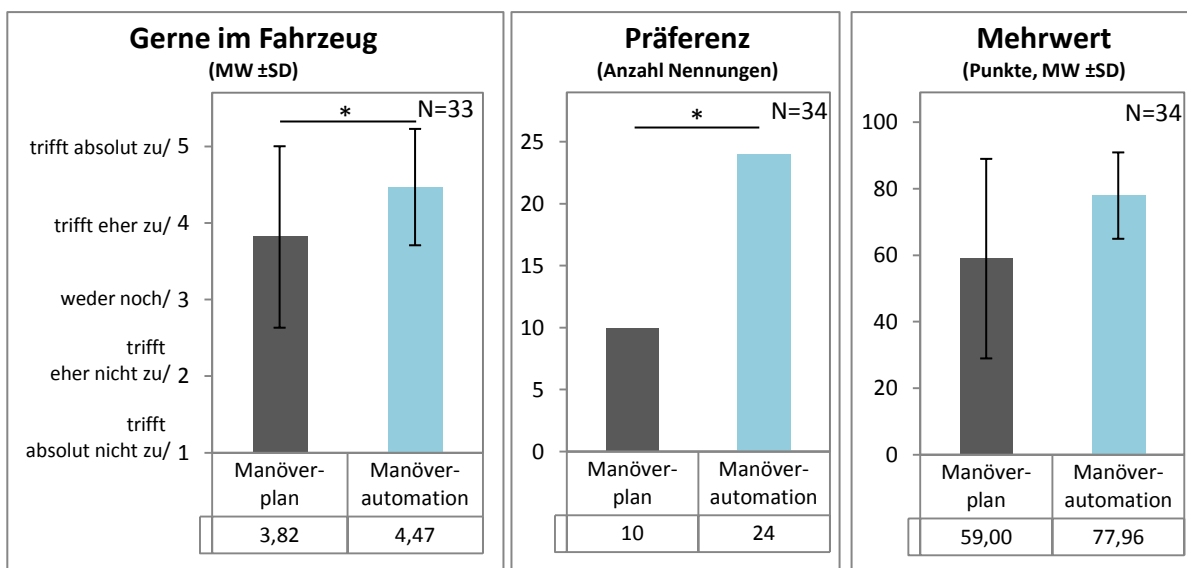


Abbildung 5-10: Vergleich der herangezogenen Akzeptanzmaße zwischen den Systemen

Die Hypothesen H2 und H3, welche die wahrgenommenen Eigenschaftsfaktoren adressieren, werden je Faktor an Hand des folgenden, auf die Systeme Manöverplan und Manöverautomation bezogenen Hypothesenpaars ausgewertet:

H₀: Der Faktor unterscheidet sich nicht zwischen den Systemen.

H₁: Der Faktor unterscheidet sich zwischen den Systemen.

Hinsichtlich der Komfortbewertung ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt des Systems ($F(1,31) = 16.343, p < .001, \eta_p^2 = .345$) mit einer Mittelwertdifferenz von $M_{MP-MA} = -.549$, ebenso in der Bewertung des Diskomforts ($F(1,31) = 11.231, p = .002, \eta_p^2 = .266, M_{MP-MA} = .404$). Erwartungsgemäß ist der Komfort in den Bedingungen der Manöverautomation höher und der Diskomfort geringer bewertet. Beim Diskomfort zeigt sich zusätzlich ein Effekt des Zwischensubjektfaktors Geschlecht

($F(1,31) = 12.202$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .282$, $M_{w-m} = -.696$), das heißt Frauen berichteten systemübergreifend einen geringeren Diskomfort.

Der Faktor Systemvertrauen offenbart ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt des Systems ($F(1,31) = 6.725$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .178$) mit positiveren Bewertungen für die Manöverautomation ($M_{MP-MA} = -.204$).

Die Analyse des Faktors Kontrolle ergibt keine Unterschiede zwischen den Systemen ($F(1,31) = .352$, $p = .557$, $\eta_p^2 = .011$), ebenso wie die Betrachtung des Fahrspaßes ($F(1,31) = 2.472$, $p = .126$, $\eta_p^2 = .074$). Abbildung 5-11 zeigt die ausgewerteten Faktoren im Überblick, alle Werte der Tests sind in Tabelle A-30 im Anhang zu finden.

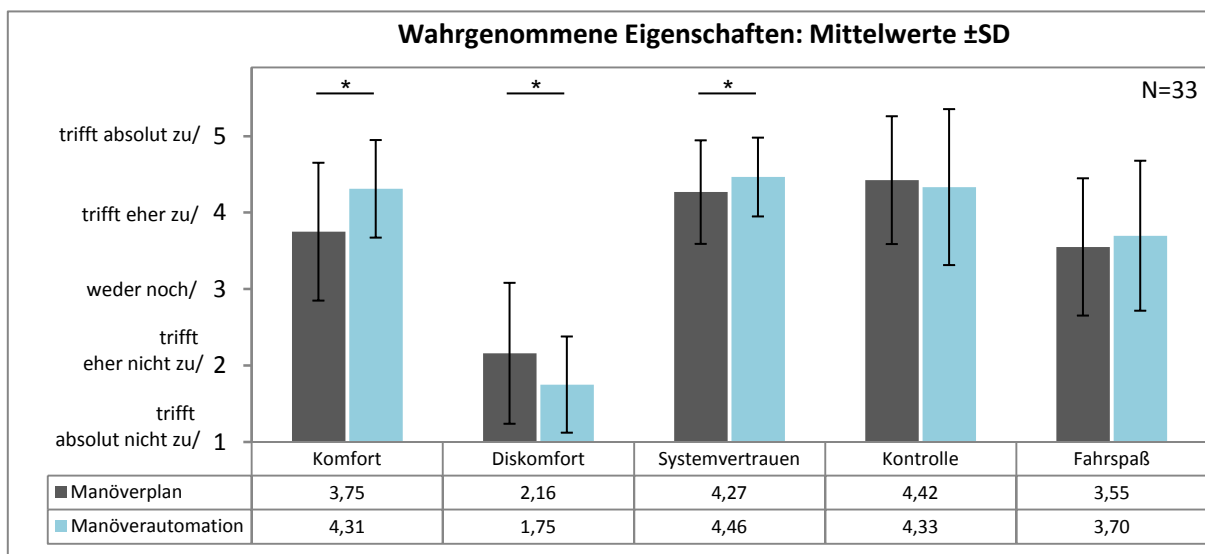


Abbildung 5-11: Wahrgenommene Eigenschaften der Systeme

Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit mittels der System Usability Scale ergibt eine signifikant höhere Bewertung des Systems Manöverautomation ($F(1,29) = 19.885$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .407$, $M_{MP-MA} = -7.526$). Abbildung 5-12 stellt die Bewertungen gegenüber und zeigt die Zuordnung zu den SUS-Score nach Bangor et al. (2009). Es zeigt sich ebenfalls ein Unterschied der Bewertung zwischen Männern und Frauen: $F(1,29) = 6.251$, $p = .018$, $\eta_p^2 = .177$, $M_{w-m} = 8.377$. Die Frauen im Versuch bewerten die Usability demnach generell höher als die Männer. Die Teststatistik aller Faktoren ist in Tabelle A-31 zu finden.

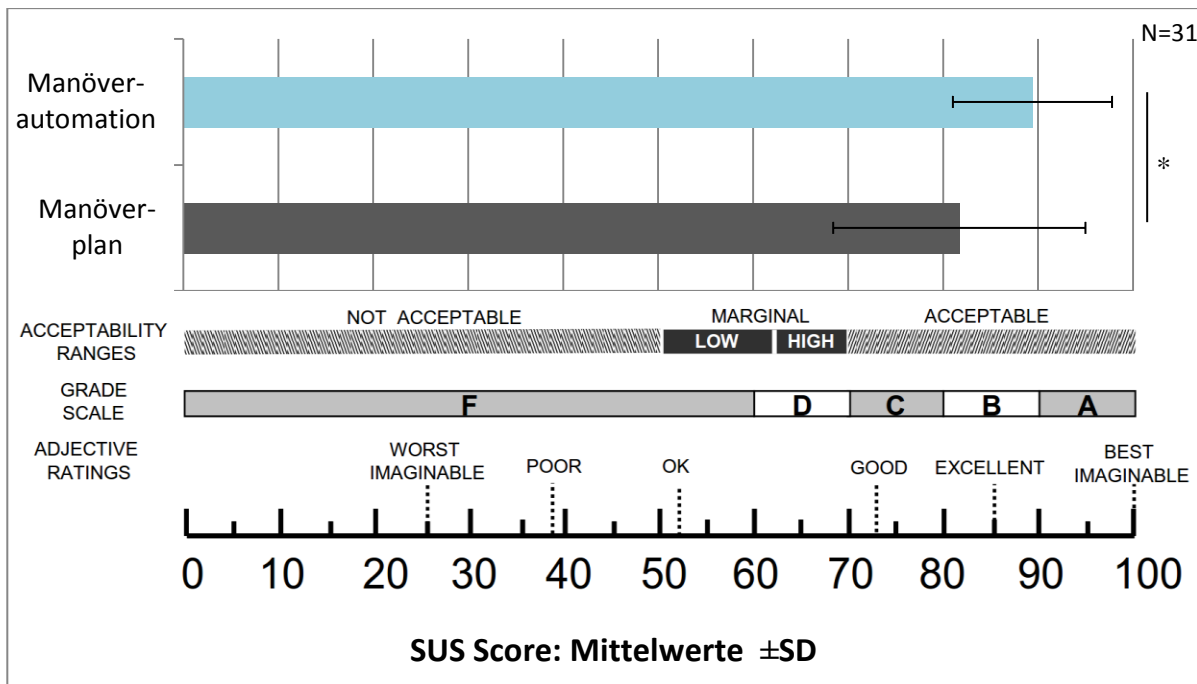


Abbildung 5-12: SUS-Score mit Einordnung nach Bangor et al. (2009)

Hypothese H4 bezieht sich auf die Interaktion zwischen der Systemausprägung und der Art der Tätigkeit. Bei keiner der in den Hypothesen H1 bis H3 getesteten Variablen findet sich eine signifikante Wechselwirkung mit der fahrfremden Tätigkeit, die zugehörigen Werte finden sich in den jeweiligen Tabellen in Anhang A.4.4.2.

Hypothese H5 zur hervorgerufenen Anstrengung wird an folgendem Hypothesenpaar überprüft:

H₀: Die Anstrengung unterscheidet sich nicht zwischen den Tätigkeiten.

H₁: Die Anstrengung unterscheidet sich zwischen den Tätigkeiten.

Die durch die Fahrt mit der jeweiligen Kombination hervorgerufene Anstrengung wird nach jeder Fahrt über die SEA-Skala ermittelt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Abbildung 5-13 dargestellt und der vor den Fahrten erhobenen Baseline gegenübergestellt.

Es ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt der Tätigkeit ($F(1,32) = 20.792, p < .001, \eta_p^2 = .394$) mit einer Mittelwertdifferenz von $M_{Arbeits-Freizeit} = 11.511$ Punkten, was bedeutet, dass die Nebentätigkeit im Arbeitskontext eine größere Anstrengung hervorruft.

Ebenso findet sich ein Haupteffekt des Systems ($F(1,32) = 15.756, p < .001, \eta_p^2 = .330, M_{MP-MA} = 6.951$), sowie eine signifikante Interaktion von Tätigkeit und Geschlecht ($F(1,32) = 4.594, p = .040, \eta_p^2 = .126$), siehe auch Tabelle A-32.

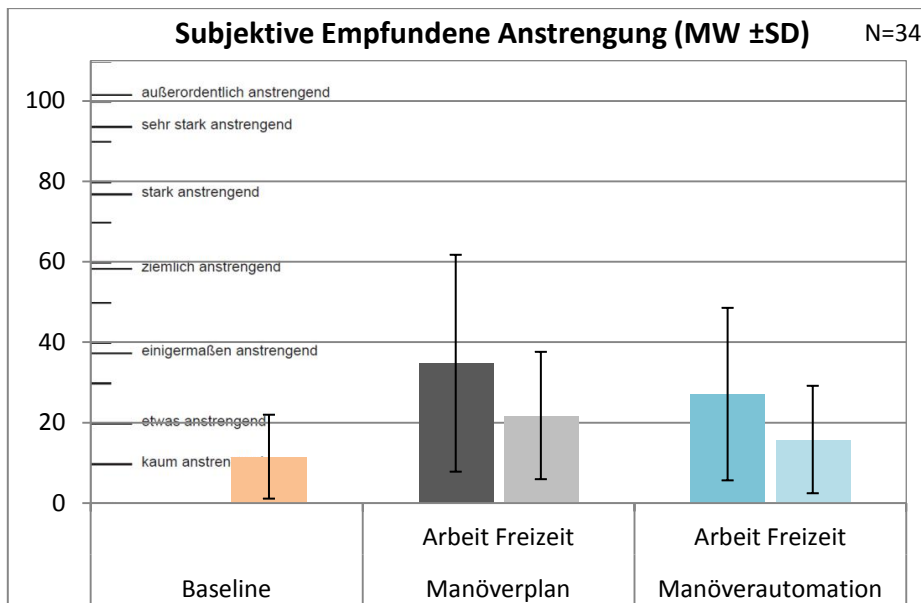


Abbildung 5-13: Subjektiv Empfundene Anstrengung vor dem Versuch (Baseline) und nach den Bedingungen

Bezüglich der mit Hypothese H6 adressierten Situation Awareness wird folgendes Hypothesenpaar untersucht:

H₀: Das Situationsbewusstsein unterscheidet sich nicht zwischen den Systemen.

H₁: Das Situationsbewusstsein unterscheidet sich zwischen den Systemen.

Die Varianzanalyse ergibt keinen Haupteffekt des Systems ($F(1,31) = 0.009$, $p = .926$, $\eta_p^2 < .001$), somit hat das System keinen Einfluss auf den erfassten SART-Wert. Es ergibt sich allerdings ein Effekt der Tätigkeit ($F(1,31) = 4.969$, $p = .033$, $\eta_p^2 = .138$, $M_{\text{Arbeit-Freizeit}} = -0.083$) und des Geschlechts ($F(1,31) = 4.655$, $p = .039$, $\eta_p^2 = .131$, $M_{w-m} = 4.600$), wie in der Zusammenstellung in Abbildung 5-14 und Tabelle A-33 im Anhang dargestellt.

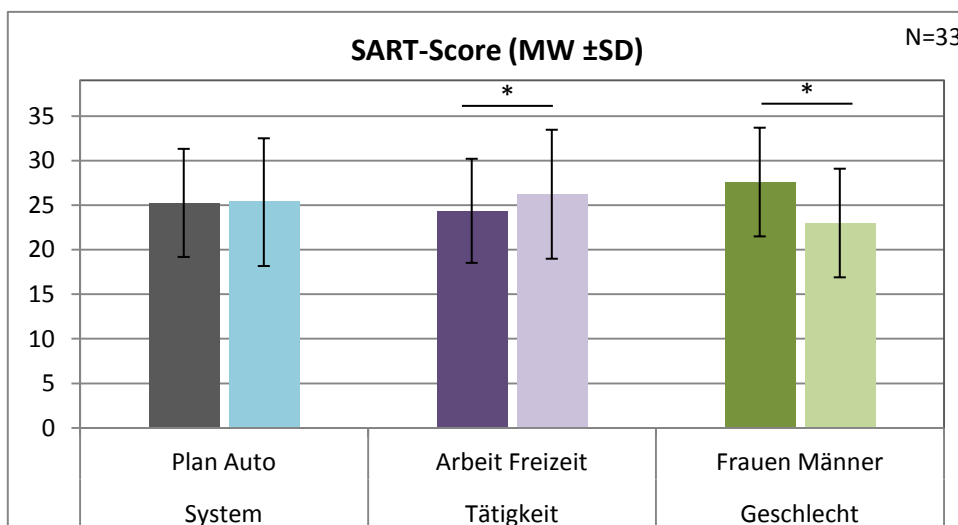


Abbildung 5-14: SART-Werte der verschiedenen Bedingungen

5.6.2 Blickerfassung

Bedingt durch die Realfahrt liegen Einschränkungen in der Erfassungsgüte von Pupille und Markern sowie Besonderheiten, welche sich aus dem Versuchsablauf ergeben (zeitliche Variabilität relevanter Ereignisse, keine vordefinierten Trigger, etc.), vor. Die Auswertung erfolgt daher basierend auf Blicken in relevante Bereiche, sogenannte „Areas of Interest“ (AOIs). Der Begriff Blick (engl. „glance“) wird in Holmqvist, Nyström und Andersson (2011, S. 190) definiert, als ein Besuch einer AOI, vom Eintritt bis zum Austritt. Basierend auf ISO ISO/FDIS 15007-1 wird ein zeitliches Kriterium, ab dem der Blick als gültig gewertet wird, eingeführt, da Fixationen $\leq 120\text{ms}$ in einer AOI physikalisch nicht möglich sind und solche Detektionen somit Ungenauigkeiten in der Erfassung oder Übergängen zwischen anderen AOIs zugerechnet werden können. Eine genaue Beschreibung, auf welche in der AOI sichtbare Information genau geblickt wird (Fixationen) ist bei der Beschreibung als Blick zu Grunde liegenden Informationsgüte nicht möglich.

Entsprechend werden zur Auswertung der Blicke im Untersuchungsraum – also dem Fahrzeugcockpit – Bereiche als AOIs festgelegt, deren Betrachtung durch den Fahrer relevant sein kann. Sie umfassen die neuen Informations- und Interaktionselemente auf den beiden Touchscreens sowie die klassischen Informationsorte des Fahrers: Windschutzscheibe, Kombiinstrument und Spiegel. Die Bezeichnung der AOIs und deren räumliche Anordnung ist in Abbildung 5-15 dargestellt.

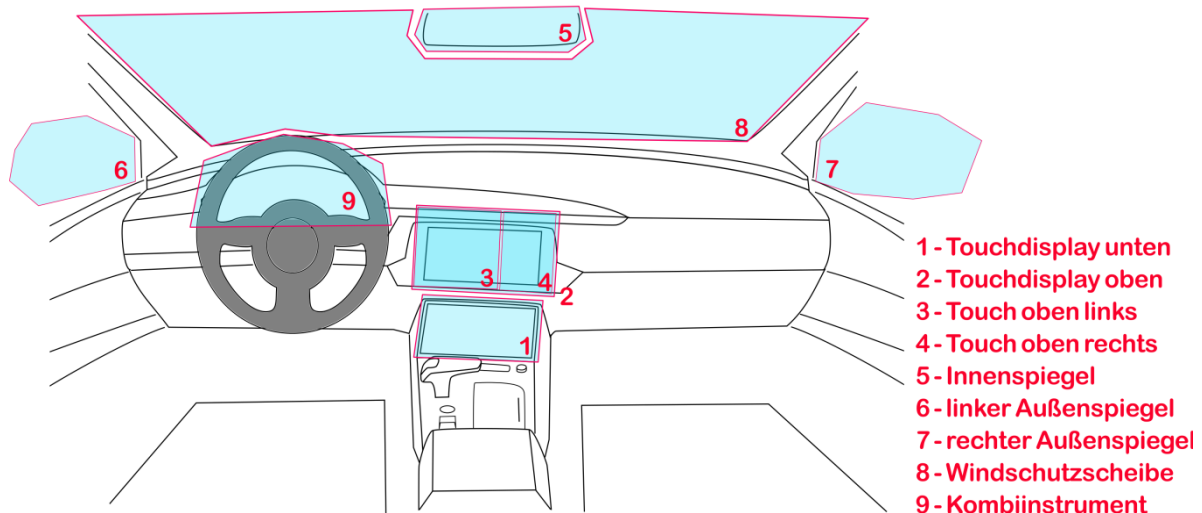


Abbildung 5-15: Lage der AOIs im Versuchsträger

Als Besonderheit wird der obere Touchscreen von drei AOIs abgedeckt: neben AOI 2, welche den kompletten Bildschirm umfasst, beschreiben die AOIs 3 und 4 die einzelnen Informationsbereiche des Konzepts Manöverplan.

Zur manöverbezogenen Analyse werden die Durchgänge der Versuchsfahrten in Abschnitte unterteilt:

- Fahrstreifenfolgefahrt (Kürzel: **FSF**): Der Zeitraum der Fahrt mit aktiviertem System in Frei- oder Folgefahrt im eigenen Fahrstreifen ohne weitere Systemhinweise.
- Manöver (Kürzel: **Man**): Den Beginn einer Manöverphase kennzeichnet in der Ausprägung Manöverplan entweder der systeminitiierte Vorschlag (Meldung (M)) oder der Manöverauftrag durch den Fahrer (Trigger (T)), je nachdem was zuerst eintritt. In der Manöverautomation ist das Startkriterium die Ankündigung des anstehenden Manövers (Meldung (M)). Den Abschluss der Manöverphase markiert der nächste Übergang in die Freifahrt, sobald nach einem zwischenzeitlichen Aufenthalt im mittleren Fahrstreifen der Ausgangsfahrstreifen wieder erreicht ist. Der Zeitraum umfasst also den gesamten Ablauf des Ausscherens zum Überholen inklusive des Wechsels zurück in den Ausgangsfahrstreifen.
- Fahrstreifenwechsel links (Kürzel: **FSW_L**): Der Start des Einzelmanövers Fahrstreifenwechsel links ist analog dem der Manöverphase definiert. Den Abschluss bildet der Übergang in die Freifahrt im neuen Fahrstreifen. Im Falle eines durch den Fahrer initiierten Überholmanövers, für das diese Information in den Daten nicht vorliegt (dauerhafte Statusrückmeldung: „Überholmanöver wird durchgeführt“), wird ab dem Start der Durchführung des ersten Manövers eine Zeitdauer von 216 Frames, also ca. 8,6 s angenommen, welche sich aus dem Mittelwert aller einzelnen Wechselmanöver nach links errechnet. (MW=215.64 Frames, SD=12.09 Frames, Samplerate der Aufzeichnung: 25 Frames pro Sekunde)

Abbildung 5-16 veranschaulicht diese Unterteilung am Beispiel der Daten des zweiten Wechsels von Versuchsperson 19 in der Bedingung MP_Freizeit, in der eine Empfehlungsmeldung (M) vor dem Manövertrigger durch den Fahrer (T) erfolgt.

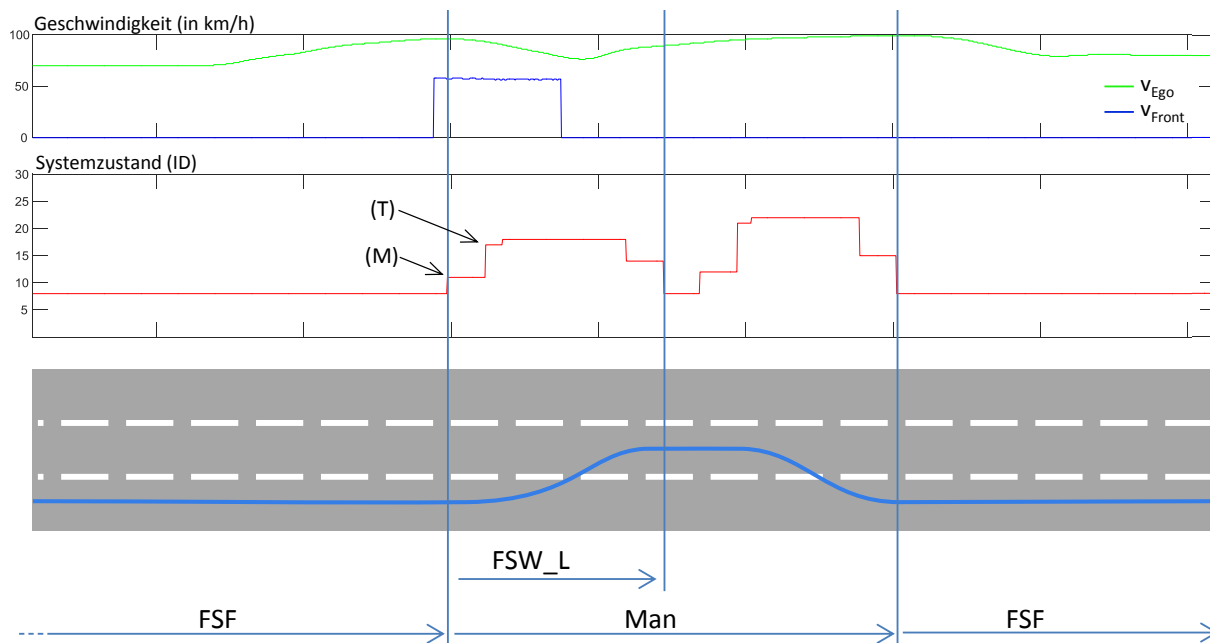


Abbildung 5-16: Kriterien zur Unterteilung der Versuchsfahrten

Der obere Abschnitt zeigt die aktuelle Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs in grün, die des erkannten Vorderfahrzeugs in blau. Der rote Plot zeigt die Abfolge der angezeigten Zustände auf dem Display (Zuordnung zu den Systemzuständen siehe Tabelle A–38 in Anhang A.4.4.4). Der untere Abschnitt zeigt beispielhaft eine Trajektorie des Fahrzeugs auf der Straße. An Hand dieser Unterteilung können sowohl das Blickverhalten in den einzelnen Phasen, als auch Unterschiede zwischen den Fahrabschnitten analysiert werden.

In die Auswertung fließen alle gültigen Manöver ein, bei deren Aktivierung keine Fehlbetätigung vorlag sowie alle zwischen den Manövern liegenden Fahrstreifenfolgefahrtabschnitte. Abschnitte, die Start oder Ende der Versuchsfahrt beinhalten, werden ausgeschlossen, da im Nachgang der Systemaktivierung oder vor der Deaktivierung ebenfalls Abweichungen im Blickverhalten zu erwarten sind. Somit ergeben sich – sofern nicht anders verzeichnet – die in Tabelle 5-2 aufgeführten Stichprobenumfänge.

Tabelle 5-2: Aufstellung gültiger Manöver für die Auswertung

Bedingung	Manöver gesamt	Manöver gültig (N)
MP_Arbeit_Man	105	79
MP_Arbeit_FSF	70	66
MP_Freizeit_Man	105	68
MP_Freizeit_FSF	70	64
MA_Arbeit_Man	102	97
MA_Arbeit_FSF	68	63
MA_Freizeit_Man	102	97
MA_Freizeit_FSF	68	63

5.6.2.1 Blickverteilungen und Blickdauern

Die erste Betrachtung gilt der Blickdauer und deren Verteilung auf die einzelnen AOIs, in den Abschnitten „Man“ und „FSF“. Da die betrachteten Abschnitte in ihrer zeitlichen Länge variieren, wird die Summe der Dauer aller Blicke („total glance time“, siehe ISO ISO/FDIS 15007-1, S. 12) anteilig an der Länge des jeweils betrachteten Abschnittes ausgewertet. Abbildung 5-17 zeigt für die AOIs mit hohem Blickanteil Boxplots der anteiligen Blickzuwendungsdauern für alle vier Kombinationen aus Interaktionskonzept und fahrfremder Tätigkeit, jeweils für die Manöverabschnitte (dunklere Färbung) und die Abschnitte, in denen das Fahrzeug dem Fahrstreifen folgt (hellere Färbung). Die Darstellung für die AOIs der Spiegel, die bis auf Ausreißer durchgängig verschwindend geringe anteilige Blickzuwendungsdauern aufweisen, ist in Abbildung A-8 im Anhang zu finden. Die Werte finden sich in tabellierter Form im Anhang A.4.4.4 in Tabelle A-39 und Tabelle A-40.

Zur Analyse der Blickdauern auf die fahrfremden Tätigkeiten und die Systeminformation muss die sich zwischen den Konzepten unterscheidende Verortung der Inhalte berücksichtigt werden. Daher ist für das Konzept Manöverplan zusätzlich zur Auswertung der AOI2 (Touchscreen Oben) eine Auswertung des unterteilten Screeninhalts mittels der Unterscheidung in die Seiten links und rechts (AOI3 und 4) aufgeführt. Diese werden zu diesem Zweck unabhängig von der AOI2 registriert; ein Blick auf die fahrfremde Tätigkeit würde also sowohl als Blick in AOI2 als auch als Blick in AOI3 gewertet.

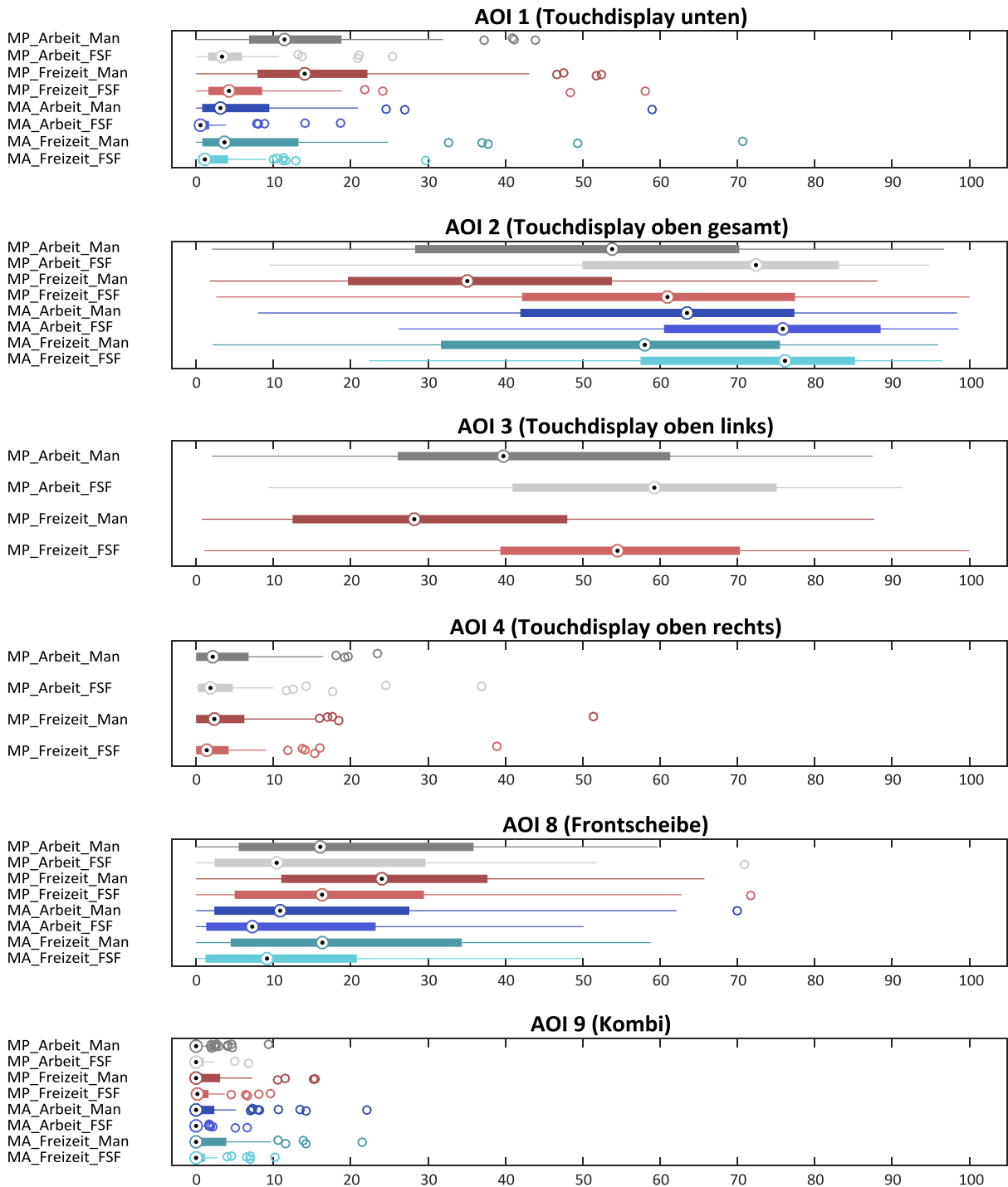


Abbildung 5-17: AOIs mit hohem Blickdaueranteil: Anteilige Blickzuwendungsdauern in Prozent

In der Betrachtung der Graphen für die Darstellungsorte der FFT und die Frontscheibe zeigen sich sehr breite Verteilungen, die auf eine große Streuung der Blickzuwendungsanteile hinweisen.

Die als Punkt (⊙) dargestellten mittleren Werte (Mediane) deuten darauf hin, dass in beiden Konzepten die Betrachtung der fahrfremden Tätigkeit mit über 70% (MA) bzw. an die 60% (MP) während des Fahrstreifenfolgens den größten Anteil hat. In

der Manöverphase nimmt diese, unabhängig von der Bedingungskombination, deutlich ab (mehr als 20%), während die Blicke durch die Frontscheibe zunehmen. Im System Manöverplan lässt sich zusätzlich während der Manöver noch eine vermehrte Betrachtung der Manöverschnittstelle auf dem unteren Display ausmachen. Weiterhin lässt sich ablesen, dass der zeitliche Anteil, der für die Betrachtung der fahrfremden Tätigkeit aufgewendet wird, in der Manöverautomation insgesamt höher ist. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Spannweite der Werte sehr groß ist und von fast ausschließlicher Beschäftigung mit der FFT bis zu wenigen Prozent reicht, wie aus den Maximal- und Minimalwerten in Tabelle A–39 hervorgeht.

Aus den Plots wird ebenfalls deutlich, dass der Blick auf die Frontscheibe beim Konzept Manöverplan jeweils schon während der Fahrstreifenfolgephase so einen hohen Anteil einnimmt, wie im Konzept Manöverautomation in der jeweiligen Bedingung erst während des Manövers.

Hinsichtlich des Systeminformationsbereichs bleibt im Manöverplan der Blickanteil auf AOI4 im unteren einstelligen Bereich und ändert sich zwischen FSF und Man nicht, wohingegen in der Manöverautomation die anteilige Blickzuwendung auf die Systeminformation (in AOI 1) ebenfalls gering ist, sich jedoch während der Manöverphase etwas erhöht.

Die oben gelisteten Blickzuwendungen sind klar dominant. Die Informationen im Kombiinstrument werden in keiner Konstellation zu keinem Zeitpunkt nennenswert häufiger betrachtet.

Für die Betrachtung der Spiegel (siehe Anhang A.4.4.4) lässt sich ebenfalls feststellen, dass diese sehr wenig, in vielen Fällen gar nicht betrachtet werden.

Zur weiteren Analyse der Blickzuwendung wird die Dauer der einzelnen Blicke („glance duration“) ausgewertet. Diese ermittelt sich gemäß oben angeführter Definition für jede Blickzuwendung aus der Differenz der Zeitstempel des ersten und des letzten, innerhalb der AOI registrierten Datenpunkts. Abbildung 5-18 stellt die Aufenthaltsdauer in Sekunden in den jeweiligen AOIs für die einzelnen Bedingungskombination gegenüber, aufgeteilt nach den Abschnitten Man und FSF.

Die Anzahl der den Verteilungen zu Grunde liegenden Blickzuwendungen (N) variiert stark und ist zusammen mit den wichtigsten Kenngrößen der Verteilungen im Anhang A.4.4.4 in Tabelle A–41 und Tabelle A–42 zu finden. Eine Darstellung der AOIs mit geringerem Blickdaueranteil zeigt Abbildung A–9.

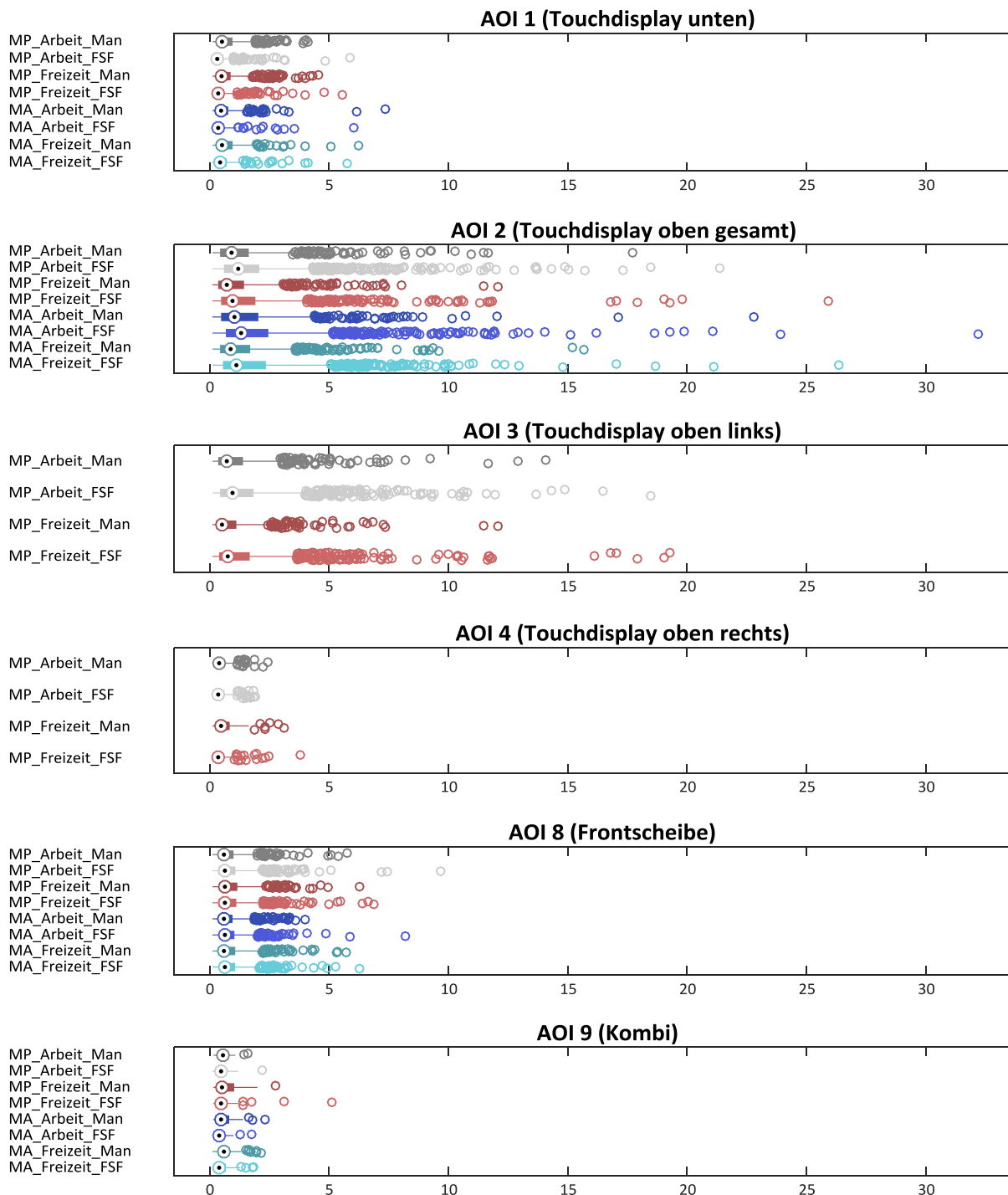


Abbildung 5-18: AOIs mit hohem Blickdaueranteil: Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden

An den Boxplots in Abbildung 5-18 zeigt sich ein sehr heterogenes Bild bezogen auf die Verteilung der einzelnen Blickzuwendungszeiten. Der geringe Interquartilsabstand, repräsentiert über die kurzen „Boxen“, innerhalb deren Grenzen die mittleren 50% der Datenpunkte liegen, deutet darauf hin, dass in allen AOIs eine sehr hohe Anzahl an kurzen Blickzuwendungen (meist unter einer Sekunde) vorliegen. Gleichwohl lässt sich auch feststellen, dass es viele Datenpunkte gibt, die außerhalb der

„Whisker“ liegen, welche gemäß der zu Grunde gelegten Definition nur die 1,5-fache Länge des Interquartilsabstands haben. Diese Datenpunkte in diesem Zusammenhang als „Ausreißer“ zu bezeichnen, wäre auf Grund der Menge sicher nicht gerechtfertigt und kann auf die Besonderheit der vorliegenden Verteilung zurückgeführt werden.

Bezüglich der Blickzuwendung auf die fahrfremde Tätigkeit zeigt sich ein Unterschied zwischen den Interaktionskonzepten: In der Manöverautomation können sehr viele der Blickzuwendungen mit bis zu 10 Sekunden Einzeldauer und im Extremfall bis über 25 Sekunden registriert werden. Das Konzept des Manöverplans weist diese Häufung nur bis in den Bereich von ungefähr 7 Sekunden auf, das Maximum überschreitet die 20 Sekunden nicht. Auch die Art der Tätigkeit weist diesbezüglich einen Unterschied auf: In der Arbeitsbedingung können jeweils mehr längere Blicke festgestellt werden. Ein weiterer Unterschied zeigt sich zwischen den Fahrtabschnitten: während der Manöverphase nehmen die Zuwendungsdauern zur FFT im Vergleich zur Fahrstreifenfolgefahrt ab.

Die Analyse der Systeminformations-Bereiche ergibt, dass die Zeitspannen, die deren Betrachtung gewidmet werden, durchgehend sehr gering sind. Es lassen sich Zeiten der Mediane unter 1 Sekunde ablesen, in der Manöverautomation sind einige Blicke bis zu 4 Sekunden und wenige Datenpunkte über 5 Sekunden zu finden. Im Manöverplan enden selbst die längeren Blicke schon bei gut drei Sekunden.

Die Manöverschnittstelle (unteres Display im Manöverplan) zeigt ebenfalls sehr geringe Zeiten ununterbrochener Blickzuwendung, der Median liegt unter einer Sekunde, die längeren Blicke verteilen sich bis maximal 5 Sekunden.

Bezüglich der Zuwendung zur Umgebung über die Betrachtung der Frontscheiben-AOI lässt sich feststellen, dass diese zwischen den Bedingungen sehr ähnlich ist. Der Median liegt durchgängig bei ungefähr 1 Sekunde, die meisten längeren Blicke im Großteil unter 4 Sekunden, das Maximum geht über 10 Sekunden nicht hinaus.

Eng mit den beiden vorgenannten Kriterien verknüpft ist die Anzahl der Blickzuwendungen auf die AOIs. Basierend auf den gleichen Ausschluss- und Unterteilungskriterien, wird daher im nächsten Schritt die Häufigkeit der Blickzuwendungen ausgewertet. Diese kennzeichnen sich in den Daten durch den Wechsel in die AOI aus einer anderen AOI oder einem nicht zugeordneten Bereich kommend. Da auch hier, auf Grund der unterschiedlichen Dauer der Abschnitte, die reine Anzahl wenig aussagekräftig ist, wird diese, gemäß der Definition der „glance rate“ in ISO ISO/FDIS

15007-1, S. 12, durch die Dauer des jeweiligen Abschnitts geteilt. Das Diagramm in Abbildung 5-19 zeigt den Mittelwert der Anzahl der Blickzuwendungen pro Sekunde.

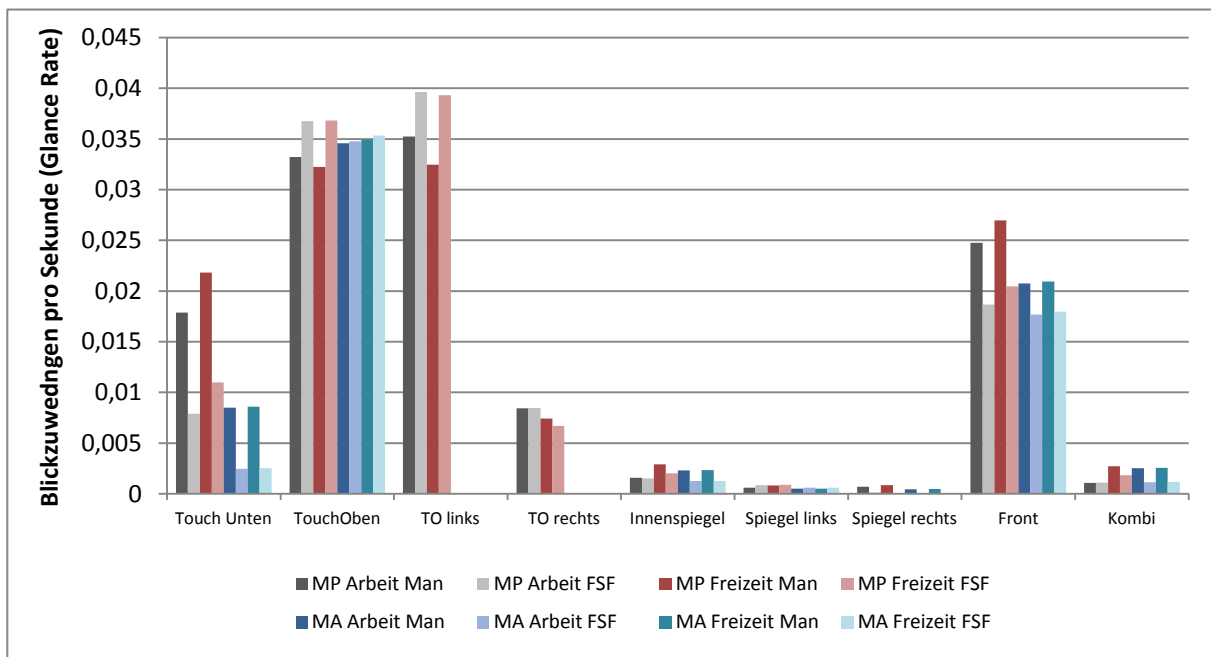


Abbildung 5-19: Blickzuwendungen in die AOIs (Besuche) pro 10 Sekunden

In Abbildung 5-19 zeigen die stark unterschiedlichen Höhen der Balken, dass die Frequentierung der AOIs sehr unterschiedlich ausfällt. In die AOIs der Spiegel und des Kombiinstruments finden wesentlich seltener Blickwechsel statt als in die AOIs auf den Displays oder die Frontscheibe. Auch scheint im Konzept MP (graue und rötliche Balken) generell eine höhere Blickwechselaktivität vorzuliegen.

Zudem lässt sich in das in den prozentualen Blickzuwendungen diskutierte Blickverhalten im Manöverfall ebenfalls finden: während der Manöverphasen (dunkle Balken) nimmt die Anzahl der Blicke pro Zeit auf die Frontscheibe zu. Gleiches gilt für die Manöverschnittstelle im MP und die Systeminformation in der MA, beides auf dem unteren Display. Zugleich lässt sich beobachten, dass die Blickzuwendungsrate auf die fahrfremden Tätigkeiten im MP (auf dem oberen Touchscreen links) während des Manövers abnimmt. Ein Umstand, den man auf Grund der anteiligen Blickzuwendung auch für die MA erwarten könnte, der sich jedoch in den Werte für AOI 2 (gesamter oberer Screen) nicht zeigt: die hellen und dunklen Varianten der blauen und türkisen Balken sind annähernd gleich hoch. In Verbindung mit der Betrachtung der Einzelblickdauern wird damit deutlich, dass in der MA bei gleicher Häufigkeit der FFT-Betrachtung die Verweildauer in der AOI abnimmt und dafür Systeminformation und Frontscheibe betrachtet werden.

5.6.2.2 Übergangswahrscheinlichkeiten

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse der Blickwechsel ergibt sich in den Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den AOIs, die einen Hinweis auf Blickstrategien geben können. Diese werden speziell für die Durchführung der Manöver betrachtet, weshalb eine Eingrenzung auf die Abschnitte, die nur den Wechsel nach links beinhalten („FSW_L“), vorgenommen wird. Zur Abbildung der Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen AOI-Paaren werden sogenannte Übergangsmatrizen („transition matrices“, Holmqvist et al. (2011, S. 193-196)) erstellt, wie sie auch in der Beschreibung von Markov-Ketten erster Ordnung gebräuchlich sind (siehe z.B. Waldmann und Stocker (2013)).

Dazu werden die Blickwechsel zwischen AOI-Paaren gezählt und aufsummiert. Die Zählung berücksichtigt nur Wechsel zwischen AOIs. Übergänge einer AOI auf sich selbst, wie sie beispielsweise bei dem Verlust der Pupillenerkennung, beim Blinzeln oder der Rückkehr in die AOI nach Betrachtung eines nicht als AOI definierten Bereichs auftreten können, werden nicht gezählt. Zudem werden bei den – durch die sich überlagernden AOIs 2 und 3/4 – auftretenden Doppelerkennungen die jeweils für das Interaktionskonzept relevanten AOIs priorisiert.

Die Zählungen aus allen als gültig angenommenen Manövern werden für jede Bedingungskombination aus Konzept und fahrfremder Tätigkeit aufsummiert und daraus jeweils eine Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten gebildet. Diese beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit aus der Zeilen- in die Spalten-AOI gewechselt wird. Die vier Matrizen sind in Anhang A.4.4.4 Tabelle A–43 bis Tabelle A–46 aufgeführt.

Zur Veranschaulichung und Diskussion sind in Abbildung 5-20 daraus für die vier Bedingungskombinationen abgeleitete, so genannte Übergangsgraphen dargestellt. Zur besseren Lesbarkeit sind diese auf die am häufigsten betrachteten AOIs und die wichtigsten Übergänge reduziert. Die Summe der je AOI dargestellten, ausgehenden Wahrscheinlichkeitspfeile ist daher geringer als 100%; für die nicht dargestellten Werte sei auf die Matrizen in Anhang A.4.4.4 verwiesen.

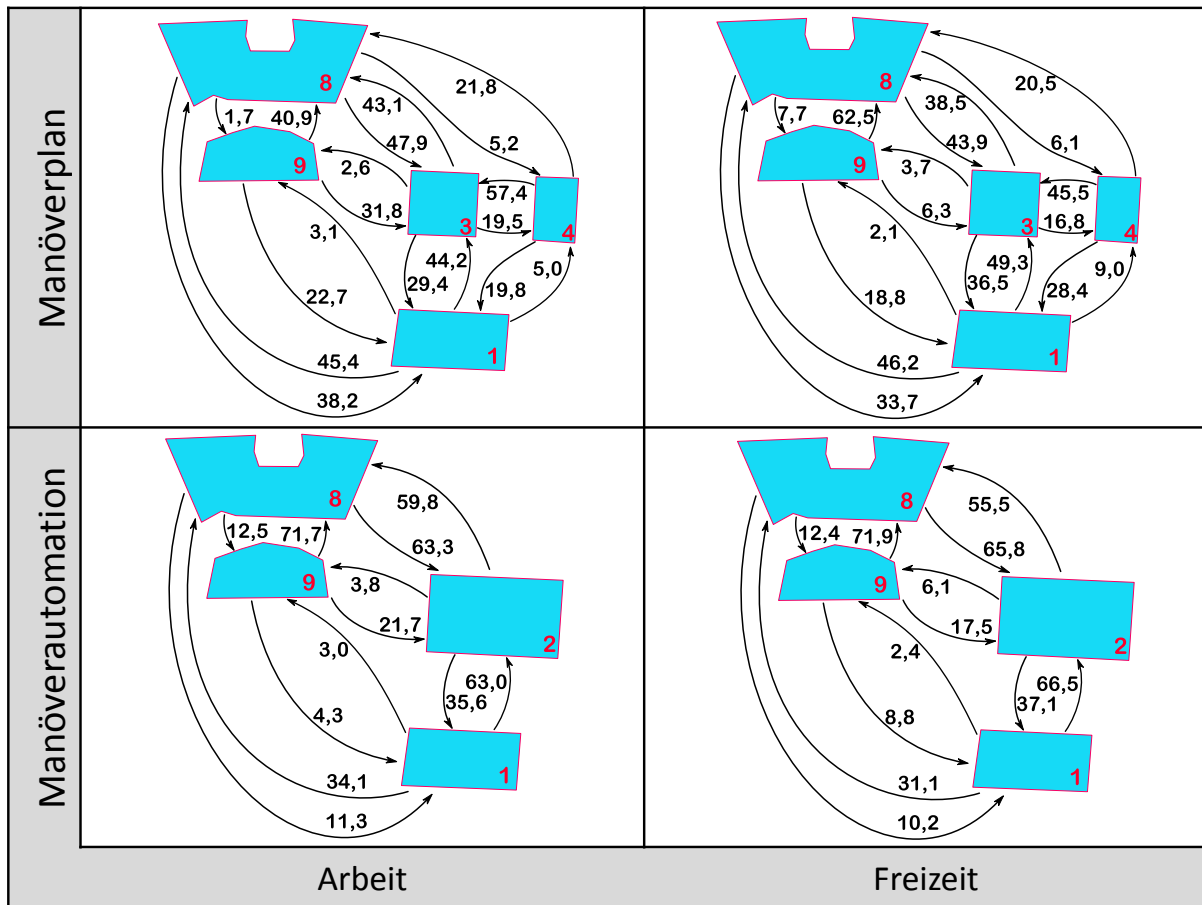


Abbildung 5-20: Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den ausgewählten AOIs im Zeitraum „FSW_L“

In der Betrachtung der Übergangsgraphen lässt sich über alle Bedingungen hinweg feststellen, dass der häufigste Pfad ausgehend von der FFT (AOI2 bzw. 3) der Übergang auf die Frontscheibe ist. Der Anteil der Blicke, die von der FFT auf das Kombi führen sind bedingungsübergreifend auffallend gering. Zudem lässt sich beobachten, dass der Blickwechsel von der FFT auf die Systeminformation (AOI 1 bzw. AOI4) in der Manöverautomation wesentlich wahrscheinlicher ist als im Manöverplan: In der MA werden Werte von 35,6% bzw. 37,1% erreicht, wohingegen dies im MP nur in weniger als 20% der Fälle geschieht. Im MP folgt dem Blick auf die FFT hingegen mit ungefähr 30-prozentiger Wahrscheinlichkeit ein Blick auf die Manöverschnittstelle auf dem unteren Display.

Die Übergänge ausgehend von der Frontscheibe zeigen, dass wiederum bedingungsübergreifend der häufigste Übergang auf die FFT stattfindet, im Manöverplan allerdings dicht gefolgt von dem Übergang auf die Manöverschnittstelle (AOI 1), was ungefähr ein Drittel der von der Frontscheibe abgehenden Übergänge ausmacht. Außerdem lässt sich ablesen, dass der Übergang von der Frontscheibe auf das Kombiinstrument im Konzept Manöverautomation mit größerer Wahrscheinlichkeit

geschieht als im Manöverplan. Von dort erfolgt in der MA auch in gut 70% der Fälle wieder der Übergang zurück auf die Frontscheibe. Im MP liegt dieser Wert niedriger und unterscheidet sich zwischen den angebotenen Tätigkeiten: In der Arbeitsbedingung erfolgen über 62% der nächsten Blicke wieder auf die Frontscheibe, in der Freizeitbedingung nur gut 40%. Dort liegt stattdessen eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen Übergang auf die AOI der FFT vor (31,8%).

Ein weiterer auffälliger Wert findet sich in den Diagrammen der Manöverautomation: Ausgehend von der Systeminformation im unteren Display werden fast zwei Drittel der nächsten Blicke auf der FFT im oberen Display registriert.

Die in Abbildung 5-20 nicht dargestellten Spiegel werden – wie bereits aus den in Kapitel 5.6.2.1 angeführten Auswertungen deutlich wird – sehr selten betrachtet. Die Übergangswahrscheinlichkeiten weisen dementsprechend sehr geringe Werte auf, wie in den Matrizen in Anhang A.4.4.4 zu sehen ist.

5.6.2.3 Blickzuwendungen zu Manöverbeginn

Als letzter Schwerpunkt werden die Blickzuwendungen und deren Verlauf zu Beginn der Manöver analysiert. Diese lassen sich bezogen auf den als Start des Abschnitts definierten Zeitpunkt oder abhängig vom Zeitpunkt der Manöverbeauftragung betrachten.

In diesem Zuge interessante Blickzuwendungen können an Hand der in Abbildung 5-21 dargestellten Ablaufskizzen der Fahrstreifenwechselmanöver eingeordnet werden. Diese zeigen beispielhaft die möglichen zeitlichen Verläufe. Die blauen Pfeile repräsentieren dabei jeweils den Systemstatus, der auch via Textmeldung an den Fahrer kommuniziert wird, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben. In der Manöverautomation ist der Beginn des Manöverabschnitts immer durch die Systemmeldung (M) definiert. Im Manöverplan kann es abhängig von dem Zeitpunkt, an dem der Fahrer das Manöver beim Fahrzeug beauftragt, zu zwei verschiedenen Abläufen kommen. In einem Fall reagiert der Fahrer auf die Meldung, die ihm den Wechsel empfiehlt, im anderen erkennt er die Notwendigkeit vorher selbst und beauftragt das Manöver direkt ohne vorhergehende Meldung. Somit ist der Zeitpunkt, der als Start des Abschnitts bezeichnet wird, gemäß der eingangs getroffenen Definition entweder durch die Meldung (M) oder den Trigger (T) festgelegt. Die rein auf den Triggerzeitpunkt bezogenen Auswertungen bleiben davon unberührt.

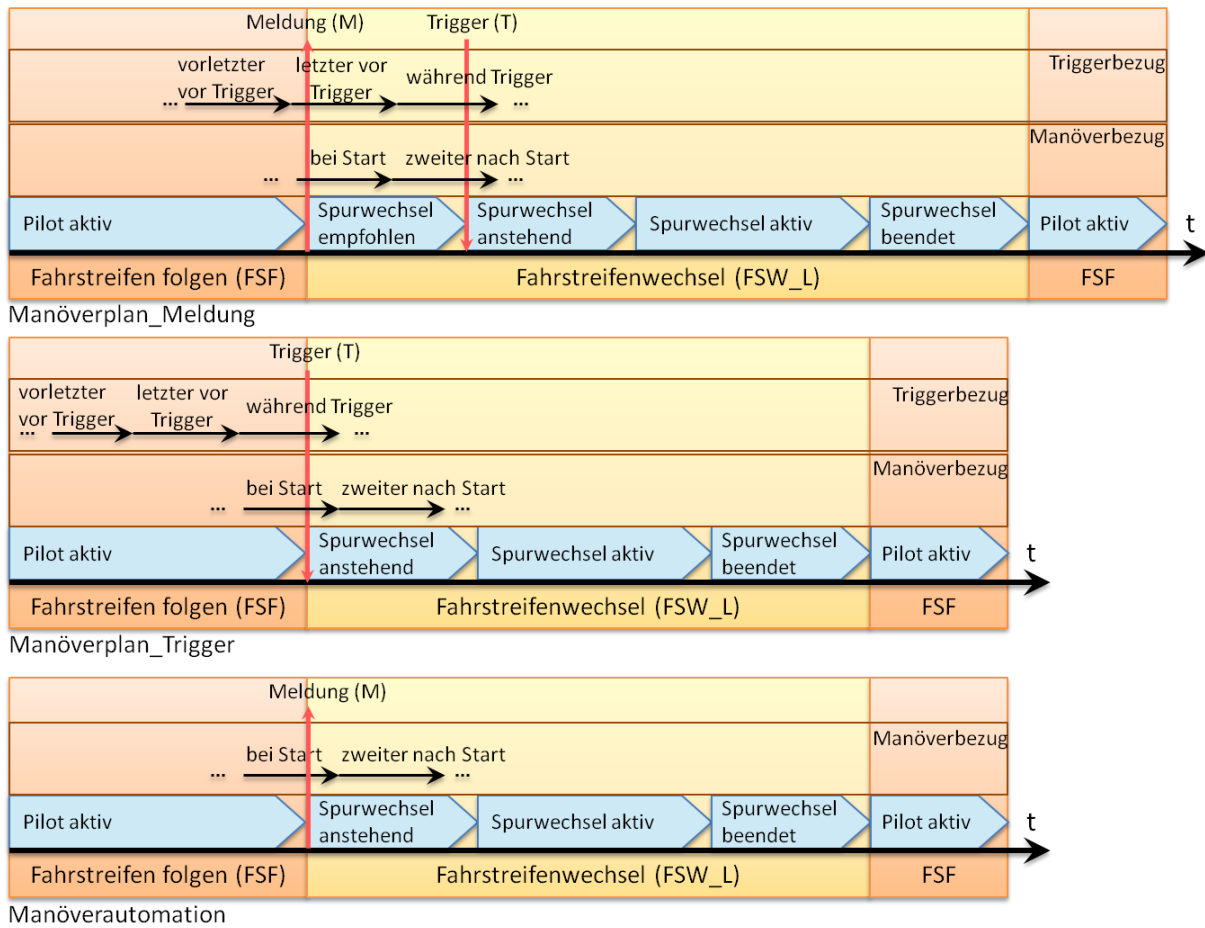


Abbildung 5-21: Einordnung der zur Untersuchung der Blickzuwendung herangezogenen Bezeichnungen

Die erste Fragestellung beschäftigt sich mit den Blickzuwendungen zum Start des betrachteten Abschnitts. Es werden die zum Startzeitpunkt betrachtete AOI (Abbildung 5-22 obere Reihe) und die als zweites betrachtete AOI (Abbildung 5-22 untere Reihe) ausgewertet.

Aus Abbildung 5-22 lässt sich ablesen, dass im Manöverplan diejenigen, die direkt den Manöverauftrag starten zum überwiegenden Teil (mehr als 95 %) währenddessen auch ihren Blick auf die Manöverschnittstelle richten. In den anderen Fällen, in denen die Empfehlungsmeldung den Beginn des Abschnitts markiert, schauen zum Zeitpunkt der Meldung bei der FFT aus dem Arbeitskontext ca. 35 %, bei der aus dem Freizeitkontext nur 21 % auf die fahrfremde Tätigkeit. Dieser Unterschied zwischen den Tätigkeiten lässt sich ebenfalls im Konzept Manöverautomation beobachten, wo die Werte für die Blickzuwendung auf die FFT generell sehr hoch sind und ca. 64 % im Arbeitskontext genau 50 % im Freizeitkontext gegenüberstehen.

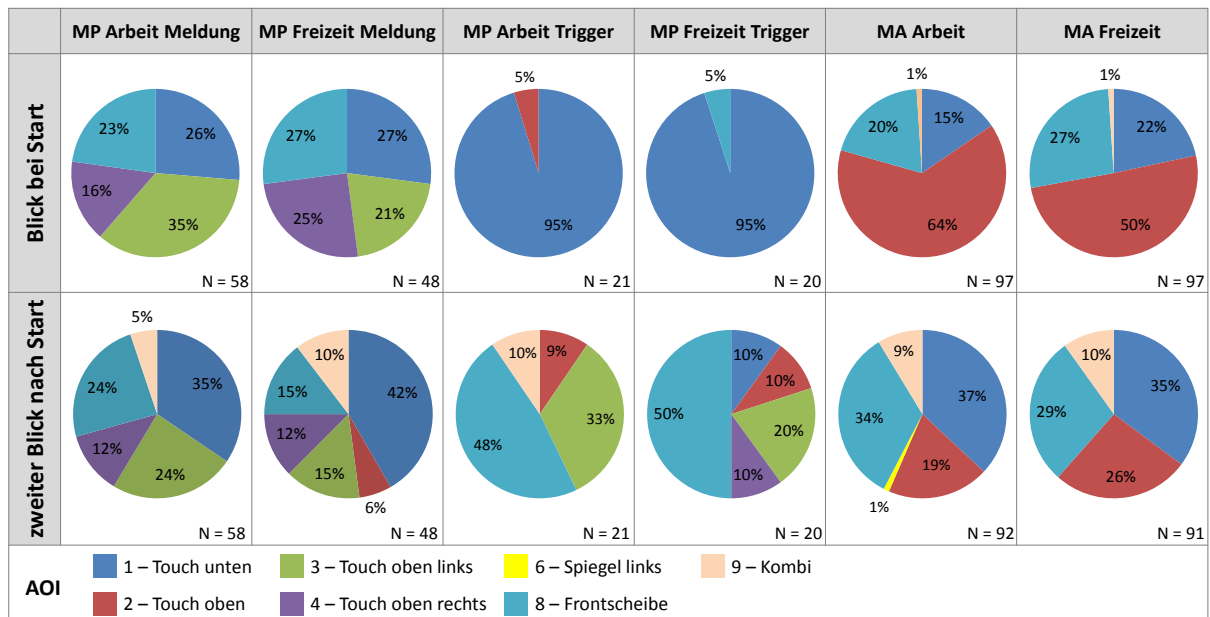


Abbildung 5-22: Verteilung der Blickzuwendung bei Start des Abschnitts (obere Reihe) und der zweiten Blickzuwendung nach Start des Abschnitts (untere Reihe)

Hinsichtlich der zweiten Blickzuwendung in der unteren Zeile in Abbildung 5-22 lässt sich hervorheben, dass fast die Hälfte der Triggerstarter – die zuvor zum überwiegenden Teil auf die Manöverschnittstelle geschaut haben – im zweiten Schritt auf die Frontscheibe blicken. Auf die FFT entfallen in dieser Gruppe zudem 33% in der Bedingung Arbeit, und 20% in der Bedingung Freizeit. In der Gruppe, in der im MP der Start durch die Empfehlungsmeldung markiert wird, wenden ein gutes Drittel ihren zweiten Blick nach Abschnittsstart der Manöverschnittstelle auf dem unteren Touchscreen zu.

Die Analyse der zweiten Blickzuwendungen für das Konzept Manöverautomation zeigt, dass es unter beiden FFT-Bedingungen jeweils Manöver gibt, in denen kein Blickwechsel während des betrachteten Abschnitts mehr registriert wird. Die dargestellte Verteilung bezieht sich also nur auf die 92 bzw. 91 Datensätze, in denen es eine zweite Blickzuwendung gibt. Vor diesem Hintergrund zeigen die Verteilungen, dass über ein Drittel der Blickzuwendungen in diesem Schritt auf die Systeminformation in AOI1 gerichtet sind, knapp ein Drittel auf die Frontscheibe und ca. 19% im Arbeits- bzw. 26% im Freizeitkontext auf die Tätigkeit. Ebenfalls bemerkenswert sind die bedingungsübergreifend vorliegende Blickzuwendung von ungefähr 10% auf das Kombiinstrument (AOI9) in diesem Schritt, von der nur die Bedingungskombination Manöverplan mit Freizeittätigkeit und Triggerstart eine Ausnahme macht.

Ausgehend von dieser Betrachtung des Blickverhaltens bei Manöverstart ergibt sich die Frage nach der Zeit, die vergeht, bis der Blick wichtigen AOIs für die Aufnahme von Umgebungs- oder Systeminformationen zugewendet wird. Um dies zu visualisieren, wird jeder ausgewertete Datensatz nach dem Zeitpunkt des ersten Blickes in die zu analysierende AOI durchsucht und diese ersten Blickzuwendungen über der Zeit kumuliert aufgetragen. Abbildung 5-23 zeigt Diagramme für die ersten Blickzuwendungen auf die Außenwelt durch die Frontscheibe (AOI 8), ins Kombiinstrument (AOI 9) und auf die Systeminformation (Manöverplan: AOI 4, Manöverautomation: AOI 1). Da durch die Ausschlusskriterien unterschiedliche Anzahlen gültiger Manöver je Bedingungskombination vorliegen, werden die kumulierten Blickzuwendungen für die vergleichende grafische Darstellung normiert und anteilig an den gültigen Manövern (N) aufgetragen.

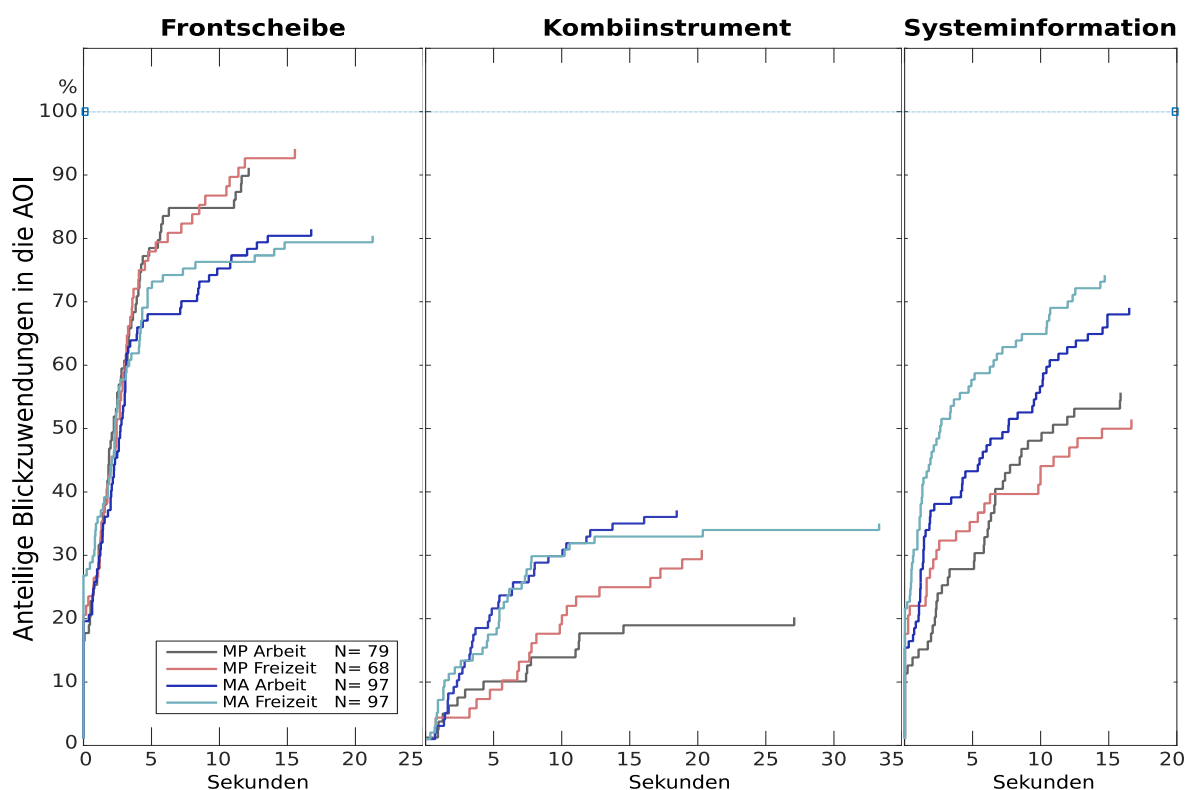


Abbildung 5-23: kumulierte Anzahl der Blickzuwendungen auf die AOIs von Frontscheibe, Kombi und Systeminformation, anteilig an der Anzahl der Manöver

Abbildung 5-23 links zeigt, dass die die Frontscheibe in allen Bedingungskombinationen sehr schnell nach Manöverbeginn betrachtet wird, obwohl keine direkte Aufforderung dazu geschieht. Bereits nach drei Sekunden wurde in ca. 60% der Manöver ein Blick auf die Frontscheibe verzeichnet. Danach entwickeln sich die Zuwachsraten der Blickzuwendungen in der MA langsamer, sodass bei der Fünfsekundenmarke bereits 5-10% Unterschied zwischen den Konzepten liegen. Ab diesem Zeitpunkt sind die Zuwächse in beiden Konzepten wesentlich geringer, bis bei der Marke von

ca. 21 s der letzte, noch gezählte, Blickwechsel auf die AOI Frontscheibe erfolgt. In Summe wird bis zu diesem Zeitpunkt im MP in ca. 92% und in der MA in ca. 81% der analysierten Manöver auf die Frontscheibe geblickt. Unterschiede zwischen den FFT lassen sich nicht ausmachen.

In Abbildung 5-23 Mitte ist zu erkennen, dass die Blickzuwendungen auf das Kombiinstrument sehr viel langsamer erfolgen und – bis auf zwei sehr späte Betrachtungen nach über 25 s – nach ungefähr 20 s ihren Maximalwert erreichen. In der MA wird demnach nur in ca. 36% der Manöver das Kombi im Laufe des Fahrstreifenwechsels betrachtet, im Konzept MP verlaufen die Kurven flacher und die Maximalwerte liegen niedriger. Mit der FFT aus dem Freizeitkontext wird in ca. 31%, mit der aus dem Arbeitskontext in ca. 20% der Fälle das Kombiinstrument während der Manöverdurchführung betrachtet.

Für die Blickzuwendung auf die Systeminformation zeigen die Graphen in Abbildung 5-23 rechts, dass diese zwischen den Bedingungen sehr unterschiedlich ausfällt. In der Freizeitbedingung der MA wurde nach fünf Sekunden in ca. 58% der Fälle auf die AOI der Systeminformation geblickt, in der Arbeitsbedingung nur in ca. 43%. Im Konzept MP ist der Anstieg wesentlich flacher, bei der Fünfsekundenmarke wurden erst in ungefähr 30% der Manöver Blicke auf die Systeminformation gerichtet. In allen Ausprägungen ist mit kleinen Ausnahmen nach gut 15 Sekunden das Maximum erreicht. Dieses liegt für die beiden Ausprägungen der MA um 70% und für die Ausprägungen des MP knapp über 50%.

Die letzten Fragestellungen befassen sich mit dem Blickverhalten zum Zeitpunkt der Beauftragung des Manövers (Triggerzeitpunkt T) im Konzept Manöverplan, wofür wiederum ausschließlich die gültigen Manöver (Anzahl je Bedingung siehe Tabelle 5-3) ausgewertet werden:

1. Wird während des Manöverauftrags auf den unteren Touchscreen (AOI 1) geschaut?
2. Wird vor der Beauftragung des Manövers nach draußen auf die Szenerie (AOI 8) geschaut?
3. Wird das Manöver vor dem Manöverauftrag durch einen Blick in den linken Außenspiegel (AOI 6) abgesichert?

Zur Beantwortung dieser Fragen sind in Tabelle 5-3 die registrierten Blickzuwendungen vor und zum Zeitpunkt des Manöverauftrages aufgeführt. Für die Zuordnung zum Ablauf der Fahrstreifenwechsel sei auf Abbildung 5-21 verwiesen. In den aufge-

fürten Werten sind alle 147 gültigen Manöver im Konzept Manöverplan enthalten. Eine detaillierte Aufschlüsselung nach fahrfremder Tätigkeit und danach, ob der Manöverauftrag mit oder ohne vorhergehende Empfehlungsmeldung des Systems erteilt wurde, findet sich in Tabelle A–47 in Anhang A.4.4.4.

Tabelle 5-3: Blickzuwendung bezogen auf den Zeitpunkt des Manöverauftrags

AOI	vorletzte Blickzuwendung davor	letzte Blickzuwendung davor	Blickzuwendung währenddessen
1 Touch unten	53,74%	8,16%	89,80%
2 Touch oben	2,04%	2,72%	4,76%
3 Touch oben li	19,73%	23,13%	2,04%
4 Touch oben re	12,24%	9,52%	0%
5 Innenspiegel	0%	0%	0%
6 Spiegel li	0,68%	0%	0%
7 Spiegel re	0%	0%	0%
8 Frontscheibe	10,20%	51,70%	3,40%
9 Kombi	1,36%	4,76%	0%

Frage 1 lässt sich gemäß Tabelle 5-3 damit beantworten, dass zum Zeitpunkt der Manöverbeauftragung durch den Fahrer in fast 90 % der Fälle ein Blick auf den unteren Touchscreen registriert wird. Weitere Blicke können den AOIs des oberen Touchscreens sowie der Frontscheibe zugeordnet werden.

Zur Beantwortung der zweiten und dritten Frage werden die letzten und vorletzten Blickzuwendungen vor dem Blick während des Manöverauftrags betrachtet. Hinsichtlich der Informationsaufnahme aus der Umgebung vor dem Fahrzeug zeigt sich dabei, dass in diesen beiden Schritten in Summe in 61,9% der Fälle nach vorne durch die Windschutzscheibe geschaut wird. Zusätzlich erscheint es hier sinnvoll, nach der Startbedingung, also ob der Manöverauftrag mit oder ohne vorhergehende Empfehlung des Fahrzeugs erfolgt, zu unterscheiden. Dazu wird die detaillierte Aufstellung der Werte in Tabelle A–47 herangezogen. Daraus werden die Einzelwerte für die jeweilige Startbedingung (Trigger oder Meldung) entnommen, unter Berücksichtigung der gültigen Manöveranzahl der Blickzuwendungsanteil tätigkeitsübergreifend für den jeweiligen Schritt bestimmt und die Werte des letzten und vorletzten Schritts addiert. In den Fällen, in denen direkt mit dem Manöverauftrag gestartet wird, erfolgt demnach zu 73,17 % in einem der beiden Schritte vor dem Manöverauftrag ein Blick auf die Frontscheibe, in den Fällen, in denen vorher eine Empfehlungsmeldung seitens des Fahrzeugs angezeigt wird, nur in 57,55 % der Fälle.

Eine Unterscheidung nach der fahrfremden Tätigkeit ergibt mit der Summe über beide Schritte von 56,96% in der Arbeitsbedingung und 67,65% in der Freizeitbedingung einen ebenfalls erwähnenswerten Unterschied von ca. 10%.

Die Frage nach der Absicherung des Manövers über einen Blick in den linken Außenspiegel ist auf Basis der Daten in Tabelle 5-3 ebenfalls eindeutig zu beantworten. Lediglich bei einem der insgesamt 147 gültigen Fahrstreifenwechsel, die mit dem Konzept Manöverplan durchgeführt wurden, schaut ein Proband mit dem vorletzten Blick vor der Manöverbeauftragung in den linken Außenspiegel. Der rechte Außenspiegel und der Innenspiegel werden in diesem Zeitraum von keinem der Probanden beachtet.

5.7 Diskussion

Die Ergebnisse der Fragebogenauswertung (Kapitel 5.6.1) liefern die Grundlage für die Diskussion der in Kapitel 5.4 formulierten Hypothesen. Die Hypothese bezüglich des Unterschieds in der Akzeptanzbewertung (H1) wird durch die Ergebnisse bestätigt: Die Akzeptanzbewertung fällt eindeutig zu Gunsten des Systems Manöverautomation aus. Sowohl die Bewertung, wie gerne die Probanden das System in ihrem eigenen Fahrzeug haben würden, als auch die Präferenzbewertung sind für die Manöverautomation signifikant höher. Dabei ist jedoch zu beachten, dass den 24 Personen, die die Manöverautomation präferieren und in ihr einen hohen Mehrwert von im Mittel knapp 78/100 Punkten sehen, ganze 10 Personen gegenüberstehen, die dem Manöverplan den Vorzug geben und darin ebenfalls einen mittleren bis hohen Mehrwert von 59/100 Punkten sehen.

Auch die wahrgenommenen Eigenschaften, welche in den Hypothesen H2 und H3 thematisiert werden, deuten in die gleiche Richtung: Die Komfortbewertung und das Systemvertrauen zeigen signifikant bessere Werte für die Manöverautomation, ebenso der SUS-Score. Dies bedeutet, dass H2 angenommen werden kann. Die in H3 adressierten Konstrukte „wahrgenommene Kontrolle“ und „Fahrspaß“ unterscheiden sich nicht zwischen den Konzepten, wobei beide Systeme als kontrollierbar und der Fahrspaß bei beiden als teilweise bis eher vorhanden bewertet werden. Der erhobene Diskomfort zeigt sich wie erwartet im Manöverplan höher als in der Manöverautomation. In dem formulierten Umfang muss Hypothese H3 somit abgelehnt werden. In der Gesamtheit zeigen die Werte jedoch für beide Systeme mit Ausnahme des Fahrspaßes, welcher wiederum auf einem moderaten Niveau liegt, gute bis sehr gute Bewertungen, wie in Abbildung 5-11 dargestellt. Der SUS-Score liegt für beide Systeme über dem in Bangor et al. (2009) ermittelten Durchschnitt in einem sehr guten bis „exzellenten“ Bereich.

Bei keinem der betrachteten Konstrukte zeigen sich signifikante Interaktionen zwischen dem Interaktionskonzept und der fahrfremden Tätigkeit. Die Annahme in Hypothese H4, dass der Manöverplan mit der Tätigkeit aus dem Freizeitbereich und die Manöverautomation mit der Tätigkeit aus dem Arbeitsbereich besser bewertet würde, kann nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Auswertung der SEA-Skala zeigen eine höhere subjektiv erlebte Anstrengung für die fahrfremde Tätigkeit aus dem Arbeitsbereich im Vergleich zu der aus dem Freizeitbereich. Hypothese H5, die genau diesen Zusammenhang unterstellt, kann demnach angenommen werden. Zusätzlich zeigen die Daten eine signifikant höhere Anstrengung mit dem Konzept Manöverplan.

In Summe weisen die Ergebnisse damit in die gleiche Richtung wie die in Studie 1 gewonnenen Erkenntnisse. Das Konzept ohne manöverbezogene Interaktion vereint die besseren Bewertungen auf sich. Die in der Diskussion der ersten Studie geäußerten Überlegungen bezüglich der nicht wie erhofft zustande gekommenen Entlastung des Fahrers durch die situative Einbindung in die Fahraufgabe, scheinen auch hier eine mögliche Erklärung darzustellen und sich durch die erfasste subjektive Anstrengung zu bestätigen. Diese ist im Manöverplan höher, in dem Phasen weitgehenden Rückzugs aus der Fahraufgabe (während dem Fahrstreifenfolgen) von bewussten Handlungen rund um die Beauftragung von Manövern unterbrochen werden. Gleichzeitig zeigt die zusätzliche, aber kontinuierlich wirkende Belastung aus der fahrfremden Tätigkeit – trotz ihrer nachgewiesenen Unterschiede in der hervorgerufenen Anstrengung – keinen Einfluss auf die Bewertungen der Konzepte.

Die Betrachtung der – mittels des SART-Fragebogens ermittelten – Situation Awareness zeigt, dass es diesbezüglich keinen Unterschied macht, ob der Fahrer dem System Manöveraufträge gibt oder nicht. Hypothese H6, die für den Manöverplan bessere Werte erwartet, muss daher abgelehnt werden. Zusätzlich zeigt sich in der erweiterten Betrachtung ein Unterschied zwischen den Geschlechtern und zwischen den fahrfremden Tätigkeiten. Letzteres birgt zwei interessante Aspekte: Zum ersten scheint es über die Art bzw. die Gestaltung der FFT möglich zu sein, Einfluss auf das Situationsbewusstsein zu nehmen. Zum anderen kann der für den Arbeitskontext – und damit die beanspruchendere Tätigkeit – niedrigere Wert als Indiz dafür interpretiert werden, dass die Probanden der Bearbeitung der FFT Priorität gegenüber der Beschäftigung mit dem Fahrzeugumfeld und dem Fahrgeschehen einräumen. Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, da dieser Versuch für die überwiegende Mehrheit der Probanden den Erstkontakt mit einem automatisierten Fahrzeug darstellte.

Die Blickdaten öffnen eine zusätzliche Perspektive auf die durchgeführten Fahrten und liefern Erkenntnisse zum Verhalten der Probanden in der Interaktion mit den jeweiligen Systemen. Der Auswertung liegen keine vorab definierten Hypothesen zu Grunde, weshalb die folgende Diskussion basierend auf der deskriptiven Darstellung der Daten erfolgt.

Die Ergebnisse der Blickzuwendungsanalyse lassen sich am besten getrennt zwischen den Abschnitten Fahrstreifenfolgen (FSF) und Manöverdurchführung (Man) erfassen:

Hinsichtlich der Verteilung der Blickzuwendungen während der Fahrstreifenfolgefahrt gilt für beide Interaktionskonzepte, dass die AOI, in der die FFT angezeigt wird, mit Abstand am meisten betrachtet wird. Dabei finden sich im Konzept MA im Vergleich zum MP jedoch sowohl höhere Werte bezüglich der anteiligen Blickzuwendung als auch längere, durchgehende Blickzuwendungsdauern auf diese AOI. Im MP entfallen zudem in dieser Phase bereits mehr Blickanteile auf die Frontscheibe.

Während der Manöverphasen ist die anteilige Blickzuwendung auf die FFT konzeptunabhängig deutlich geringer und die zusammenhängende Blickzuwendungsdauer auf diese AOI nimmt im Vergleich zum FSF ab. Gleichzeitig wird die Frontscheibe wichtiger, es steigen sowohl der Blickanteil als auch die Anzahl der Blickzuwendungen pro Zeit. Im Konzept MP lässt sich ein ähnlicher Anstieg für die AOI feststellen, in der die Manöverbeauftragung stattfindet, die zusammenhängenden Blickzuwendungszeiten darauf bleiben jedoch kurz. Ein Anstieg der Blickzuwendung auf die Systeminformationen ist nicht auszumachen. In der MA hingegen wird zusätzlich zur Frontscheibe die AOI der Systeminformation wichtiger, wie sich in den Blickanteilen und Blickraten feststellen lässt. Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied zwischen den Konzepten ist, dass sich im MP die Informationen in unterem Display und Systeminformationsbereich redundant wiederfinden, wodurch keine zusätzliche Betrachtung des Informationsbereichs notwendig ist.

Der generell niedrigere Blickzuwendungsanteil auf die FFT im Konzept MP legt nahe, dass sich die Probanden in diesem Konzept mit dem Fahrgeschehen von Zeit zu Zeit auseinandersetzen und fahraufgabenrelevante Informationen aufnehmen und verarbeiten. Dies führt dazu, dass die Blickwechselaktivität und anteilige Blickzuwendung auf die Frontscheibe im MP bereits in der Fahrstreifenfolgefahrt so hoch sind, wie sie es bei der Manöverautomation erst während der Manöverdurchführung werden. Dies kann einerseits als Hinweis auf einen positiven Effekt der manöverbezogenen Interaktion auf die für die Schaffung von Situationsbewusstsein notwendige Informationsaufnahme aus der Umgebung gesehen werden. Andererseits führt dies jedoch zu einer erhöhten Beanspruchung des Fahrers und es verringert sich die Attraktivität des Konzepts bzw. die Nutzbarkeit der Fahrzeit für Aufgaben, die eine längere zusammenhängende Betrachtungszeit oder ungeteilte Aufmerksamkeit erfordern.

Unabhängig vom analysierten Abschnitt fällt zudem auf, dass es in der Blickzuwendung auf die AOIs große Unterschiede gibt, die sich über die herangezogenen Auswertungen konsistent zeigen. Die AOIs der Spiegel werden sehr wenig, zum Teil überhaupt nicht betrachtet. Auch das Kombiinstrument wird sehr selten und kurz be-

trachtet. Für die stark reduzierte Betrachtung der Spiegel gibt es mehrere mögliche Erklärungen. Zum einen kann dies ein Hinweis darauf sein, dass die Fahrer sich auch im Manöverplan kein komplettes Bild des Umfelds machen, sondern nur die für ihre zu treffende Manöverentscheidung relevante Informationen aufnehmen und verarbeiten, wofür die Blicke Richtung Vorderfahrzeug ausreichen. Eine zusätzliche Absicherung des Fahrstreifenwechsels durch Spiegelblicke findet so gut wie nicht statt, da darauf vertraut wird, dass dies durch das System übernommen wird. Eine weitere Möglichkeit ist jedoch, dass sich ein Artefakt des Versuchsdesigns zeigt und den Fahrern bewusst ist, dass sich keine weiteren Fahrzeuge auf der Strecke befinden. Damit ist keine Absicherung des rückwärtigen Verkehrsraums notwendig.

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ergibt sich aus den Unterschieden zwischen den fahrfremden Tätigkeiten. Im Arbeitskontext sind die Blickanteile und Blickzuwendungsdauern für die AOI der FFT gegenüber dem Freizeitkontext höher. Hier scheinen die höhere Dringlichkeit aufgrund der Instruktionen und die Notwendigkeit einer konsequenteren Betrachtung, um inhaltlich folgen zu können, eine wichtige Rolle zu spielen.

Aus den Diagrammen der Übergangswahrscheinlichkeiten lässt sich bedingungsübergreifend herauslesen, dass in der Phase des Fahrstreifenwechsels, ausgehend vom Ort der FFT, die häufigsten Blickwechsel auf die Frontscheibe stattfinden. Gleichzeitig führt der häufigste Übergang ausgehend von der Frontscheibe auf die FFT. Dies spricht dafür, dass sich die Probanden in beiden Konzepten, während sie der FFT folgen wiederholt durch Blicke auf die Straße Informationen über die aktuelle Fahrsituation oder den Fortschritt des Fahrstreifenwechsels holen.

Eine ähnliche Paarung ergibt sich im Konzept MP für die Blickwechsel zwischen Frontscheibe und Manöverschnittstelle, die ebenfalls hohe Übergangswahrscheinlichkeiten in beide Richtungen aufweisen. Diese können einerseits aus Blicken herühren, die der Aufnahme von Umgebungsinformationen aus dem Bereich der Frontscheibe vor der Beauftragung des Manövers zum Zwecke der Absicherung des Wechsels oder der Verifikation der Empfehlungsmeldung dienen. Einen weiteren Beitrag leisten Blicke, die nach der Beauftragung den Effekt der Bedienung und den Fortschritt des Manövers kontrollieren. Durch die Gestaltung der Anzeige mit der animierten Verschiebung und Neuausrichtung des angezeigten Ego-Fahrzeugs könnte zudem der Abgleich zwischen Realität und Darstellung zusätzlich provoziert worden sein.

Eine weitere wichtige Erkenntnis lässt sich aus den Übergangswahrscheinlichkeiten für die Spiegel ableiten: Die in den Matrizen verzeichneten Übergangswahrscheinlichkeiten legen nahe, dass die Spiegel sehr selten betrachtet werden. Blickzuwendungen finden hauptsächlich in Verbindung mit Blicken in die Windschutzscheibe und die anderen Spiegel statt, was dafür spricht, dass die Probanden diese im Zuge einer Informationsaufnahme aus der Umwelt nutzen.

Die im letzten Auswertungsschritt vorgenommene Betrachtung einzelner Blickzuwendungen rund um den Zeitpunkt des Manöverbeginns ermöglicht einen detaillierteren Einblick in die Abfolge der Blicke der Probanden.

Auffälligstes Ergebnis der Analysen, die den Zeitpunkt der Manöverbeauftragung beschreiben, sind die hohen Blickzuwendungsanteile auf die Manöverschnittstelle auf dem unteren Display. Diese zeigen, dass eine Blindbedienung trotz der vorgenommenen Optimierungen im Konzept MP sehr selten stattfindet. Zudem zeigen die Daten, dass in fast zwei Drittel der Fälle in einer der beiden Blickzuwendungen davor nach vorne durch die Windschutzscheibe geblickt wird. Dies kann als klares Indiz dafür gewertet werden, dass die Informationsaufnahme aus der realen Umwelt vor dem Manöverauftrag eine wichtige Rolle spielt. Hierbei zeigt sich zudem, dass es einen Einfluss hat, ob eine Empfehlungsmeldung durch das System vorlag. In diesen Fällen wird seltener durch die Windschutzscheibe geblickt, als wenn die Notwendigkeit selbst erkannt oder die Meldung nicht abgewartet wird. Daraus ist möglicherweise abzuleiten, dass der Empfehlung von einigen Probanden ohne weitere Kontrolle „blind“ vertraut wird. Auf Grund der auf die beiden Schritte vor dem Manövertrigger beschränkten Betrachtung ist jedoch Vorsicht geboten, da eine Blickzuwendung zur Frontscheibe in weiteren Schritten davor stattgefunden haben könnte und das Blickverhalten beispielsweise durch das Warten auf die Meldung beeinflusst sein kann.

In den Fällen, in denen der Manöverbeauftragung eine Meldung vorangeht, lässt sich aus den Diagrammen ablesen, wohin bei Eintreffen der Meldung geblickt wird. Dabei zeigt sich wieder, dass bei der Arbeitstätigkeit höhere Blickanteile auf die FFT entfallen als bei der Tätigkeit aus dem Freizeitbereich. Dies findet sich so ebenfalls in den Ausprägungen der Manöverautomation wieder. Ein Vergleich mit der Auswertung der Blickzuwendungsverteilung im Fahrstreifenfolgen zeigt zudem, dass die Blicke auf die Frontscheibe einen deutlich erhöhten Wert gegenüber den Werten der normalen Fahrstreifenfolgenfahrt aufweisen. Dies spricht dafür, dass die Probanden bereits durch die beginnende Regelung auf das Vorderfahrzeug oder vorangegangene Blicke nach vorne auf die Situation aufmerksam geworden sind.

Auch in der Betrachtung der einzelnen Blickzuwendungsschritte vor dem Manöverauftrag zeigt sich – konsistent zu den anderen Ergebnissen – wieder die geringe Relevanz, die die Fahrer den Spiegeln zumessen: Die Blickzuwendungen direkt vor der Manöverbeauftragung gehen nur in Ausnahmefällen auf die Spiegel.

Für die Fälle, in denen das Manöver ohne Empfehlungsmeldung ausgelöst wurde, lässt sich ablesen, dass in der Hälfte der Fälle nach dem Trigger auf die Frontscheibe geblickt wird, was die oben in Bezug auf die Übergangswahrscheinlichkeiten diskutierten Erkenntnisse bezüglich einer Effekt- oder Fortschrittskontrolle stützt.

Bezüglich der Aufnahme von System- und Umfeldinformationen offenbart die Auswertung der kumulierten Blickzuwendung über die Dauer der Fahrstreifenwechsel, dass die Windschutzscheibe vergleichsweise schnell nach Beginn (wieder) betrachtet wird. Auch der Anteil der Fahrstreifenwechsel, in dem diese Informationsquelle überhaupt herangezogen wird, ist hoch. Es zeigt sich jedoch auch, dass es Fälle gibt, in denen eine Blickzuwendung gänzlich ausbleibt. Dies ist in der MA häufiger der Fall als im MP. Die extra geschaffenen Anzeigebereiche für die Systeminformation werden ebenfalls vielfach betrachtet. In der MA scheint dieser Informationsort allerdings wichtiger zu sein als im MP. Dies könnte einerseits damit zusammenhängen, dass im MP die grundlegend gleiche Information auch in der Anzeige der Manöverschnittstelle zur Verfügung steht. Andererseits wäre denkbar, dass Fahrer in der MA, in der sie keine eigene, aktive Entscheidung treffen müssen, ihren Informationsbedarf durch Blicke auf die Systeminformation decken können, während sie im MP die Frontscheibe oder andere Elemente einbeziehen um mehr Informationen zu erhalten. Die kumulierte Blickzuwendung auf das Kombiinstrument offenbart, dass das Kombiinstrument eine eher untergeordnete Rolle als Informationsort spielt und nachrangig in die Kette der aufeinanderfolgenden Blickzuwendungen aufgenommen wird.

Die Auswertungen zeigen zudem, dass es in der MA Probanden gibt, die während des gesamten Fahrstreifenwechsels nur eine einzige AOI betrachten.

Obwohl in der Konzeption dieser Studie Wert darauf gelegt wurde, die in Studie 1 als potentiell beeinflussend identifizierten Faktoren zu minimieren, sind auch bei der Interpretation der Ergebnisse dieses Versuchs Einflüsse zu beachten, die auf methodische Besonderheiten zurückzuführen sind:

So bleibt, trotz des Wechsels der Versuchsstrecke mit all den in Kapitel 5.5.3 erwähnten Vorteilen, die Einschränkung in der Möglichkeit, den umgebenden Verkehr darzustellen, woraus im Vergleich zu einer gewöhnlichen Autobahnsituation ein rela-

tiv sicheres Setting mit reduzierter Komplexität und potentiell geringerem Informationsbedarf resultiert.

Bezüglich der Probanden sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Expertise auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens und der Bedienkonzeptentwicklung diesmal wesentlich reduziert wurde. Es bleiben aber – durch die Beschränkung des Teilnehmerkreises auf Mitarbeiter des VW-Konzerns, die sich freiwillig für die Versuche melden – trotzdem technikbegeisterte und an dem Thema interessierte Personen. Ebenso ist es nicht ganz gelungen, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Geschlechtern herzustellen. Alles in Allem kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der potentielle Nutzerkreis in dieser Studie weit besser abgedeckt werden konnte als in der ersten Studie.

Bezüglich der Umsetzung der Fahrfunktion konnte die Systemzuverlässigkeit und Ausfallsicherheit drastisch erhöht werden. Im Konzept Manöverplan kam es jedoch bei der Erkennung der Manövergeste für das Überholmanöver wiederholt zu Schwierigkeiten, die dem Konzept angelastet werden könnten. Für die Auswertung der Blickdaten wurden diese Manöver aus der Betrachtung ausgeschlossen, da eine unmittelbare Auswirkung auf das Blickverhalten erwartet werden kann. In der Analyse der Befragungsergebnisse führten diese Probleme nicht zum Ausschluss der Probanden, eine Beeinflussung des angegebenen Gesamteindrucks kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Zur Datenerhebung wurde, soweit möglich, auf bewährte Mittel zurückgegriffen. Trotzdem muss der Einsatz und die Aussagekraft kritisch betrachtet werden. Der eingesetzte SART-Fragebogen ist zur Erfassung des ohnehin schwierigen Konstrukts „Situation Awareness“ nicht unumstritten und kann bestenfalls Teilaspekte erfassen, vgl. Endsley, Sollenberger und Stein (2000), Salmon et al. (2009). Ebenso kann die Genauigkeit des eingesetzten Blickerfassungsgerätes im realen Fahrzeug in Kombination mit den räumlich eng aneinander liegenden AOIs auf den beiden Touchscreens zu Fehldetektionen und Artefakten führen, welche in der Interpretation der aufgezeigten Blickdaten berücksichtigt werden müssen. Die Diskussion und Interpretation der sich in der deskriptiven Auswertung abzeichnenden Trends und Unterschiede beschränkt sich daher ebenfalls notgedrungen auf die größeren sichtbaren Effekte.

5.8 Fazit

Zusammenfasst lassen sich mit diesen Erkenntnissen die im ersten Versuch gefundenen Ergebnisse und Trends bestätigen. Alle subjektiv erhobenen Daten deuten darauf hin, dass der überwiegende Teil der Probanden während einer hochautomatisierten Fahrt die Fahraufgaben komplett an das Automationssystem delegieren möchte.

Die Nutzung der frei werdenden Zeit für fahrfremde Tätigkeiten stellt, wie in Kapitel 2.2.3.2 gezeigt, einen häufig genannten Kundennutzen dar. Die beiden exemplarisch implementierten Tätigkeiten aus dem Freizeit- und Arbeitskontext bewirken eine unterschiedliche mentale Beanspruchung bei den Probanden, was sichtbare Auswirkungen auf das Blickverhalten hat. In der Auswertung der Blickdaten zeigt sich, dass bei der Arbeitstätigkeit versucht wird, den dargestellten Inhalten möglichst gut zu folgen, was sich in der konsequenten Betrachtung der FFT widerspiegelt, allerdings als Kehrseite negative Auswirkungen auf das erhobene Situationsbewusstsein hervorruft. Während der Bearbeitung der Tätigkeit aus dem Freizeitbereich zeigt sich die geringere Notwendigkeit einer konsequenten, dauerhaften Betrachtung der angebotenen Inhalte: Die Probanden befassen sich mehr mit dem Fahrgeschehen und dem Umfeld des Fahrzeugs.

Auf Seiten der Interaktionskonzepte bietet das Konzept Manöverautomation dem Fahrer mehr Möglichkeiten und Freiheiten, sich auch mit anspruchsvolleren Aufgaben zu beschäftigen. Das Konzept Manöverplan hingegen bewirkt durch die verbleibenden Fahraufgaben – auch wenn diese auf einer hohen Abstraktionsebene und ohne Zeitkritikalität stattfinden – eine häufigere Auffrischung der relevanten Informationen durch den Fahrer, was zu einer erhöhten Beanspruchung führt. Die erwartete Verbesserung des Situationsbewusstseins ergibt sich nach der Messung mittels SART dadurch jedoch nicht. Vielmehr führen die Blickzuwendungen auf die Umgebung und auf die Manöverschnittstelle während des Manöverauftrags zu verkürzten zusammenhängenden Zuwendungszeiten zur FFT. Dies wird durch die Probanden als Ablenkung von der fahrfremden Tätigkeit durch die verbleibenden fahrbezogenen Aufgaben wahrgenommen und schlägt sich in den schlechteren Akzeptanzbewertungen und in den konkret von den Probanden genannten Nachteilen des Manöverplans (vgl. Anhang A.4.4.3) nieder.

Bezüglich der Verortung und Nutzung von Systeminformationen kann aus den Blickdaten abgeleitet werden, dass das Angebot von grundlegenden Systeminformationen nahe des Ortes, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet ist, ein vielversprechender Ansatz ist und vor allem auch bei fahrfremden Tätigkeiten mit hohem Aufmerksam-

keitsbedarf genutzt wird. Die Wiedergabe von Informationen über die Umgebung, selbst wenn sie durch z.B. die Darstellung der Geschwindigkeit des Vorauszugs angereichert wird, ist eher von untergeordneter Bedeutung, da die Probanden diese Information durch direkte Blicke aus der Umgebung beziehen. Dies gilt sowohl im Manöverfall als auch für die Abschnitte der normalen Fahrt, in denen viele kurze Einzelblicke auf die Frontscheibe erfolgen. In wie weit sich dies über eine längere Nutzungsdauer und einem damit einhergehenden weiteren Vertrauensaufbau reduzieren würde, kann auf der vorliegenden Datengrundlage nicht beurteilt werden.

Der klassische Informationsort für Systeminformationen, das Kombiinstrument, wird aus der FFT selten als alleinige Informationsquelle angesteuert, sondern meist im Zusammenhang mit dem (gleichfalls „klassischen“) Informationsort Windschutzscheibe genutzt. Dies spricht ebenfalls dafür, im Kombi grundlegende fahr- und systembezogene Informationen zu belassen. Für die mögliche Darstellung einer interpretierten Umgebungsanzeige gilt auch hier, dass diese lediglich redundant zu den Informationen des realen Umfelds wäre, die der Fahrer sowieso betrachtet. Ein möglicher positiver Effekt einer solchen Visualisierung – egal an welchem Ort – auf die Systemtransparenz und damit verbunden auf das Systemvertrauen ist möglich, lässt sich aber mit den vorliegenden Ergebnissen nicht belegen.

6 Ableitung systemergonomischer Anforderungen

Zur Ableitung und Formulierung von systemergonomischen Anforderungen müssen, neben den aus den dargestellten Versuchen gewonnenen Erkenntnissen, auch die zu Grunde gelegten Prämissen betrachtet werden. Die nachfolgend formulierten Anforderungen bauen darauf auf, dass das System im Sinne einer Hochautomation (Level3) innerhalb des dargestellten Anwendungsfalls (hier einer nachempfundenen Autobahnfahrt) *keine* Überwachung oder Steuerung durch den Fahrer *benötigt*, alle im Anwendungsfall notwendigen Manöver selbständig durchführen und absichern kann, im Falle einer Systemgrenze diese selbständig detektiert und dem Fahrer ausreichend Zeit zur sicheren Übernahme der Fahraufgabe zur Verfügung stellt.

Unter dieser Voraussetzung und mit diesem Wissen präferiert ein signifikant höherer Anteil der Probanden in den Situationen, die sie im Fahrversuch erlebt haben, die jeweils weitestmögliche Entbindung von fahrbezogenen Aufgaben. Auch eine manöverbezogene Interaktion ohne Zeitkritikalität, wie sie in Konzept C bzw. dem Manöverplan implementiert wurde, fällt dabei gegenüber den Konzepten ohne notwendige Interaktion – also mit automatischer Manöverdurchführung – in den Bewertungen signifikant ab. Die dabei reduzierte Kontrolle wird zwar gesehen, tritt aber gegenüber der Vielzahl an wahrgenommenen Vorteilen in den Hintergrund.

Der dargestellte Trend zu einer hohen Akzeptanzbewertung für ein System, welches den Fahrer von manöverbezogenen Aufgaben entbindet, wie es in Konzept D bzw. der Manöverautomation umgesetzt wurde, ist daher klar zu erkennen. Unter Berücksichtigung der Prämissen und der diskutierten Einschränkungen in den Versuchen, würde eine generelle, uneingeschränkte Empfehlung dieser Ausprägung für alle Level3-Systeme jedoch zu weit greifen. Es sollte nicht übersehen werden, dass es jeweils eine nicht zu vernachlässigende Zahl an Probanden gibt, die Vorteile im zweitplatzierten Konzept C oder dem Manöverplan sehen, also eine Interaktion auf Manöverebene bevorzugen würden.

Eine Möglichkeit zum Abdecken zwangsläufig vorhandener, unterschiedlicher Nutzerbedürfnisse kann darin gesehen werden, eine Konfigurierbarkeit des Systems vorzuhalten, wie in Lindberg (2012, S. 120-121) vorgeschlagen. Bezogen auf das diskutierte System könnte somit eine Möglichkeit vorgesehen werden, systeminitiierte Fahrstreifenwechsel an- oder abzuschalten oder zusätzlich zu den automatischen Wechseln Eingriffsmöglichkeiten wie Manöverauftrag oder -abbruch zuzulassen. Weiteres Potential für Parametrierungen bietet zudem das „Fahrverhalten“ des Systems. Die Vorgabe einer ruhigen oder sportlichen Fahrweise könnte beispielsweise

die Häufigkeit und die Dynamik der durchgeführten Manöver beeinflussen. Untersuchungen zur Dynamik automatisierter Wechsel zeigen ebenfalls eine nutzbare Wirkung für Systemrückmeldungen sowie Einflüsse auf das Komfortempfinden und die Akzeptanz, wie in Lange, Maas, Albert, Siedersberger und Bengler (2014) und Lange, Albert, Siedersberger und Bengler (2015) diskutiert.

Zur Verifikation dieser Überlegungen sind weitere Untersuchungen zur Auswirkung der Maßnahmen auf Nutzerakzeptanz und Übernahmeleistung unter Berücksichtigung einer realistisch möglichen Systemperformance, realer Umgebungsbedingungen sowie Langzeit- bzw. Lerneffekten bei den Probanden notwendig.

Bezüglich einzelner Informationselemente und umgesetzter Mechanismen können jedoch konkrete Anforderungen und weitere Empfehlungen abgeleitet werden:

Die dem Fahrer zur Verfügung gestellten Informationen nehmen für die Themen Systemverständnis, angemessenes Systemvertrauen und Mode Awareness eine zentrale Rolle ein:

- Der Systemstatus und grundlegende, die Systemaktivität betreffende Informationen, sollten an den bisher genutzten Orten für fahrbezogene Systeminformationen (z.B. Kombi, HUD, siehe auch Kapitel 2.4.1) und zusätzlich in der Nähe des aktuellen Aufmerksamkeitsschwerpunkts angeboten werden, sodass sie auch bei der Bearbeitung fahrfremder Tätigkeiten leicht erfasst werden können. Dies schließt die Anzeige von Systemverfügbarkeiten, vorbereitende Maßnahmen bei einem absehbaren Ende des Anwendungsfalls und kritische Übernahmen ein.
- Die Anzeige und Begründung von Systementscheidungen wird ebenfalls empfohlen. Dies schließt den Status und die Phasen aktueller Manöver, Entscheidungen bezüglich künftiger Manöver oder eine Anpassung vom Fahrer wahrnehmbarer Fahrparameter (z.B. Geschwindigkeit) mit ein.
- Die Anzeige von Umfeldinformationen und erkannten oder regelrelevanten Objekten ist mit den vorliegenden Ergebnissen als optionale Möglichkeit zu verstehen. Diese kann für den Vertrauensaufbau oder für den Abgleich der Situationswahrnehmung und das Verständnis von den vom System getroffenen Entscheidungen sinnvoll sein. Für Entscheidungen, die der Fahrer treffen muss oder in Übernahme-situationen kann davon ausgegangen werden, dass der Fahrer die benötigten Informationen sowieso durch den Blick auf die reale Szenerie abgleicht oder sich direkt von dort holt. Ähnliches beobachten auch Wulf et al. (2013) im Umgang mit dem Videobild neben der Tätigkeit. Eine Anreicherung der über den Blick auf die Windschutzscheibe aufgenommenen Information, beispielsweise über ein kon-

taktanaloges Head-Up-Display, könnte in diesem Zusammenhang ein vielversprechender Ansatz sein.

Neben der bewussten Darbietung von Informationen bieten sich im Gestaltungsfeld des Fahrerplatzes noch weitere Möglichkeiten, den Fahrer während der aktiven Automation und während Transitionen zu unterstützen:

- Die Kopplung des hauptsächlichen Interaktionsortes (mit Fahraufgabe und FFT) an den Modus bzw. den Automationsgrad unterstützt die Fahrer bei der klaren Wahrnehmung der Transition und der damit verbundenen Verschiebung der Verantwortlichkeit. In der in dieser Arbeit dargestellten Evaluierung der Konzepte wurde in keiner der Ausprägungen, die eine Verschiebung der Interaktion in die Mittelkonsole vorsahen (Konzepte B, C, D und MP, MA), Unsicherheiten festgestellt, ob und wann das Fahrzeug die relevanten Teile der Fahraufgabe übernommen hat oder ob der Fahrer beispielsweise selbst lenken muss. Diese klare Trennung, räumlich und in der Interaktionsart, unterstützt die von Petermann-Stock (2015) – siehe auch Kapitel 2.4.2.2 – geforderte klare Differenzierung zwischen den im Fahrzeug integrierten Modi.
- Das Angebot fahrfremder Tätigkeiten auf fahrzeugintegrierten Geräten kann ebenfalls als Gestaltungsmittel zur Differenzierung zwischen Fahrzuständen mit unterschiedlichen Verantwortlichkeiten empfohlen werden.

Zum Ersten ist mit der Freischaltung von Inhalten im Infotainmentbereich, die gesperrt sind während der Fahrer in der Verantwortung ist, ein eindeutiges Signal verbunden, dass der Fahrer nicht in der Verantwortung ist, solange diese freigeschaltet sind.

Zum Zweiten wird die räumliche Zuwendung zur Interaktion mit dem Infotainment, beispielsweise im Bereich der Mittelkonsole, von einer Abwendung von den konventionellen Bedienelementen der Fahrzeugführung begleitet. Dies unterstützt wiederum die oben genannte Metapher der Verschiebung des Hauptinteraktionsortes.

Zum Dritten bietet die Beschäftigung des Fahrers an Orten, die der Kontrolle des Fahrzeugsystems zugänglich sind, die Chance, die oben erwähnten Systeminformationen nahe am Ort der Aufmerksamkeit darzustellen. Im Falle einer kritischen Übernahme können so entsprechende Aufforderungen für den Fahrer visuell gut wahrnehmbar angezeigt und die Tätigkeit systemseitig unterbrochen werden. Zudem entfällt die Notwendigkeit, ein sonst eventuell für die fahrfremde Tätigkeit genutztes mobiles Endgerät sicher abzulegen. Dadurch kann in Summe

ein positiver Einfluss auf Reaktions- und Hands-On- Zeiten im Ablauf eines Übernahmeprozesses, wie er beispielsweise in Gold (2016, S. 36) beschrieben ist, erwartet werden.

Erfolgt keine direkte Integration, sollte zumindest eine Kopplung der genutzten mobilen Geräte an das Fahrzeug angestrebt werden, um die Darstellung von Übernahmeaufforderungen und das Pausieren von Inhalten zu ermöglichen.

In der Diskussion solcher Konzeptideen muss beachtet werden, dass sich mit der Schaffung eines zweiten Haupt-Interaktionsortes die Forderung nach einer optimalen ergonomischen Gestaltung bezüglich der räumlichen Anordnung und der Interaktion an beiden Orten verbindet. Dabei muss sichergestellt werden, dass im Falle einer kritischen Übernahmesituation alle notwendigen Bedienelemente der manuellen Fahrt – den systemseitigen Erfordernissen entsprechend – schnell genug erreichbar sind. Aufgrund der weitreichenden Auswirkungen auf den Innenraum leiten sich daraus Prämissen ab, die bereits in frühen Konzeptionierungsphasen im Package (vgl. Bubb, Grünen und Remlinger (2015)) berücksichtigt werden müssen.

Neben den dargestellten konzeptuellen Auswirkungen auf den Innenraum und das Fahrerplatzkonzept hat der zweite Versuch gezeigt, dass mit der Art der Inhalte der integrierten fahrfremden Tätigkeiten auch das Blickverhalten der Probanden variiert. Die freien Ressourcen in der weniger beanspruchenden FFT werden zur Beschäftigung mit dem Fahrgeschehen genutzt, was dem Situationsbewusstsein zuträglich ist. Ist dieser Befund unter der Prämisse einer schlicht „ausreichenden“ Zeit für kritische Übernahmesituationen ohne Belang, kann dies doch ein potentieller Anknüpfungspunkt zur Erhöhung der Übernahmeleistung sein. Die Auswirkungen unterschiedlich anspruchsvoller Tätigkeiten auf die Übernahme ist Gegenstand aktueller Forschung, siehe beispielsweise Radlmayr, Gold, Lorenz, Farid und Bengler (2014) und Gold et al. (2015).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit ist – gemäß des in Kapitel 3 abgeleiteten Forschungsbedarfs – die Identifikation und Ableitung von systemergonomischen Anforderungen an die Gestaltung von Fahrerplatzkonzepten in Fahrzeugen, die sowohl den manuell/assistierten als auch den hochautomatisierten Betrieb vorsehen.

Dazu wurde, wie in Kapitel 3 dargestellt, ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Im ersten Schritt wurden vier Interaktionskonzepte entworfen, die die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug systematisch an Hand der vier Ebenen der Fahraufgabe variieren. Die Konzepte wurden prototypisch umgesetzt und mittels eines Probandenversuchs in einem automatisiert fahrenden Versuchsfahrzeug auf einem Testgelände evaluiert. Aus den Erkenntnissen des ersten Versuchs wurden im zweiten Schritt zwei optimierte Interaktionskonzepte abgeleitet und zusammen mit zwei Arten fahrfremder Tätigkeiten in einem darauf angepassten Entwurf eines Fahrerplatz- und Interieurkonzepts integriert. Dieser Entwurf wurde zusammen mit einer Erweiterung der Fahrfunktion im Versuchsträger umgesetzt. Die Evaluation erfolgte wiederum in einem Probandenversuch auf dem Testgelände und beinhaltete neben der subjektiven Bewertung auch die Erfassung des Blickverhaltens.

Ein besonderes Augenmerk lag in beiden Integrationsschritten und Untersuchungen auf der Darstellung möglichst realitätsnaher Systeme, um eine verlässliche Bewertung der Akzeptanzfaktoren zu gewährleisten. Dies konnte durch die Umsetzung und Integration der Interaktionskonzepte in einem realen Versuchsfahrzeug und Probandenversuche in realitätsnahen Fahrsituationen erreicht werden. In diesem Zusammenhang sind auch die im zweiten Versuch eingesetzten fahrfremden Tätigkeiten zu erwähnen, für die ebenfalls zwei möglichst realistische Aufgaben zur Abbildung möglicher Nutzungskontexte ausgewählt wurden, wie in Kapitel 5.5.2 dargestellt. Die Herausforderung lag hierbei darin, nicht durch die Art der Tätigkeit die Ergebnisse der Systembewertung zu verfälschen, weshalb nicht auf standardisierte Nebenaufgaben, wie sie beispielsweise in Gold et al. (2015) genutzt werden, zurückgegriffen werden konnte. Die Suche nach gleichzeitig „sinnvollen“ oder „natürlichen“ wie nach gewissen Kriterien kontrolliert gestuften fahrfremden Tätigkeiten ist nicht neu (siehe beispielsweise Petermann-Stock et al. (2013)), jedoch existiert bis dato kein einheitlicher Standard mit dem sich auch eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Versuchen herstellen ließe. Vor dem Hintergrund der steigenden Relevanz der Betrachtung fahrfremder Tätigkeiten in Szenarien zum automatisierten Fahren, kann in der Definition standardisierter fahrfremder Tätigkeiten ein wichtiger Baustein für die zu-

künftige Forschung gesehen werden, weshalb die Definition Solcher für künftige Arbeiten empfohlen wird.

Aus den Versuchsergebnissen konnten unter Berücksichtigung der Prämissen und methodischen Einschränkungen Hinweise zur gewünschten Gestaltung der Interaktion gesammelt und Anforderungen an die Gestaltung entsprechender Fahrerplätze abgeleitet werden. Diese sind in Kapitel 6 zusammengetragen und stehen im Einklang mit nach dem Abschluss des Projekts erschienenen Dokumenten mit Anforderungen an die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle: Die in der „Automated Vehicles Policy“ der amerikanischen Verkehrsbehörden (U.S. Department of Transportation & NHTSA, 2016) angeführten Systemrückmeldungen und Informationen sind allesamt darstellbar. Die von der in Deutschland eingesetzten Ethikkommission (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017) geforderte, klare Differenzierung, ob gerade das Fahrzeug oder der Fahrer die Verantwortung für die Fahrzeugführung trägt, haben mehrere der abgeleiteten Empfehlungen sogar explizit zum Ziel. Zusätzlich werden die in der beschlossenen Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (Deutscher Bundestag, 2017, §1b) angeführten Pflichten des Fahrzeugführers unterstützt. Diese sehen eine unverzügliche Reaktion auf Übernahmeaufforderungen und das Erkennen fehlender Voraussetzungen für eine bestimmungsgemäße Verwendung des Systems vor.

Die vorliegende Arbeit liefert mit ihren Ergebnissen einen Beitrag zur Forschung auf dem Gebiet des Zusammenspiels zwischen Mensch und automatisiertem Fahrzeug. Zahlreiche andere Publikationen auf diesem Gebiet widmen sich vorwiegend der Betrachtung von Übernahme- oder Übergabeszenarien, wie beispielsweise die Recherche in Mirnig et al. (2017)) zeigt. Der Fokus dieser Arbeit hingegen liegt klar auf der Entwicklung und prototypischen Umsetzung einer nutzerorientierten Gestaltung der Interaktion mit der Fahrfunktion während des regulären, störungsfreien Betriebs der Automation. Durch die beschriebene Vorgehensweise konnten sowohl erste Gestaltungsziele für die Interaktion und den Fahrzeuginnenraum formuliert und umsetzbare Maßnahmen definiert, als auch konkrete Anforderungen an den Fahrerplatz abgeleitet werden.

Auf dem Weg zum automatisierten Fahren im Alltag sind diese Anforderungen in enger Verbindung mit anderen Anforderungen und Einschränkungen zu betrachten, die sich beispielsweise aus technischer oder rechtlicher Sicht ergeben. Schon am Beispiel der in dieser Arbeit gesetzten Prämisse der Hochautomation wird deutlich, wie eng diese verzahnt sind: Ein hochautomatisiertes Fahrzeug muss die von ihm innerhalb des Anwendungsfalls verantwortlich übernommenen Aufgaben ohne den Fahrer

sicher bewältigen können. Zusätzlich muss das System nahende Grenzen oder Ausfälle selbständig erkennen und den Fahrer rechtzeitig in die Fahraufgabe zurück bringen. Hieraus resultieren hohe Anforderungen, etwa hinsichtlich der Sensorreichweiten oder an die Absicherung vom Fahrer nicht überwachter Funktionen (siehe dazu auch Winner (2015, S. 1173-1179) und Wachenfeld und Winner (2015)). Wird weiterhin die in den durchgeführten Versuchen präferierte, weitgehende Entbindung von Fahraufgaben und das Engagement in fahrfremden Tätigkeiten berücksichtigt, entfernt sich der Fahrer innerhalb des durch die Hochautomation vorgegebenen Rahmens sehr weit von der Fahraufgabe, mit potentiell negativen Auswirkungen auf dessen Verfügbarkeit im Falle einer Übernahme. Die Definition einer „ausreichenden“ Zeitreserve für die Übernahme (siehe auch Kapitel 2.4.2.2) wird sich in diesem Zusammenhang sicherheitshalber an einer konservativen Interpretation der bekannten Untersuchungen orientieren müssen, was wiederum die technischen Anforderungen verschärft oder die rechtliche Zulässigkeit des Systems beeinflusst.

Aus diesem Grund ist – neben der Forschung in den einzelnen Bereichen – eine gesamtheitliche Betrachtung aller technischen, rechtlichen und menschbezogenen Faktoren notwendig. Wie in Bengler et al. (2014) beschrieben, kann daher ein weiterhin steigender Bedarf an enger interdisziplinärer Forschung zum automatisiertem Fahren in den kommenden Jahren gesehen werden um die eingangs erwähnte Vision Wirklichkeit werden zu lassen.

8 Literaturverzeichnis

ADAC Markt- und Meinungsforschung (Hrsg.). (2016). *Autonomes Fahren - Umfrage unter ADAC Mitgliedern*.

Akamatsu, M., Green, P. & Bengler, K. (2013). Automotive Technology and Human Factors Research. Past, Present, and Future. *International Journal of Vehicular Technology*, 2013 (3), 1-27.

Albert, M., Lange, A., Schmidt, A., Wimmer, M. & Bengler, K. (2015). Automated Driving – Assessment of Interaction Concepts Under Real Driving Conditions. In *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE 2015* (Procedia Manufacturing, Bd. 3, S. 2832-2839).

Alliance of Automobile Manufacturers (Hrsg.). (2006). *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*. Driver Focus-Telematics Working Group. Zugriff am 22.02.2016. Verfügbar unter <http://www.autoalliance.org/index.cfm?objectid=D6819130-B985-11E1-9E4C000C296BA163>

Altendorf, E., Baltzer, M., Kienle, M., Meier, S., Weißgerber, T., Heesen, M. et al. (2015). H-Mode 2D. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 1123-1138). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Ardelt, M., Coester, C. & Kaempchen, N. (2012). Highly Automated Driving on Freeways in Real Traffic Using a Probabilistic Framework. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13 (4), 1576-1585.

Arndt, S. (2011). *Evaluierung der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, TU Dresden. Dresden. Verfügbar unter <http://www.gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=752732>

AUDI AG. (2017). *Elektrisch in die Zukunft: Der Audi e-tron quattro concept*. Zugriff am 13.09.2017. Verfügbar unter <https://www.audi.com/corporate/de/innovationen/studien/modelle/audi-e-tron-quattro-concept.html>

AutoScout24 GmbH (Hrsg.). (2011). *Unser Auto von morgen 2011. Studie zu den Wünschen der Deutschen an das Auto von morgen*.

AutoScout24 GmbH (Hrsg.). (2012). *Unser Auto von morgen 2012. Studie zu den Wünschen der Europäer an das Auto von morgen*.

AutoScout24 GmbH (Hrsg.). (2013). *Unser Auto von morgen 2013/14. Was wünschen sich die Europäer vom Auto von morgen?*

- AutoScout24 GmbH (Hrsg.). (2015). *Unser Auto von morgen 2015. Einschätzungen, Wünsche, Visionen.*
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.
- Bangor, A., Kortum, P. & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4 (3), 114-123.
- Bartels, A., Berger, C., Krahn, H. & Rumpe, B. (2009). Qualitätsgesicherte Fahrentscheidungsunterstützung für automatisches Fahren auf Schnellstraßen und Autobahnen. In *10. Braunschweiger Symposium AAET 2009. Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel.* Braunschweig: GZVB.
- Bartl, M. & Rosenzweig, J. (2016). *Autonomous Driving - The User Perspective. Application of Innovation Mining on the Topic of Self Driving Cars* (Hyve Science Labs, Hrsg.), München.
- Behrens, R., Kleine-Besten, T., Pöchmüller, W. & Engelsberg, A. (2015). Digitale Karten im Navigation Data Standard Format. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 513-523). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Beier, G. (2004). *Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik. Ein Persönlichkeitsmerkmal mit Relevanz für die Gestaltung technischer Systeme* (Dissertation.de, Bd. 871). Humboldt-Univ., Diss.--Berlin, 2003. Berlin: dissertation.de.
- Bengler, K., Dietmayer, K., Färber, B., Maurer, M., Stiller, C. & Winner, H. (2012). *Die Zukunft der Fahrerassistenz. Ein Strategiepapier der Uni-DAS* (UniDAS, Hrsg.).
- Bengler, K., Dietmayer, K., Färber, B., Maurer, M., Stiller, C. & Winner, H. (2014). Three Decades of Driver Assistance Systems. Review and Future Perspectives. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6 (4), 6-22.
- Bengler, K., Drüke, J., Hoffmann, S., Manstetten, D. & Neukum, A. (Hrsg.). (2018). *UR:BAN Human Factors in Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bengler, K., Pfromm, M. & Bruder, R. (2015). Bedienelemente. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 647-657). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bengler, K., Zimmermann, M., Bortot, D., Kienle, M. & Damböck, D. (2012). Interaction Principles for Cooperative Human-Machine Systems. *it - Information Technology*, 54 (4), 157-164.
- Bernotat, R. (1964). Der Mensch als Element des Flugführungssystems. *Zeitschrift für Luftfahrttechnik/Raumfahrttechnik*, 10 (3), 66-68.

- Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13 (3), 353-377.
- Biester, L. (2004). Der Einsatz von Kooperation zwischen Mensch und Maschine im Kraftfahrzeug. In *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (VDI-Berichte, Bd. 1864). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Billings, C. E. (1991). *Human-Centered Aircraft Automation: A Concept and Guidelines*. Moffett Field, Calif.: National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center.
- Bissbort, F. (2015). *Konzeptionierung des Fahrerarbeitsplatzes für das hochautomatisierte Fahren*. Masterarbeit, TU München. München.
- BMW AG (Hrsg.). (2017). *Ferngesteuertes Parken*. Zugriff am 03.05.2017. Verfügbar unter <http://www.bmw.de/de/topics/faszination-bmw/connecteddrive/fahrerassistenz/intelligentes-parken.html>
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 242 Tabellen* (6. Auflage). Heidelberg: Springer Medizin.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Braess, H.-H. & Seiffert, U. (2011). *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik* (ATZ-MTZ Fachbuch, 6., aktualisierte und erw. Aufl). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- Braess, H.-H. & Seiffert, U. (2013). *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189 (194), 4-7.
- Bubb, H. (2002). Umsetzung psychologischer Forschungsergebnisse in die ergonomische Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 48 (Nr.1), 8-15.
- Bubb, H. (2003a). Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zur aktiven Sicherheit oder eher zum Komfort? In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Bd. 1768, S. 25-44). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Bubb, H. (2003b). Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? In K. Landau (Hrsg.), *Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko. Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003* (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Bd. 557, Als Ms. gedr, S. 26-39). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Bubb, H. (2015a). Das Regelkreisparadigma der Ergonomie. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 27-65). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Bubb, H. (2015b). Einführung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 1-25). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H. & Bengler, K. (2015). Fahrerassistenz. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 525-582). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H., Bengler, K., Breuninger, J., Gold, C. & Helmbrecht, M. (2015). Systemergonomie des Fahrzeugs. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 259-344). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E. & Vollrath, M. (Hrsg.). (2015). *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H., Grünen, R. E. & Remlinger, W. (2015). Anthropometrische Fahrzeuggestaltung. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 345-470). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bubb, H. & Schmidtke, H. (1993). Systemergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. Aufl., S. 305-458). München: Hanser Verlag.
- Bubb, H., Vollrath, M., Reinprecht, K., Mayer, E. & Körber, M. (2015). Der Mensch als Fahrer. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (ATZ/MTZ-Fachbuch, S. 67-162). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2015). *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). (2017). *Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren*.
- Cacilo, A., Schmidt, S., Wittlinger, P., Hermannsdorfer, F., Bauer, W., Sawade, O. et al. (2015). *Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen - Industriepolitische Schlussfolgerungen*. Dienstleistungsprojekt 15/14 Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Hrsg.). : Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Carsten, O., Lai, F. C. H., Barnard, Y., Jamson, A. H. & Merat, N. (2012). Control Task Substitution in Semiautomated Driving: Does It Matter What Aspects Are Automated? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54 (5), 747-761.

- Christen, F. & Huang (2008). Das Fahrermodell im Verkehrsflusssimulationsprogramm PELOPS – Modellierung und Applikationsmöglichkeiten. In T. Jürgensohn (Hrsg.), *Fahrermodellierung in Wissenschaft und Wirtschaft* (Fortschritt-Berichte VDI / 22 / VDI, Nr. 28, Als Ms. gedr). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Cramer, S., Lange, A. & Bengler, K. (2015). Path Planning and Steering Control Concept for a Cooperative Lane Change Maneuver According to the H-Mode Concept. In *7. Tagung Fahrerassistenzsysteme*. Verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/download/1285217/1285217.pdf>
- Dambier, M. (2010). *Adaptive Information Flow Control. Recognition and Prediction of Factors Contributing to Driver's Stress*. Tönning: Der Andere Verlag.
- Damböck, D. (2013). *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme*. Dissertation, TU München. München.
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L. & Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. *5. Tagung Fahrerassistenz, 5*.
- Damböck, D., Kienle, M. & Bengler, K. (2010). Bedienelemente hochautomatisierter Fahrzeuge – Studie zum haptischen Kanal als Kommunikationsmedium. In GfA (Hrsg.), *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten* (S. 157-160).
- Damböck, D., Kienle, M., Bengler, K., Flemisch, F., Kelsch, J., Heesen, M. et al. (2009). Vom Assistierte zum Hochautomatisierten Fahren. Zwischenbericht aus den Projekten DFG-H-Mode und EU-HAVEit. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Bd. 2085). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Darms, M. (2015). Fusion umfelderfassender Sensoren. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 439-451). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Deloitte. (2016). *Autonomes Fahren in Deutschland - wie Kunden überzeugt werden*.
- Deutscher Bundestag (Hrsg.). (2017). *Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines ... Gesetzes zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes* (Drucksache 18/11300).
- Dietmayer, K. (2015). Prädiktion maschineller Wahrnehmungsleistung beim automatisierten Fahren. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 419-438). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Dietmayer, K., Nuß, D. & Reuter, S. (2015). Repräsentation fusionierter Umfelddaten. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 453-480). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- DIN, 73001 (1953). *Bedienung von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor*.

- DIN EN ISO, 15005 (2003). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements*.
- DIN EN ISO, 15006 (2012). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Verkehrsinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Konformitätsverfahren für die Ausgabe auditiver Informationen im Fahrzeug*.
- DIN EN ISO, 15008 (2011). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug*.
- DIN EN ISO, 9241-110 (2008). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*.
- DIN ISO, 4040 (Jan 1986). *Straßenfahrzeuge; Personenkraftwagen; Anordnung der Handbedienteile, Anzeige- und Kontrollgeräte*.
- Donges, E. (1982). Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 27 (2), 183-190.
- Donges, E. (2012). Fahrerhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (2.Auflage, S. 15-23). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Eilers, E., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (40), 215-224.
- Endsley, M. R. (1988). Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 32 (2), 97-101.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (1), 32-64.
- Endsley, M. R. & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. In *Ergonomics* (Vol. 42, No.3, pp. 462-492).
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (2), 381-394.
- Endsley, M. R., Sollenberger, R. & Stein, E. (2000). Situation Awareness: A comparison of measures. In *Proceedings of the Human Performance, Situation Awareness and Automation: User Centered Design for the New Millenium* .

- Europäische Kommission. (2006). *Use of Intelligent Systems in Vehicles. Special Eurobarometer 267 / Wave 65.4 - TNS Opinion & Social.*
- Europäische Kommission. (2008). *Empfehlung der Kommission vom 26. Mai 2008 über sichere und effiziente bordeigene Informations- und Kommunikationssysteme: Neufassung des Europäischen Grundsatzkatalogs zur Mensch-Maschine-Schnittstelle. (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2008) 1742). (2008/653/EG) (Amtsblatt der Europäischen Union L216/1). Zugriff am 22.02.2016. Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32008H0653>*
- Färber, B. (2005). Instrumente zur Akzeptanzmessung. In *3. Workshop Fahrerassistenzsysteme 2005* (S. 92-100).
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. & Buchner, A. (2007). G*Power 3. A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39 (2), 175-191.
- Feldhütter, A., Gold, C., Hüger, A. & Bengler, K. (2016). Trust in Automation as a Matter of Media Influence and Experience of Automated Vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 60 (1), 2017-2021.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS. (and sex and drugs and rock 'n' roll)* (3. ed.). Los Angeles, Calif.: Sage.
- Fitts, P. M. (1951). Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system.
- Flemisch, F. (2003). *The H-metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction* (NASA/TM, 2003-212672). Hampton: National Aeronautics and Space Administration.
- Flemisch, F., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H. & Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. *Ergonomics*, 57 (3), 343-360.
- Flemisch, F., Griesche, S., Schieben, A., Heesen, M., Kaussner, A., Niemann, J. et al. (2009, 31. Dezember). *HAVEit Deliverable D33.3. Validation of preliminary design by simulation*. Zugriff am 21.05.2013. Verfügbar unter <http://www.haveit-eu.org/displayITM1.asp?ITMID=24&LANG=EN>
- Flemisch, F., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A. & Schindler, J. (2008). Automation spectrum, inner / outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation. In D. de Waard (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation*. Maastricht: Shaker Publ.
- Flemisch, F., Nashashibi, F., Rauch, N., Schieben, A., Glaser, S., Temme, G. et al. (2010). Towards Highly Automated Driving. Intermediate report on the HAVEit-

- Joint System. In *3rd European Road Transport Research Arena, TRA 2010*. Brussels.
- Flemisch, F., Winner, H., Bruder, R. & Bengler, K. (2015). Kooperative Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 1103-1110). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Fleßenkämper, B. P. (2016). *Der Wettlauf ums selbstfahrende Taxi*. Zugriff am 03.05.2017. Verfügbar unter <https://www.wired.de/collection/tech/der-wettlauf-ums-selbstfahrende-taxi>
- Forschungsgesellschaft Kraftfahrtwesen mbH Aachen. (2010). *PELOPS White Paper* (fka, Hrsg.). Aachen: fka.
- Fraedrich, E. & Lenz, B. (2015). Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 639-660). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Franz, B. (2014). *Entwicklung und Evaluation eines Interaktionskonzepts zur manöverbasierten Führung von Fahrzeugen*, TU Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft. Darmstadt. Verfügbar unter <http://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/65385/>
- Franz, B., Kauer, M., Bruder, R. & Geyer, S. (2012). pieDrive - a New Driver-Vehicle Interaction Concept for Maneuver-Based Driving. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. IEEE. Verfügbar unter <http://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/58402/>
- Franz, B., Kauer, M., Geyer, S. & Hakuli, S. (2015). Conduct-by-Wire. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 1111-1121). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Fuchs, A. (2016). *Evaluation von Anzeige- und Bedienkonzepten für das automatisierte Fahren. Fahrstudie zur Messung von Akzeptanz und Usability*. Masterarbeit, KU Eichstätt. Eichstätt.
- Fuchs, H., Hofmann, F., Löhr, H. & Schaaf, G. (2015). Car-2-X. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 525-540). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Fuß, P. (2013). *Autonomes Fahren - die zukunft des PKW-Marktes? Ergebnisse einer Befragung von 1000 Verbrauchern in Deutschland*. : Ernst & Young GmbH.
- Gasser, T. M. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, F 83). Bremerhaven.
- Gasser, T. M., Seeck, A. & Smith, B. W. (2015). Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 27-54). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Geiser, G. (1985). Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. *Automobil-technische Zeitschrift* (87), 77-84.
- Gelau, C., Gasser, T. M. & Seeck, A. (2012). Fahrerassistenz und Verkehrssicherheit. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (2.Auflage, S. 24-32). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Gold, C. (2016). *Modeling of Take-Over Performance in Highly Automated Vehicle Guidance*. Dissertation, TU München. München. Verfügbar unter <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1296132/document.pdf>
- Gold, C., Berisha, I. & Bengler, K. (2015). Utilization of Drivetime – Performing Non-Driving Related Tasks While Driving Highly Automated. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59 (1), 1666-1670.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L. M. & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57 (1), 1938-1942.
- Gold, C., Körber, M., Hohenberger, C., Lechner, D. & Bengler, K. (2015). Trust in Automation – Before and After the Experience of Take-Over Scenarios in a Highly Automated Vehicle. In *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE 2015* (Procedia Manufacturing, Bd. 3, S. 3025-3032).
- Google Inc. (Hrsg.). (2015). *Google Self-Driving Car Project Monthly Report. October 2015*.
- Haslbeck, A., Kirchner, P., Schubert, E. & Bengler, K. (2014). A Flight Simulator Study to Evaluate Manual Flying Skills of Airline Pilots. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58 (1), 11-15.
- Hecht, T. (2014). *Nutzererwartungen an das automatisierte Fahren*. Bachelorarbeit, TU München. München.
- Heinrich, C. (2012). Automotive HMI. International Standards. In *4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, AHFE 2012* .
- Heinrich, C. (2013). Fighting Driver Distraction - Worldwide Approaches. In NHTSA (Hrsg.), *Proceedings of the 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)* .
- Heinrich, C. (2015). Fighting Driver Distraction - Recent Developments 2013-2015. In NHTSA (Hrsg.), *Proceedings of the 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)* .
- Herczeg, M. (Hrsg.). (2002). *Intention-Based Supervisory Control - Kooperative Mensch-Maschine-Kommunikation in der Prozessführung*: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.

- Hilbig, W. (1984). Akzeptanzforschung neuer Bürotechnologien. Ergebnisse einer empirischen Fallstudie. *Office Management*, 32 (4), 320-323.
- Hoberg, F. (2016). *Mit einem Fingertipp in die Parklücke*. Zugriff am 03.05.2017. Verfügbar unter <http://www.tagesspiegel.de/mobil/automatisches-einparken-mit-einem-fingertipp-in-die-parkluecke/13619014.html>
- Hoc, J.-M. (2000). From human – machine interaction to human – machine cooperation. *Ergonomics*, 43 (7), 833-843.
- Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human–machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54 (4), 509-540.
- Hoc, J.-M., Young, M. S. & Blosseville, J.-M. (2009). Cooperation between drivers and automation: implications for safety. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10 (2), 135-160.
- Hoeger, R., Hoess, A. & Zeng, H. (2011, 30. September). *HAVEit Deliverable D61.1. Final Report*. Zugriff am 04.03.2014. Verfügbar unter <http://www.haveit-eu.org/displayITM1.asp?ITMID=24&LANG=EN>
- Hohm, A., Lotz, F., Fochler, O., Lueke, S. & Winner, H. (2014). Automated Driving in Real Traffic: from Current Technical Approaches towards Architectural Perspectives. In SAE (Hrsg.), *SAE World Congress 2014* .
- Holmqvist, K., Nyström, M. & Andersson, R. (2011). *Eye Tracking. A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: OUP Oxford.
- Hoyos, C. (1974). *Arbeitspsychologie* (Urban-Taschenbücher, Bd. 186). Stuttgart: Kohlhammer.
- ISO, ISO/FDIS 15007-1. *Road vehicles — Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems — Part 1: Definitions and parameters*.
- ISO, ISO/TS 14198. *Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems*.
- Janneck, M., Vincent-Höper, S. & Othersen, I. (2012). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zum Technikbezogenen Selbstkonzept (TSK). Eine gendersensitive Studie. *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, 43 (3), 289-310.
- Japan Automobile Manufacturers Association (Hrsg.). (2004). *Guideline for In-vehicle Display Systems. Version 3.0*.
- Jentsch, M. (2014). *Eignung von objektiven und subjektiven Daten im Fahrsimulator am Beispiel der Aktiven Gefahrenbremsung. Eine vergleichende Untersuchung*. Dissertation, TU Chemnitz. Chemnitz.

- Kaber, D. B. & Endsley, M. R. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5 (2), 113-153.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Prentice Hall series in experimental psychology). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C. & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG. In *Tagungsband 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*.
- Kauer, M., Franz, B., Schreiber, M., Bruder, R. & Geyer, S. (2012). User acceptance of cooperative maneuver-based driving - a summary of three studies. *Work (Reading, Mass.)*, 41 Suppl 1, 4258-4264.
- Kauer, M., Schreiber, M. & Bruder, R. (2010). How to conduct a car? A design example for maneuver based driver-vehicle interaction. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 1214-1221).
- Kauer-Franz, M., Franz, B. & Abendroth, B. (2015). Akzeptanz teilautomatisierter Fahrzeugführung ? Rollen, Aufgaben, Emotionen: Erkenntnisse aus 7 Jahren Forschung. In *7. Tagung Fahrerassistenzsysteme*. Verfügbar unter <http://tubiblio.ulb.tu-darmstadt.de/76757/>
- Kienle, M. (2014). *Kooperative Interaktionskonzepte zum Fahren eines teilautomatisierten Fahrzeugs*. Dissertation, TU München. München.
- Kleen, A., Ricknäs, D., Schäfer, D., Manelli, M., Bendewald, L. & Selmaker, A. (2014). Automatische Fahrfunktionen und Mobile Devices: HMI-Konzept "Active Frame". Darstellung von system- und umweltbezogenen Informationen auf Tablet PCs während der automatischen Fahrt. In *30. VDI-VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit. Wolfsburg, 14. und 15. Oktober 2014* (VDI-Berichte, Bd. 2223). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Knapp, A., Neumann, M., Brockmann, M., Walz, R. & Winkle, T. (2009). *RESPONSE 3. Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS*. v5.0.
- Kollmann, T. (1999). Das Konstrukt der Akzeptanz im Marketing. Neue Aspekte der Akzeptanzforschung dargestellt am Beispiel innovativer Telekommunikations- und Multimediasysteme. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* (3), 125-130.
- Körber, M., Cingel, A., Zimmermann, M. & Bengler, K. (2015). Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving. In *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE 2015* (Procedia Manufacturing, Bd. 3, Bd. 3, S. 2403-2409).
- Kraiss, K.-F. (1994). 99% Langeweile und 1% panische Angst“ – über die Schwierigkeiten beim Umgang mit hochautomatisierten Systemen. In M. Kerner (Hrsg.),

- Technik und Angst. Zur Zukunft der industriellen Zivilisation.* Aachen: THOUET Verlag.
- Krause, M. & Bengler, K. (2015). *Suitability for Use while Driving. Introduction for (App) Developers.* UR:BAN MV.
- Kröger, F. (2015). Das automatisierte Fahren im gesellschaftsgeschichtlichen und kulturwissenschaftlichen Kontext. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 41-68). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lang, N., Rüßmann, M., Mei-Pochtler, A., Dauner, T., Komiya, S., Mosquet, X. et al. (2016). *Self Driving Vehicles. Robo-Taxis, and the Urban Mobility Revolution* (The Boston Consulting Group, Hrsg.).
- Lange, A., Albert, M., Siedersberger, K.-H. & Bengler, K. (2015). Ergonomic Design of the Vehicle Motion in an Automated Driving Car. In *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE 2015* (Procedia Manufacturing, Bd. 3, S. 2761-2768).
- Lange, A., Maas, M., Albert, M., Siedersberger, K.-H. & Bengler, K. (2014). Automatisiertes Fahren - So komfortabel wie möglich, so dynamisch wie nötig. In *30. VDI-VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit. Wolfsburg, 14. und 15. Oktober 2014* (VDI-Berichte, Bd. 2223). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 46 (1), 50-80.
- Lindberg, T. (2012). *Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme.* Dissertation, TU Berlin. Berlin.
- Löper, C., Kelsch, J. & Flemisch, F. (2008). Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren. In Gesamtzentrum für Verkehr (Hrsg.), *AAET 2008 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel.* Braunschweig.
- Lucke, D. (1995). *Akzeptanz. Legitimität in der "Abstimmungsgesellschaft".* Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Maier, F. (2014). *Wirkpotentiale moderner Fahrerassistenzsysteme und Aspekte ihrer Relevanz für die Fahrausbildung.* Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2013. Korntal-Münchingen: Dt. Fahrlehrer-Akad.
- Marberger, C., Bräuchle, H., Mielenz, H. & Führer, T. (2015). Kundenwünsche beim automatisierten Fahren in der Stadt. *ATZextra*, 20 (7/2015), 18-22.
- Matthaei, R., Reschka, A., Rieken, J., Dierkes, F., Ulbrich, S., Winkle, T. et al. (2015). Autonomes Fahren. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Hand-*

- buch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 1140-1166). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Maurer, M. (2012). Entwurf und Test von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (2.Auflage, S. 43-54). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B. & Winner, H. (Hrsg.). (2015). *Autonomes Fahren*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mirnig, A. G., Gärtner, M., Laminger, A., Meschtscherjakov, A., Trösterer, S., Tscheligi, M. et al. (2017). Control Transition Interfaces in Semiautonomous Vehicles. In S. Boll, B. Pfleging, I. Politis, D. Large & B. Domnez (Hrsg.), *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '17)* (S. 209-220).
- Müller, F. (1996). Veridical scaling of the intensity of perceptions, feelings and emotions. In A. Mital, H. Krüger, S. Kumar, M. Menozzi & J. E. Fernandez (Hrsg.), *Advances in Occupational Ergonomics and safety, Vol. II* (S. 793-804). Cincinnati.
- Müller, F. (2011). *Measurement of mental strain and physical exertion by Category Partitioning Procedure*. 12th European Congress of Psychology, Istanbul.
- Nagel, H.-H., Enkelmann, W. & Struck, G. (1995). FhG-Co-driver: From map-guided automatic driving by machine vision to a cooperative driver support. *Mathematical and Computer Modelling*, 22 (4-7), 185-212.
- Negele, H. J. (2007). *Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung*. Dissertation, TU München. München.
- NHTSA. (2013a). *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles* (NHTSA, Hrsg.). : NHTSA.
- NHTSA. (2013b). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines For In-Vehicle Electronic Devices*. Docket No. NHTSA-2010-0053 (Federal Register Vol.78, No.81). : Department of Transportation.
- Norman, D. A. (1990). The 'Problem' with Automation. Inappropriate Feedback and Interaction, not 'Over-Automation'. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 327 (1241), 585-593.
- OICA. (2015). *Recommended OICA Worldwide Distraction Guideline Policy Position*. : Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles.
- Onken, R. & Schulte, A. (2010). *System-Ergonomic Design of Cognitive Automation* (Bd. 235). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Othersen, I. (2016). *Vom Fahrer zum Denker und Teilzeitlenker*. Dissertation. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-15087-7>

- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1997 (2), 230-253.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30 (3), 286-297.
- Payre, W., Cestac, J. & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 252-263.
- Petermann, I. & Kiss, M. (2009). Die Rolle des Fahrers im Spektrum von Automation und Transition. Nutzerzentrierte Gestaltung von Übergabe- und Übernahmeprozessen zwischen Fahrer und drei aufeinander aufbauenden Automationsstufen. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Bd. 2085). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Petermann, I. & Schlag, B. (2010). Auswirkungen der Synthese von Assistenz und Automation auf das Fahrer-Fahrzeug-System. In ITS Niedersachsen (Hrsg.), *AAET 2010 – Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (S. 383-403).
- Petermann-Stock, I. (2015). *Automation und Transition im Kraftfahrzeug. Nutzerzentrierte Gestaltung von Übergabe- und Übernahmesituationen innerhalb eines mehrstufigen Automationsansatzes*. Dissertation, TU Braunschweig. Braunschweig.
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T. & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer automatisierten Staufahrt. In TÜV (Hrsg.), *6. Tagung Fahrerassistenz. Der Weg zum automatisierten Fahren*.
- Poitschke, T. (2011). *Blickbasierte Mensch-Maschine Interaktion im Automobil*. Dissertation, TU München. München.
- Radlmayr, J., Gold, C., Lorenz, L., Farid, M. & Bengler, K. (2014). How Traffic Situations and Non-Driving Related Tasks Affect the Take-Over Quality in Highly Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58 (1), 2063-2067.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014a). *G*Power Ergänzungen. Kapitel 7: Varianzanalyse mit Messwiederholung*. Quantitative Methoden 2.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014b). *Quantitative Methoden 2* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13* (3), 257-266.

- Reichart, G. & Haller, R. (1995). Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr. *Mensch Fahrzeug Umwelt* (33), 199-215.
- Reif, K. (2010). *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme* (Bosch Fachinformation Automobil). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9717-6>
- Robert Bosch GmbH (Hrsg.). (2012). *Fahrerassistenzsysteme - Wie viel Unterstützung wünschen deutsche Autofahrer?*
- Rummel, B. & Ruegenhagen, E. (2013). *Fragebogen zur Systemgebrauchstauglichkeit. System Usability Scale (Translation into German)*. Zugriff am 07.04.2016. Verfügbar unter <https://experience.sap.com/skillup/system-usability-scale-jetzt-auch-auf-deutsch/>
- Rupp, J. D. & King, A. G. (2010). Autonomous Driving - A Practical Roadmap. In *SAE Convergence 2010* (SAE Technical Paper Series). SAE International.
- SAE, J3016 (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*.
- SAE, J3016 (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*.
- Saffarian, M., Winter, J. C. F. de & Happee, R. (2012). Automated Driving: Human-Factors Issues and Design Solutions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56 (1), 2296-2300.
- Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. et al. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (3), 490-500.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1995). How in the World Did We Get into That Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control. *Human Factors*, 37 (1), 5-19.
- Sarter, N. B., Woods, D. D. & Billings, C. E. (1997). Automation surprises. *Handbook of human factors an ergonomics*, 2, 1926-1943.
- Save, L. & Feuerberg, B. (2012). Designing human-automation interaction: a new level of automation taxonomy. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey et al. (Hrsg.), *HumanFactors: a view from an integrative perspective. Proceedings HFES Europe ChapterConference Toulouse 2012* .
- Schade, J. (1999). Individuelle Akzeptanz von Straßenbenutzungsentgelten. In B. Schlag (Hrsg.), *Empirische Verkehrspsychologie* (S. 227-244). Lengerich: Pabst Science Publ.
- Schade, J. (2005). *Akzeptanz von Straßenbenutzungsgebühren: Entwicklung und Überprüfung eines Modells*. Dissertation, TU Dresden. Dresden.

- Schäfer, M. & Keppler, D. (2013). *Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen*. Discussion Paper, TU Berlin. Berlin. Verfügbar unter http://www.tu-berlin.de/ztg/menue/publikationen/discussion_papers/
- Schieben, A., Damböck, D., Kelsch, J., Rausch, H. & Flemisch, F. (2008). Haptisches Feedback im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation. In *3. Tagung "Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz"*.
- Schieben, A., Flemisch, F., Schömig, N., Kaussner, A. & Petermann, I. (2011). *HAVEit Deliverable D33.6. Validation of concept on optimum task repartition*. Zugriff am 13.01.2016. Verfügbar unter http://www.haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit_212154_D33.6_Public.pdf
- Schieben, A., Heesen, M., Schindler, J., Kelsch, J. & Flemisch, F. (2009). The theater-system technique: Agile designing and testing of system behavior and interaction, applied to highly automated vehicles. In A. Schmidt (Hrsg.), *Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York, NY: ACM.
- Schindhelm, R., Gelau, C., Keinath, A., Bengler, K., Kussmann, H., Kompfner, P. et al. (2004). *aide Deliverable D 4.3.1. Report on the review of the available guidelines and standards*.
- Schlick, C. M., Bruder, R. & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schmid, M. & Maier, T. (2012). Ergonomie versus Ästhetik? Die funktionale und formale Integration im Fahrzeugcockpit. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66 (2-3), 129-139.
- Schmidt, A. (2014). *Interaktion mit höher automatisierten Fahrzeugen. Gestaltung und Akzeptanz der Mensch-Maschine-Schnittstelle*. Masterarbeit, TU München. München.
- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A. & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident; analysis and prevention*, 41 (5), 1087-1093.
- Schmidtke, H. (1993a). Belastung und Beanspruchung. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. Aufl., S. 110-174). München: Hanser Verlag.
- Schmidtke, H. (Hrsg.). (1993b). *Ergonomie* (3. Aufl.). München: Hanser Verlag.
- Schoettle, B. & Sivak, M. (2014). *Public Opinion about Self-Driving Vehicles in China, India, Japan, the US, the UK and Australia* (UMTRI-2014-30). Michigan: UMTRI.

- Schreiber, M. (2011). *Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten*. Dissertation, TU Darmstadt. Darmstadt.
- Schulte, A., Meitinger, C. & Onken, R. (2009). Human factors in the guidance of uninhabited vehicles: Oxymoron or tautology? The potential of cognitive and cooperative automation. *Cognition, Technology & Work*, 11 (1), 71-86.
- Shen, W. & Parsons, K. C. (1997). Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20 (6), 441-461.
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2005). Human-Automation Interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 1 (1), 89-129.
- Sheridan, T. B., van Cott, H. P., Woods, D. D., Pew, R. W. & Hancock, P. A. (1998). Allocating Functions Rationally between Humans and Machines. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 6 (3), 20-25.
- Sheridan, T. B. & Verplank, W. L. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. : MIT.
- Sommer, K. (2013). *Continental Mobilitätsstudie 2013* (Continental AG, Hrsg.). : Continental AG. Verfügbar unter http://www.continental-corporation.com/www/download/presseportal_com_de/allgemein/automatisiertes_fahren_de/ov_mobilitaetsstudie_2013/download_channel/praes_mobilitaetsstudie_de.pdf
- Spoelder, E. & Abel, H. (2013). Die Evolution der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Richtung automatisiertes Fahren. Das HMI als Vertrauen bildende Maßnahme für den Fahrer. In VDI Verlag GmbH (Hrsg.), *7. VDI-Tagung. Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Fahrer, Fahrunterstützung und Bedienbarkeit*. VDI-Berichte 2205 (S. 325-341). Düsseldorf.
- Spring, P. A. (2011). *Levels of Train Automation: Classification and Determining their Impact on Driver Mental Workload and Vigilance Task Performance*. PhD Thesis, The University of New South Wales.
- Stern, J. & Schlag, B. (1999). Akzeptanz verkehrssicherheitsfördernder Maßnahmen bei jungen Fahrern. In B. Schlag (Hrsg.), *Empirische Verkehrspsychologie* (S. 246-265). Lengerich: Pabst Science Publ.
- Stiller, C. (2005). Fahrerassistenzsysteme - Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 1-20). Berlin: Springer.

- Stutts, J., Feagans, J., Rodgman, E., Hamlett, C., Meadows, T., Reinfurt, D. et al. (2003). *Distractions In Everyday Driving*.
- Tacke, T. (2012). *Automatisch ins Parkhaus*, AUDI AG. Zugriff am 03.05.2017. Verfügbar unter <http://blog.audi.de/2012/09/21/automatisch-ins-parkhaus/>
- Taylor, R. M. (1990). Situational Awareness Rating Technique (SART): The developement of a tool for aircrew systems design. In *Situational Awareness in Aerospace Operations* (AGARD Conference Proceedings, Bd. 478, 3-1 - 3–17).
- Tennant, C., Howard, S., Franks, B., Bauer, M. & Stares, S. (2016). *Think Good Mobility. Autonomous Vehicles - Negotiating a place on the road*. A Study on how drivers feel about interacting with Autonomous Vehicles on the road. : London School of Economics and Political Science Department of Psychological and Behavioural Science.
- Tönnis, M., Broy, V. & Klinker, G. (2006). A Survey of Challenges Related to the Design of 3D User Interfaces for Car Drivers. In *Proceedings of the 1st IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3D UI)* (S. 127-134). Zugriff am 24.02.2016. Verfügbar unter <http://campar.in.tum.de/Main/ToennisDissPapers>
- Trübswetter, N. M. (2015). *Akzeptanzkriterien und Nutzungsbarrieren älterer Autofahrer im Umgang mit Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Technische Universität München. München. Zugriff am 10.03.2016. Verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20151210-1254265-1-3>
- U.S. Department of Transportation; NHTSA. (2016). *Federal Automated Vehicles Policy*.
- United Nations - Economic Commission for Europe. (2011). *ECE/TRANS/WP.29/2011/90. Guidelines on establishing requirements for high-priority warning signals*. Zugriff am 26.02.2016. Verfügbar unter <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29/ECE-TRANS-WP29-2011-90e.pdf>
- United Nations - Economic Commission for Europe. (2014). *ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.3. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3)*. Zugriff am 26.02.2016. Verfügbar unter <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-78-r3e.pdf>
- Van Arem, B. (2012). A Strategic Approach to Intelligent Functions in Vehicles. In A. Eskandarian (Hrsg.), *Handbook of Intelligent Vehicles* (S. 17-29). London: Springer London.
- VDA. (2015). *Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren*. : Verband der Automobilindustrie e.V.

- VDI Richtlinie, 4006 Blatt 1 (2002). *Menschliche Zuverlässigkeit Ergonomische Forderungen und Methoden der Bewertung*. Berlin: Beuth Verlag.
- Voigt, K.-I. (Springer Gabler Verlag, Hrsg.). (2016). *Gabler Wirtschaftslexikon. Stichwort Automatisierung*. Zugriff am 06.02.2016. Verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72569/automatisierung-v7.html>
- Vollrath, M., Schießl, C., Altmüller, T., Dambier, M. & Kornblum, C. (2005). Erkennung von Fahrmanövern als Indikator für die Belastung des Fahrers. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Bd. 1919, S. 103-112). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Wachenfeld, W. & Winner, H. (2015). Die Freigabe des autonomen Fahrens. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 439-464). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Waldmann, K.-H. & Stocker, U. M. (2013). Markov-Ketten. In K.-H. Waldmann & U. M. Stocker (Hrsg.), *Stochastische Modelle* (S. 9-57). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wallentowitz, H. & Reif, K. (2006). *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik* (1. Aufl.). s.l.: Vieweg.
- Wandke, H., Wetzenstein, E. & Polkehn, K. (2005). Handlungsbezogene Elementarbausteine für Fahrerassistenzsysteme. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (VDI-Berichte, Bd. 1919, S. 41-62). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Waymo (Hrsg.). (2017). *Journey*. Zugriff am 03.05.2017. Verfügbar unter <https://waymo.com/journey>
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3. ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Wickens, C. D., Mavor, A. S., Parasuraman, R. & McGee, j. P. (1998). *The future of air traffic control. Human operators and automation*. Washington, D.C: National Academy Press.
- Wiener, E. L. (1989). *Human factors of Advanced Technology ("Glass Cockpit") Transport Aircraft* (NASA Contractor Report, Bd. 177528). Moffett Field, Calif.: National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center.
- Wiener, E. L. & Curry, R. E. (1980). Flight deck automation. Promises and problems. *Ergonomics*, 1980 (10), 995-1011.
- Wimmer, M. (2014). *Entwicklung und Erprobung von Mensch-Maschine-Systemen zur automatisierten Fahrzeugführung*. Dissertation, Universität der Bundeswehr. München.
- Wimmer, M., Siedersberger, K.-H., Meurle, J. & Färber, B. (2012). Evaluierung des Fahrerüberwachungs- und Interaktionskonzepts "Potentialtrigger" für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme. In *28. VDI-VW-Gemeinschaftstagung Fahrerass-*

- sistenz und Integrierte Sicherheit. Wolfsburg 10. und 11. Oktober 2012* (VDI-Berichte, Bd. 2166). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Winkle, T. (2015). Sicherheitspotenzial automatisierter Fahrzeuge: Erkenntnisse aus der Unfallforschung. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 351-376). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Winner, H. (2015). Quo vadis, FAS? In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage, S. 1167-1186). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Winner, H., Hakuli, S. & Bruder, R. (2006). Conduct-by-Wire - Ein neues Paradigma für die Weiterentwicklung der Fahrerassistenz. In UniDAS (Hrsg.), *Workshop Fahrerassistenzsysteme 2006* (S. 112-124).
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. & Singer, C. (Hrsg.). (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3.Auflage). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Winner, H. & Wachenfeld, W. (2015). Auswirkungen des autonomen Fahrens auf das Fahrzeugkonzept. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 265-285). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Winter, J. C. F. de & Dodou, D. (2014). Why the Fitts list has persisted throughout the history of function allocation. *Cognition, Technology & Work*, 16 (1), 1-11.
- Winter, J. C. F. de, van Leuween, P. & Happee, R. (2012). Advantages and Disadvantages of Driving Simulators: A Discussion. In A. Spink, F. Grieco, O. Krips, L. Loijens, L. Noldus & P. Zimmermann (Hrsg.), *Proceedings of Measuring Behaviour 2012* (S. 47-50).
- Wolf, H., Zöllner, R. & Bubb, H. (2005). Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 51 (3), 119-124.
- Wulf, F., Rimini-Döring, M., Arnon, M. & Gauterin, F. (2015). Recommendations Supporting Situation Awareness in Partially Automated Driver Assistance Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16 (4), 2290-2296.
- Wulf, F., Zeeb, K., Rimini-Döring, M., Arnon, M. & Gauterin, F. (2013). Effects of human-machine interaction mechanisms on situation awareness in partly automated driving. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - (ITSC 2013)* (S. 2012-2019).
- Young, M. S. & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 178-194.
- Zeeb, K., Buchner, A. & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident; analysis and prevention*, 78, 212-221.

Zijlstra, F. (1993). *Efficiency in work behaviour. A design approach for modern tools.*
Dissertation, TU Delft. Delft.

Anhang A

A.1 Grundlagen

A.1.1 Definition Automationsgrade

Tabelle A–1: Automationsstufen aus Gasser (2012)

Nomenklatur	Beschreibung Automatisierungsgrad und Erwartung des Fahrers	Beispielhafte Systemausprägung
<i>Driver Only</i>	Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen/ Verzögern) und die Querverführung (Lenken) aus.	Kein in die Längs- oder Querverführung eingreifendes (Fahrerassistenz-) System aktiv
<i>Assistiert</i>	<p>Fahrer führt dauerhaft <u>entweder</u> die Quer- <u>oder</u> die Längsführung aus.</p> <p>Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System <u>dauerhaft</u> überwachen. • Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein. 	<p><i>Adaptive Cruise Control:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Längsführung mit adaptiver Abstands- und Geschwindigkeitsregelung <p><i>Parkassistent:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Querverführung durch Parkassistent (Automatisches Lenken in Parklücken. Der Fahrer steuert die Längsführung.)
<i>Teil-automatisiert</i>	<p>Das System übernimmt Quer- <u>und</u> Längsführung (für eine gewisse Zeit und/oder in spezifischen Situationen).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System <u>dauerhaft</u> überwachen. • Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein. 	<p><i>Autobahnassistent:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Längs- und Querverführung • Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze • Fahrer muss dauerhaft überwachen und bei Übernahmeaufforderung sofort reagieren
<i>Hoch-automatisiert</i>	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dabei <u>nicht</u> dauerhaft überwachen. • Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert. • Systemgrenzen werden alle vom System erkannt (z.T. vom System abgefangen, z.T. muss der Fahrer übernehmen). • Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeiführen. 	<p><i>Autobahn-Chauffeur:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Längs- und Querverführung • Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze • Fahrer muss nicht dauerhaft überwachen und nach Übernahmeaufforderung mit gewisser Zeitreserve reagieren
<i>Voll-automatisiert</i>	<p>Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Fahrer muss das System dabei <u>nicht</u> überwachen. • Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf. • Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt. • Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen. 	<p><i>Autobahn-Pilot:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Längs- und Querverführung • Auf Autobahnen bis zu einer oberen Geschwindigkeitsgrenze • Fahrer muss nicht überwachen • Reagiert der Fahrer nicht auf eine Übernahmeaufforderung, so bremst das Fahrzeug in den Stillstand herunter.

A.1.2 Nutzerperspektive auf automatisiertes Fahren

Tabelle A–2: Top- Nennungen der Vorbehalte (in Prozent oder Rang)

	Tennant et al. (2016)	Deloitte (2016)	ADAC Markt- und Meinungsforschung (2016)	AutoScout24 GmbH (2011, 2012, 2013, 2015)	Lang et al. (2016)	Fuß (2013)	Sommer (2013) (Wert für D)	Schoettle und Sivak (2014)
Sicherheit der Fahrfunktion	73%	66%	16%				48%	
Fehlfunktionen/ Zuverlässigkeit		90%	11%	1	50%	44%		1
Fehlendes Vertrauen in Verhalten/ Entscheidungen	60%				43%			4
Datensicherheit		50%	53%		23%			3
Fehlende Kontrolle/ Technikabhängigkeit			50%		45%			
Fehlender Fahrspaß			7%	2	30%	58%		
Rechtsslage u. Haftungsfragen						46%		2

Tabelle A–3: Top- Nennungen der wahrgenommenen Vorteile (in Prozent oder Rang)

	Tennant et al. (2016)	Deloitte (2016)	ADAC Markt- und Meinungsforschung (2016)	Lang et al. (2016)	Fuß (2013)	Sommer (2013) (Wert für D)	Schoettle und Sivak (2014)
Verbesserter Verkehrsfluss			42%	31%	54%		4
Erhöhte Verkehrssicherheit	37%		42%	31%	48%		
Weniger Unfälle/ reduzierte Unfallschwere	43%						1
Verbrauchs-/ Emissionsreduktion				31%	40%		2
Mehr Komfort		60%	45%		32%		
Zeit für fahrfremde Tätigkeiten		60%	29%	40%	31%	33%	
Entlastung in speziellen Situationen (Parken, Stau,...)				43%			
Mobilität für Ältere, Behinderte, ...			58%				
Niedrigere Versicherungsprämien				25%			3
Neuigkeitswert				36%			

Tabelle A–4: Vorstellbare und gewünschte fahrfremde Tätigkeiten

	Sommer (2013)	Schoettle und Sivak (2014)	Marberger et al. (2015)	Bartl und Rosenzweig (2016)	Deloitte (2016)
Musik/Radio/CD hören	45%		1		
Mit Mitfahrern unterhalten	41%		2		50%
Telefonieren/ Messaging	34%	2	6	1	47%
Lesen	20%	5	14/16		33%
Arbeiten/ Emails lesen oder schreiben	21%	3	10		29%
Internet (Information, Zeitvertreib, Shopping, Spielen,...)	23% 18%		11/12	1	42% 12%
Nichts tun	2%				
Das Verkehrsgeschehen beobachten		1			
Die Umgebung anschauen			3		
Schlafen		4	13	4	22%
TV/Video schauen		6	16	2	33%
Fahrzeugeigene Geräte bedienen (Radio, Navi, Einstellungen,...)			4 / 8		
Trinken			5	3	34%
Essen			7	5	34%
Etwas im Fahrzeug suchen/holen			9		
Befriedigung persönlicher Bedürfnisse (Rauchen, Schminken, Fitness,...)			15		9%
Videotelefonie			17		

A.2 Existierende Guidelines

Tabelle A–5: Grundsätze des European Statement of Principles (Europäische Kommission, 2008)

<i>Grundsätze für das Gesamtdesign</i>	
	Das System ist so zu gestalten, dass es den Fahrer unterstützt und nicht zu einem potenziell gefährdenden Verhalten des Fahrers oder anderer Verkehrsteilnehmer Anlass gibt.
	Die Aufteilung der Aufmerksamkeit des Fahrers während der Interaktion mit Anzeigen und Bedienteilen des Systems bleibt mit dem in der jeweiligen Verkehrssituation gegebenen Aufmerksamkeitsbedarf vereinbar.
	Das System lenkt nicht ab und dient nicht zur visuellen Unterhaltung des Fahrers.
	Das System zeigt dem Fahrer keine Informationen an, die ein möglicherweise gefährliches Verhalten für den Fahrer oder andere Verkehrsteilnehmer zur Folge haben könnten.
	Schnittstellen und Schnittstellen mit Systemen, die zur gleichzeitigen Nutzung durch den Fahrer während der Fahrt vorgesehen sind, müssen einheitlich und kompatibel gestaltet sein.
<i>Grundsätze für die Installation</i>	
	Die Systeme sollten unter Berücksichtigung der maßgeblichen Rechtsvorschriften, Normen und Einbauanleitungen der Hersteller platziert und sicher montiert werden.
	Keiner der Bestandteile des Systems sollte die Sicht des Fahrers auf das Verkehrsgeschehen behindern.
	Das System sollte Anzeigen sowie den Zugang zu Bedienteilen nicht behindern, die für das Führen des Fahrzeugs – die primäre Aufgabe des Fahrers – benötigt werden.
	Optische Anzeigen sollten so nahe wie machbar oder praktikabel an der normalen Sichtlinie des Fahrers positioniert werden.
	Optische Anzeigen sollten so entwickelt und eingebaut werden, dass sie nicht blenden und reflektieren.
<i>Grundsätze für die Darstellung von Informationen</i>	
	Die von einem System zu einem beliebigen Zeitpunkt optisch angezeigten Informationen sollten so gestaltet werden, dass der Fahrer die betreffenden Informationen mit wenigen Blicken erfassen kann, die kurz genug sein müssen, um das Fahrverhalten nicht zu beeinträchtigen.
	International und/oder national vereinbarte Normen zu Lesbarkeit und Hörbarkeit, Symbolen, Begriffen, Akronymen und/oder Abkürzungen sollten berücksichtigt werden.
	Für das Führen des Fahrzeugs maßgebliche Informationen sollten genau sein und rechtzeitig angezeigt werden.
	Informationen mit höherer Sicherheitsrelevanz sollte höhere Priorität beigemessen werden.
	Vom System erzeugte Töne oder Geräusche, deren Lautstärke vom Fahrer nicht gesteuert werden kann, sollten akustische Warnsignale innerhalb oder außer halb des Fahrzeugs nicht überlagern.
<i>Schnittstellen mit Anzeigen und Bedienteilen</i>	
	Der Fahrer sollte immer in der Lage sein, mindestens eine Hand am Lenkrad zu belassen, während er mit dem System in Interaktion tritt.
	Das System sollte keine lange andauernden und nicht zu unterbrechenden Ein-/Ausgabefolgen [erfordern]; ununterbrochene Ein-/Ausgabefolgen sind nur über kurze Zeitspannen möglich.
	Der Fahrer sollte eine unterbrochene Ein-/Ausgabefolge mit dem System an der Stelle fortsetzen können, an der die Ein-/Ausgabefolge zuvor unterbrochen wurde, oder an einer anderen logisch denkbaren Stelle wieder aufnehmen können.

	Der Fahrer sollte das Tempo der Ein-/Ausgabefolgen mit dem System selbst bestimmen können. Insbesondere sollte das System den Fahrer nicht veranlassen, Eingaben unter Zeitdruck vorzunehmen.
	Die Bedienteile des Systems sollten so gestaltet werden, dass sie ohne Beeinträchtigung der für das Führen des Fahrzeugs erforderlichen primären Bedienteile verwendet werden können.
	Der Fahrer sollte die Lautstärke auditiver Informationen steuern können, wenn diese eine Ablenkung bedeuten können.
	Die Reaktionen des Systems (Rückmeldungen, Bestätigungen usw.) nach Fahrereingaben sollten zeitnah und deutlich wahrnehmbar erfolgen.
	Systeme, die keine sicherheitserheblichen visuellen Informationen ausgeben, sollten in eine Betriebsart geschaltet werden können, in der der Fahrer nicht mit den betreffenden Informationen konfrontiert wird.
Grundsätze für das Systemverhalten	
	Während sich das Fahrzeug in Bewegung befindet, sollten für das Führen des Fahrzeugs nicht erhebliche Informationen, die den Fahrer erheblich ablenken könnten, automatisch ausgeschaltet oder so ausgegeben werden, dass der Fahrer sie nicht sieht.
	Das Systemverhalten sollte keine Anzeigen bzw. Bedienteile stören, die für das Führen des Fahrzeugs benötigt werden oder für die Sicherheit des Straßenverkehrs von Bedeutung sind.
	Die Interaktion mit Systemfunktionen, die nicht zur Nutzung durch den Fahrer während der Fahrt vorgesehen sind, sollte unmöglich gemacht werden, solange sich das Fahrzeug in Bewegung befindet; wenn dies nicht möglich ist, sollte zumindest in unmissverständlicher Weise vor entsprechenden nicht erwünschten Interaktionen gewarnt werden.
	Dem Fahrer sollen Informationen zum aktuellen Status sowie zu sämtlichen Systemstörungen angezeigt werden, die sicherheitsrelevante Auswirkungen haben könnten.
Informationen zum System	
	Das System sollte dem Fahrer angemessene Anleitungen zur Nutzung und zu maßgeblichen Aspekten des Einbaus und der Wartung des Systems bieten
	Bedienungsanleitungen sollten zutreffend und einfach sein.
	Systembezogene Anleitungen sollten in Sprachen vorliegen und in einer Form gestaltet sein, in denen bzw. in der sie von der vorgesehenen Fahrerzielgruppe verstanden werden.
	Die Anleitungen sollten eindeutig Auskunft darüber geben, welche Systemfunktionen vom Fahrer während der Fahrt genutzt werden dürfen und bei welchen Systemfunktionen eine Nutzung durch den Fahrer während der Fahrt nicht vorgesehen ist.
	Produktinformationen sollten so gestaltet sein, dass sie die Systemfunktionen genau beschreiben.
	Aus Produktinformationen sollte eindeutig hervorgehen, ob die vom Hersteller vorgesehene Nutzung eines Produktes besondere Kompetenzen voraussetzt oder ob das Produkt für bestimmte Benutzer ungeeignet ist.
	Darstellungen zur Nutzung des Systems (z.B. Beschreibungen, Fotos und Skizzen) sollten weder unrealistische Erwartungen bei potenziellen Nutzern begründen, noch zu einer Nutzung Anlass geben, von der eine Gefährdung ausgehen kann.

Tabelle A–6: Recommendations on Safe Use (RSU) aus Europäische Kommission (2008)

Empfehlungen für die sichere Nutzung	
	Die Arbeitgeber sollten sicherstellen, dass alle bordeigenen Informations- und Kommunikationssysteme unter Berücksichtigung der Herstelleranleitungen genutzt werden.
	Die vorgegebenen Verfahrensweisen und Anreizpläne der Arbeitgeber sollten keine Ursache und keinen Anlass für eine missbräuchliche Nutzung der Systeme darstellen. Es sollte eindeutig zwischen Systemen und Funktionen unterschieden werden, die (vom Arbeitgeber) für die Nutzung während der Fahrt vorgesehen sind, und Systemen, bei denen eine Nutzung während der Fahrt nicht erwünscht ist.
	Bei allen bordeigenen Systemen, bei denen die Arbeitgeber fordern, dass die Arbeitnehmer diese Systeme während der Fahrt nutzen, sollte eine angemessene Schulung erfolgen. Die Arbeitgeber sollten sicherstellen, dass die Arbeitnehmer die Systeme nutzen können, ohne sich oder andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden.
	Die Arbeitgeber sollten sicherstellen, dass in allen mit einem entsprechenden System ausgerüsteten Fahrzeugen ein Exemplar der Bedienungsanleitung des Herstellers verfügbar ist.
	Verkaufsfördernde Maßnahmen am Verkaufsort (z.B. Werbung) sollten nicht zu einer unsicheren Nutzung veranlassen.
	Die am Verkaufsort verfügbaren Informationen sollten die Käufer von Fahrzeugen über sicherheitsrelevante Aspekte in Verbindung mit bordeigenen Informationssystemen aufklären.
	Mietwagenfirmen sollten sicherstellen, dass sämtliche Informations- und Kommunikationssysteme gemäß den Herstelleranweisungen gewartet werden.
	Mietwagenfirmen sollten sicherstellen, dass in allen entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugen ein Exemplar der Benutzerinformationen des Herstellers verfügbar ist.
	Die Mitarbeiter der Mietwagenfirma sollten angemessene Kenntnisse über die bordeigenen Informationssysteme in den von ihnen zur Verfügung gestellten Fahrzeugen besitzen und Hinweise zur sicheren Nutzung der Systeme geben.

A.3 Studie 1

A.3.1 Anzeigen



Abbildung A-1: Anzeige im Head-Up-Display



Abbildung A-2: Systemzustände im Kombidisplay

A.3.2 Versuchsmaterialien

Tabelle A–7: A priori Stichprobengrößenberechnung mittels G*Power

F tests - ANOVA: Repeated measures, within factors			
Analysis:		A priori: Compute required sample size	
Input:		Output:	
Effect size f	0.25	Noncentrality parameter λ	12.0000000
α err prob	0.05	Critical F	2.7374923
Power (1- β err prob)	0.8	Numerator df	3.0000000
Number of groups	1	Denominator df	69.0000000
Number of measurements	4	Total sample size	24
Corr among rep measures	0.5	Actual power	0.8168415
Nonsphericity correction ϵ	1		
Input:		Output:	
Effect size f	0.25	Noncentrality parameter λ	11.4285714
α err prob	0.05	Critical F	2.7025090
Power (1- β err prob)	0.8	Numerator df	3.0000000
Number of groups	1	Denominator df	93.0000000
Number of measurements	4	Total sample size	32
Corr among rep measures	0.3	Actual power	0.8021958
Nonsphericity correction ϵ	1		

Tabelle A–8: Auffahrtspunkte des Vorderfahrzeugs

	Auffahrt 1		Auffahrt 2	
Konzept A	3. Runde	6. Runde	1. Runde	4. Runde
Konzept B	1. Runde	4. Runde	2. Runde	5. Runde
Konzept C	1. Runde	4. Runde	2. Runde	5. Runde
Konzept D	3. Runde	6. Runde	1. Runde	4. Runde

Tabelle A–9: Permutationsplan und Zuordnung zu Probanden Studie 1

VP	1	2	3	4	VP	1	2	3	4
1	A	B	D	C	20	D	A	C	B
2	A	B	C	D	21	D	B	A	C
3	A	C	B	D	22	D	C	A	B
4	A	D	C	B	23	D	C	B	A
5	A	C	D	B	24	A	B	C	D
6	A	D	C	B	25	A	D	B	C
(7	A	D	B	C)	26	B	C	A	D
8	B	A	C	D	27	C	B	A	D
9	B	D	A	C	28	C	B	D	A
10	B	D	C	A	29	D	A	B	C
11	B	A	D	C	30	D	C	B	A
12	B	C	A	D	31	C	A	D	B
13	C	A	B	D	32	D	A	C	B
14	D	A	B	C	33	A	D	C	B
15	D	B	C	A	34	B	C	D	A
16	C	D	B	A	35	A	C	B	D
17	C	D	A	B	36	B	C	D	A
18	C	B	D	A	37	D	B	C	A
19	C	B	A	D					



Attraktivität der Interaktionsart

Bitte beurteilen Sie die Interaktionsart des Systems mithilfe nachfolgender Adjektivpaare. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinne, also „gefühlsmäßig“ zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan die Position zwischen den Wortpaaren, die Ihrer Meinung nach die Interaktionsart am besten beschreibt.

Überlegen Sie nicht, sondern antworten Sie aus dem Bauch heraus. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

Ich finde die Interaktionsart:	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
anregend																				
dynamisch																				
müde																				
stark																				
aktiv																				
schnell																				
unangenehm																				
effektiv																				
erstrebenswert																				
kontrollierbar																				
gut																				
ideenlos																				
langweilig																				
nützlich																				
unbequem																				
kühl																				
wichtig																				
gefährlich																				
erfreulich																				

Nutzung von Informationsquellen

Wie häufig blicken Sie während der Fahrt auf folgende Informationsquellen?

Seitenpiegel	<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"/>	<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"/>	
	nie	selten	gelegentlich	oft	immer																					
Rückspiegel	<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"/>	<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"/>
	nie	selten	gelegentlich	oft	immer																					
Frontscheibe (StraÙe)	<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"/>	<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"/>
	nie	selten	gelegentlich	oft	immer																					
Tachometer	<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"/>	<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"/>
	nie	selten	gelegentlich	oft	immer																					
ACC-Statusanzeige	System vorhanden?		<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"/>	<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"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein																						
Fahrbahnmarkierung bei AALA	System vorhanden?		<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"/>	<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"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein																						
Totwinkelerkennung im Seitenpiegel	System vorhanden?		<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"/>	<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"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein																						



Ihre Einstellung zu Technik

Wie sehr treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?

Überlegen Sie nicht, sondern antworten Sie aus dem Bauch heraus. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Ich kann ziemlich viele der technischen Probleme, mit denen ich konfrontiert bin, alleine lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte sind oft undurchschaubar und schwer zu beherrschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es macht mir richtig Spaß, ein technisches Problem zu knacken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit bisherigen technischen Problemen gut zurecht gekommen bin, blicke ich auch künftigen optimistisch entgegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich technischen Problemen gegenüber so hilflos, dass ich lieber die Finger von ihnen lasse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch wenn Widerstände auftreten, bearbeite ich ein technisches Problem weiter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich ein technisches Problem löse, so geschieht das meistens durch Glück.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die meisten technischen Probleme sind so kompliziert, dass es wenig Sinn hat, sich mit ihnen auseinander zusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



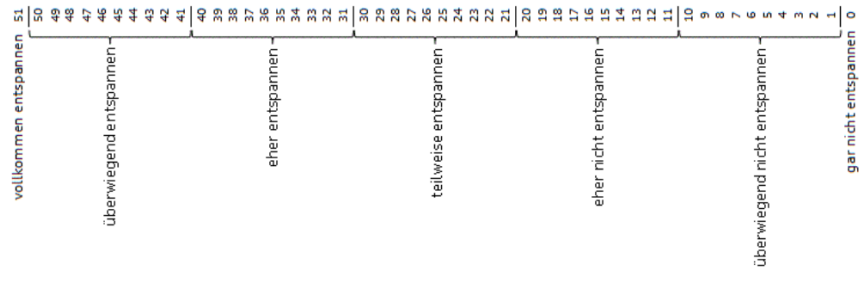
Interaktionskonzept A – Manöverdurchführung am Lenkrad

Interaktionskonzept A – Manöverdurchführung am Lenkrad

Entspannung

Bitte bewerten Sie inwieweit Sie sich bei dieser Interaktionsart entspannen konnten. Sie können zunächst eine Kategorie wählen und innerhalb dieser eine Tendenz angeben. Kreuzen Sie bitte eine Zähl an.

Bei dieser Interaktionsart konnte ich mich...



Eigenschaften der Interaktionsart

Bitte bewerten Sie die verschiedenen Eigenschaften der Interaktionsart des Systems. Überlegen Sie nicht lange. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	trifft absolut nicht zu	trifft eher nicht zu	weder noch	trifft eher zu	trifft absolut zu
Die Interaktionsart fördert die körperliche Entspannung beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Interaktionsart wirkt glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Interaktionsart erhöht den Fahrgenuss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren mit dieser Interaktionsart macht keinen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System (Interaktionsart A) macht mal Fehler.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Erlernen der Bedienung der Interaktionsart ist schwierig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Nutzer kann die Funktionen des Systems (Interaktionsart A) selbst steuern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit dem System (Interaktionsart A) erhöht sich der Komfort des Autofahrens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Bedienen des Systems (Interaktionsart A) kommt man schnell zum gewünschten Ergebnis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Interaktionsart fördert den Stress beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Interaktionsart macht das Autofahren langweilig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dank der Interaktionsart ist man auch noch nach längeren Fahrten entspannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Informationen, die das System (Interaktionsart A) ausgibt, sind für den Nutzer ungenügend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System (Interaktionsart A) ist verlässlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Autofahren mit dem System (Interaktionsart A) belastet den Fahrer zusätzlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vergleich der Interaktionsarten

Welche Interaktionsart hat Ihnen am besten gefallen und wie gerne hätten Sie das System mit den unterschiedlichen Interaktionsarten in Ihrem Auto?
Erstellen Sie ein Ranking (1: beste, 4: schlechteste) der von Ihnen genutzten Interaktionsarten und bewerten Sie.

Interaktionsart A – Manöverdurchführung am Lenkrad	Platz			
Wie gerne hätten Sie das System mit Interaktionsart A in Ihrem Auto? Aus welchem/n Grund/Gründen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr ungern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gern
Grund/Gründe, wenn sehr/eher ungerne:	Grund/Gründe, wenn eher/sehr gern:			
Welche Stärken und Schwächen sehen Sie in Interaktionsart A ?				
Schwächen				
Stärken				

Interaktionsart B – Manöverauftrag	Platz			
Wie gerne hätten Sie das System mit Interaktionsart B in Ihrem Auto? Aus welchem/n Grund/Gründen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr ungern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	sehr gern
Grund/Gründe, wenn sehr/eher ungerne:	Grund/Gründe, wenn eher/sehr gern:			
Welche Stärken und Schwächen sehen Sie in Interaktionsart B ?				
Schwächen				
Stärken				

Interaktionskonzept A – Manöverdurchführung am Lenkrad

Gebrauchstauglichkeit der Interaktionsart

Bitte bewerten Sie die Gebrauchstauglichkeit der Interaktionsart des Systems.
Überlegen Sie nicht lange. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	stimme absolut nicht zu	stimme eher nicht zu	unentschieden	stimme eher zu	stimme absolut zu
Ich denke, dass ich das System mit dieser Interaktionsart gerne häufig benutzen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand diese Interaktionsart unnötig komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand diese Interaktionsart einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System (Interaktionsart A) benutzen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System (Interaktionsart A) waren gut integriert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke, diese Interaktionsart enthielt zu viele Inkonsistenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit dieser Interaktionsart sehr schnell lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand die Interaktionsart sehr umständlich zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich bei der Benutzung des Systems (Interaktionsart A) sehr sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte diese Interaktionsart zu verwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen mich an diese Art der Interaktion zu gewöhnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informationsdarstellung

Wie hilfreich empfanden Sie die Darstellung der folgenden Informationen für die Situationsbewertung der Überholmanöver?
Überlegen Sie nicht lange. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	gar nicht	kaum	mittelmäßig	ziemlich	außerordentlich
Geschwindigkeit Vorderfahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information über aktuelles Manöver	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anzeige der Verkehrszeichen (Geschwindigkeitsbegrenzung, Spuranzeige)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Interaktionskonzept A – Manöverdurchführung am Lenkrad

Gebrauchstauglichkeit der Interaktionsart

Bitte bewerten Sie die Gebrauchstauglichkeit der Interaktionsart des Systems.
Überlegen Sie nicht lange. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	stimme absolut nicht zu	stimme eher nicht zu	unentschieden	stimme eher zu	stimme absolut zu
Ich denke, dass ich das System mit dieser Interaktionsart gerne häufig benutzen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand diese Interaktionsart unnötig komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand diese Interaktionsart einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System (Interaktionsart A) benutzen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System (Interaktionsart A) waren gut integriert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke, diese Interaktionsart enthielt zu viele Inkonsistenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit dieser Interaktionsart sehr schnell lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand die Interaktionsart sehr umständlich zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühlte mich bei der Benutzung des Systems (Interaktionsart A) sehr sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte diese Interaktionsart zu verwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen mich an diese Art der Interaktion zu gewöhnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Informationsdarstellung

Wie hilfreich empfanden Sie die Darstellung der folgenden Informationen für die Situationsbewertung der Überholmanöver?
Überlegen Sie nicht lange. Machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz.

	gar nicht	kaum	mittelmäßig	ziemlich	außerordentlich
Geschwindigkeit Vorderfahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschwindigkeit eigenes Fahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Information über aktuelles Manöver	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anzeige der Verkehrszeichen (Geschwindigkeitsbegrenzung, Spurzanzeige)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A.3.4 Ergebnistabellen

A.3.4.1 Beschreibung des Probandenkollektivs

Tabelle A–10: Demographie und Selbsteinschätzung (alle Probanden)

	MW	SD	Min	Max
Alter [Jahre]	33.05	6.38	25	54
Gesamtkilometer [km]	25964.86	12371.11	2000	50000
Verteilung auf Straßentyp				
Stadt [%]	24.54	15.97	5	80
Land [%]	25.89	16.20	0	60
Autobahn [%]	50.38	21.78	10	90
Beliebtheit Autobahn [sehr ungern 1 - 5 sehr gern]	3.97	0.85	2	5
Schnittgeschwindigkeit [km/h]	149.31	19.97	110	200
Folge Vorderfahrzeug [sehr ungern 1 - 5 sehr gern]	2.22	1.02	1	4
Einhaltung Geschwindigkeitsvorgaben [<- -20km/h 1 - 11 +20km/h ->]	8.68	0.99	7	11
Häufigkeit Spurwechsel [nie 1 - 5 immer]	3.57	0.72	2	5
Häufigkeit rechte(st) Spur [nie 1 - 5 immer]	4.32	0.81	2	5
Fahrstil				
[schnell 1 - 5 langsam]	2.30	0.65	1	3
[ängstlich 1 - 5 mutig]	3.62	0.71	2	5
[offensiv 1 - 5 defensiv]	2.81	0.90	1	5
[vorsichtig 1 - 5 risikobereit]	2.86	0.87	1	4
[sportlich 1 - 5 gemütlich]	2.49	0.92	1	5
Kontrollüberzeugung bezüglich Technik kumulierter Wert [niedrige KUT 5 - 40 hohe KUT]	33.92	3.92	23	40

Tabelle A–11: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug (alle Probanden)

Erfahrung mit technischen Systemen im Kfz	Bekannt [%]	Im eigenen Fzg [%]	Nutzungshäufigkeit			
			MW	SD	Min	Max
ACC	91.9	21.6	4.00	0.82	2	5
AALA	91.9	18.9	2.50	1.12	1	6
PLA	89.2	18.9	1.78	0.97	1	4
STP	67.6	5.4	2.89	1.29	1	4

Tabelle A–12: Nutzung von Informationsquellen (alle Probanden)

Nutzung von Informationsquellen	Nutzungshäufigkeit			
	MW	SD	Min	Max
Seitenspiegel [nie 1 - 5 immer]	3.97	0.49	3	5
Rückspiegel [nie 1 - 5 immer]	4.05	0.57	3	5
Frontscheibe (Straße) [nie 1 - 5 immer]	4.65	0.53	3	5
Tachometer [nie 1 - 5 immer]	3.41	0.68	2	5
ACC-Statusanzeige falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	3.00	0.95	1	5
Fahrbahnmarkierung AALA falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	2.35	0.91	1	4
Totwinkelerkennung falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	3.38	0.90	2	5

Tabelle A–13: Demographie und Selbsteinschätzung (nach Fallausschluss)

	MW	SD	Min	Max
Alter [Jahre]	32.47	5.41	25	46
Gesamtkilometer [km]	25575.00	12315.51	2000	50000
Verteilung auf Straßentyp				
Stadt [%]	23.83	15.60	5	80
Land [%]	25.50	16.25	0	60
Autobahn [%]	51.50	21.00	10	90
Beliebtheit Autobahn [sehr ungern 1 - 5 sehr gern]	4.00	0.85	2	5
Schnittgeschwindigkeit [km/h]	149.29	20.25	110	200
Folge Vorderfahrzeug [sehr ungern 1 - 5 sehr gern]	2.22	1.03	1	4
Einhaltung Geschwindigkeitsvorgaben [<- -20km/h 1 - 11 +20km/h ->]	8.69	0.99	7	11
Häufigkeit Spurwechsel [nie 1 - 5 immer]	3.56	0.72	2	5
Häufigkeit rechte(ste) Spur [nie 1 - 5 immer]	4.31	0.81	2	5
Fahrstil				
[schnell 1 - 5 langsam]	2.28	0.65	1	3
[ängstlich 1 - 5 mutig]	3.61	0.72	2	5
[offensiv 1 - 5 defensiv]	2.83	0.90	1	5
[vorsichtig 1 - 5 risikobereit]	2.83	0.87	1	4
[sportlich 1 - 5 gemächlich]	2.50	0.93	1	5
Kontrollüberzeugung bezüglich Technik kumulierter Wert [niedrige KUT 5 - 40 hohe KUT]	34.03	3.92	23	40

Tabelle A–14: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug (nach Fallabschluss)

Erfahrung mit technischen Sys- temen im Kfz	Bekannt [%]	Im eigenen Fzg [%]	Nutzungshäufigkeit			
			MW	SD	Min	Max
ACC	91.7	22.2	4.00	0.84	2	5
AALA	91.7	19.4	2.41	1.09	1	5
PLA	91.7	19.4	1.82	0.98	1	4
STP	69.4	2.8	2.75	1.30	1	4

Tabelle A–15: Nutzung von Informationsquellen (nach Fallausschluss)

Nutzung von Informationsquellen	Nutzungshäufigkeit			
	MW	SD	Min	Max
Seitenspiegel [nie 1 - 5 immer]	3.94	0.47	3	5
Rückspiegel [nie 1 - 5 immer]	4.03	0.55	3	5
Frontscheibe (Straße) [nie 1 - 5 immer]	4.69	0.46	4	5
Tachometer [nie 1 - 5 immer]	3.42	0.68	2	5
ACC-Statusanzeige falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	2.95	0.94	1	5
Fahrbahnmarkierung AALA falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	2.26	0.85	1	4
Totwinkelerkennung falls vorhanden [nie 1 - 5 immer]	3.40	0.92	2	5

A.3.4.2 Fragebogendaten

Tabelle A–16: Test auf Normalverteilung ($p > .05$)

Shapiro-Wilk-Test Signifikanzen	A	B	C	D
Fahrspaß	$p = .056$	$p = .495$	$p = .138$	$p = .075$
Komfort	$p = .122$	$p = .388$	$p = .102$	$p < .001$
Vertrauen	$p = .001$	$p = .045$	$p = .013$	$p = .014$
Kontrolle	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$
Usability	$p = .243$	$p = .274$	$p = .181$	$p = .259$
SUS	$p = .036$	$p = .011$	$p = .037$	$p = .005$
Entspannung	$p = .259$	$p = .163$	$p = .096$	$p < .001$
Gerne im Fahrzeug	$p = .001$	$p = .003$	$p < .001$	$p < .001$
aktuelles Manöver	$p < .001$	$p = .003$	$p < .001$	$p = .001$
Verkehrszeichen	$p = .002$	$p = .002$	$p = .001$	$p = .001$
Geschwindigkeit Ego-Fzg	$p = .001$	$p = .001$	$p < .001$	$p = .001$
Geschwindigkeit Vorder-Fzg	$p = .001$	$p = .001$	$p = .001$	$p < .001$
Setzgeschwindigkeit	-	-	$p = .002$	$p = .001$
geplantes Manöver	-	-	-	$p = .010$

Tabelle A–17: Tabellierte Werte der Akzeptanzmaße

Gerne im Fahrzeug		$F(3,105) = 15.111, p < .001, \eta_p^2 = .302$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 2.56 SD = 1.297	MW = 3.17 SD = 1.028	MW = 3.67 SD = 1.265	MW = 4.31 SD = 1.064			
Mittelwertdifferenzen	A-B -0.611 p = .109	A-C -1.111 p = .003	A-D -1.750 p < .001	B-C -0.500 p = .222	B-D -1.139 p < .001	C-D -0.639 p = .207	
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 4.714, df = 5, p = .452$						
Rangreihe		$X^2(3, n = 36) = 42.580, p < .001$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 3.44 SD = 0.909	MW = 2.81 SD = 0.749	MW = 2.11 SD = 0.979	MW = 1.56 SD = 0.939			
Wilcoxon- Test	B-A -2.503 p = .012	C-A -3.665 p < .001	D-A -4.690 p < .001	C-B -2.109 p = .002	D-B -4.000 p < .001	D-C -1.720 p = .085	
Anpassung Signifikanzniveau	$p_{krit} = .05/\text{Anzahl Vergleiche} \rightarrow p_{krit} = .008$						

Tabelle A–18: Tabellierte Werte der wahrgenommenen Eigenschaften

Komfort		F(3,105) = 26.152, p < .001, $\eta_p^2 = .428$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 2.861 SD = .912	MW = 3.483 SD = .719	MW = 3.672 SD = .878	MW = 4.267 SD = .799			
Mittelwertdifferenzen	A-B -0.622 p = .002	A-C -0.811 p < .001	A-D -1.406 p < .001	B-C -0.189 p = .824	B-D -0.783 p < .001	C-D -0.594 p = .005	
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 8.850$, df = 5, p = .115						
Systemvertrauen		F(3,105) = 7.963, p < .001, $\eta_p^2 = .185$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 3.167 SD = .886	MW = 3.611 SD = .645	MW = 3.750 SD = .770	MW = 3.917 SD = .702			
Mittelwertdifferenzen	A-B -0.444 p = .072	A-C -0.583 p = .010	A-D -0.750 p = .004	B-C -0.139 p = 1.000	B-D -0.306 p = .135	C-D -0.167 p = 1.000	
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 10.460$, df = 5, p = .063						
Kontrolle		F(3, 105) = 52.228, p < .001, $\eta_p^2 = .599$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 3.81 SD = 1.117	MW = 4.17 SD = 0.845	MW = 4.19 SD = 0.856	MW = 1.67 SD = 0.926			
Mittelwertdifferenzen	A-B -0.361 p = .579	A-C -0.389 p = .713	A-D 2.139 p < .001	B-C -0.028 p = 1.000	B-D 2.500 p < .001	C-D 2.528 p < .001	
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 7.442$, df = 5, p = .190						
Fahrspaß		F(2.313, 80.948) = 2.613, p = .071, $\eta_p^2 = .069$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 2.861 SD = 0.947	MW = 3.222 SD = 0.894	MW = 3.361 SD = 0.830	MW = 3.346 SD = 1.150			
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 16.628$, df = 5, p = .005						
Usability		F(2.308, 80.794) = 4.145, p = .015, $\eta_p^2 = .106$					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 3.465 SD = 0.770	MW = 3.625 SD = 0.540	MW = 3.671 SD = 0.726	MW = 3.897 SD = 0.402			
Mittelwertdifferenzen	A-B -0.160 p = 1.000	A-C -0.206 p = 1.000	A-D -0.432 p = .021	B-C -0.046 p = 1.000	B-D -0.272 p = .037	C-D -0.226 p = .367	
Mauchly- Sphärizitätstest	$X^2 = 15.565$, df = 5, p = .008						

Tabelle A–19: Tabellierte Werte der System Usability Scale (SUS)

SUS		F(2.162, 75.672) = 17.696, p < .001, η_p^2 = .336					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 60.694 SD = 23.434	MW = 74.097 SD = 14.245	MW = 73.333 SD = 17.061	MW = 85.764 SD = 10.754			
Mittelwertdifferenzen	A-B -13.403 p = .001	A-C -12.639 p = .041	A-D -25.069 p < .001	B-C 0.764 p = 1.000	B-D -11.667 p = .001	C-D -12.431 p = .001	
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 18.776$, df = 5, p = .002						

Tabelle A–20: Tabellierte Werte der angegebenen Entspannung

Entspannung		F(2.160, 75.609) = 21.594, p < .001, η_p^2 = .382					
	A	B	C	D			
Mittelwerte	MW = 25.86 SD = 12.095	MW = 32.36 SD = 8.018	MW = 34.83 SD = 9.958	MW = 41.69 SD = 10.687			
Mittelwertdifferenzen	A-B -6.500 p = .015	A-C -8.972 p < .001	A-D -15.833 p < .001	B-C -2.472 p = .408	B-D -9.333 p < .001	C-D -6.681 p = .014	
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 21.352$, df = 5, p = .001						

Tabelle A– 21: Tabellierte Werte der Informationselemente

Geschwindigkeit Vorderfahrzeug		F(2.178, 76.219) = .883, p = .453, $\eta_p^2 = .025$				
	A	B	C	D		
Mittelwerte	MW = 2.67 SD = 1.242	MW = 2.78 SD = 1.312	MW = 2.81 SD = 1.411	MW = 2.53 SD = 1.341		
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 18.741$, df = 5, p = .002					
Geschwindigkeit Egofahrzeug		F(3, 105) = .760, p = .519, $\eta_p^2 = .021$				
	A	B	C	D		
Mittelwerte	MW = 3.25 SD = 1.228	MW = 3.33 SD = 1.195	MW = 3.22 SD = 1.396	MW = 3.03 SD = 1.276		
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 3.971$, df = 5, p = .554					
aktuelles Manöver		F(3, 105) = 15.345, p < .001, $\eta_p^2 = .305$				
	A	B	C	D		
Mittelwerte	MW = 2.33 SD = 1.414	MW = 3.50 SD = 1.056	MW = 3.94 SD = 1.170	MW = 3.11 SD = 1.410		
Mittelwertdifferenzen	A-B -1.167 p = .001	A-C -1.611 p < .001	A-D -0.778 p = .032	B-C -0.444 p = .222	B-D 0.389 p = .798	C-D 0.833 p = .008
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 3.238$, df = 5, p = .663					
Verkehrszeichen		F(3, 105) = 1.991, p = .120, $\eta_p^2 = .054$				
	A	B	C	D		
Mittelwerte	MW = 2.58 SD = 1.180	MW = 2.94 SD = 1.068	MW = 2.61 SD = 1.225	MW = 2.50 SD = 1.254		
Mauchly- Sphärizitätstest	$\chi^2 = 3.911$, df = 5, p = .562					
Setzgeschwindigkeit		t(35) = .863, p = .394				
	A	B	C	D		
Mittelwerte			MW = 2.67 SD = 1.242	MW = 2.50 SD = 1.298		
geplantes Manöver						
	A	B	C	D		
Mittelwerte				MW = 2.78 SD = 1.476		

A.4 Studie 2

A.4.1 Anzeigen

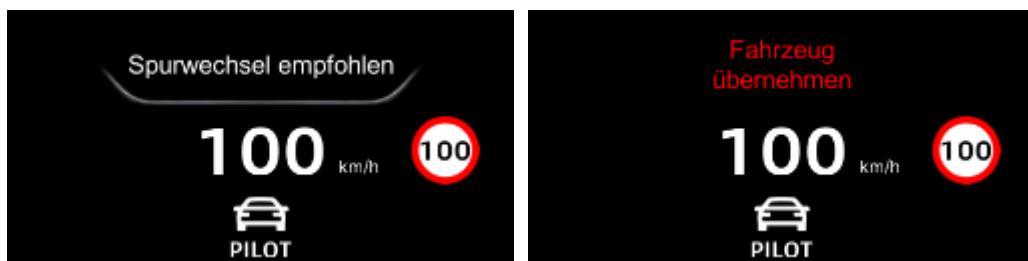


Abbildung A-3: Beispiel für die Systemrückmeldung im HUD



Abbildung A-4: Beispiele für die Systemrückmeldung im Kombidisplay

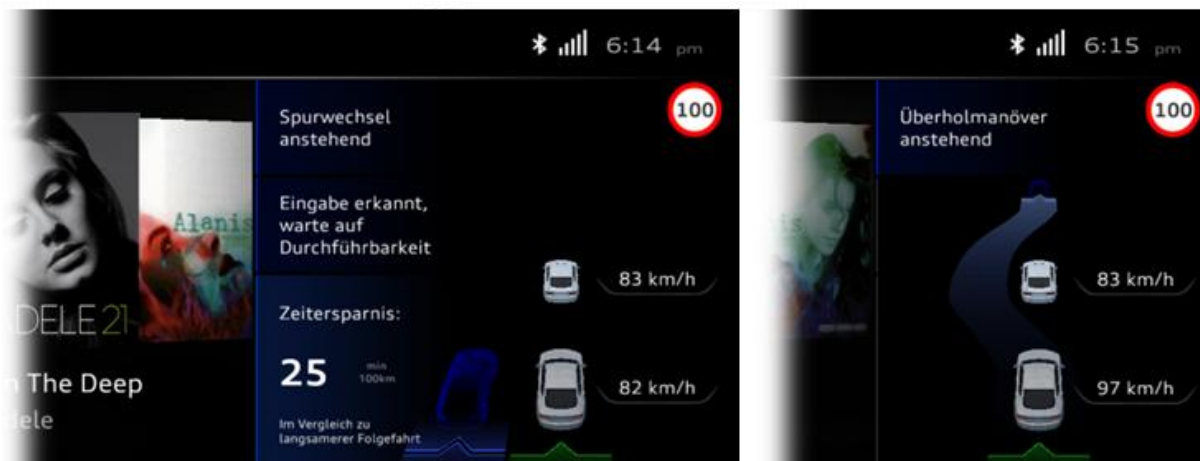


Abbildung A–5: Systeminformation auf dem oberen Touchscreen mit Zusatzinformationen (links) und reduzierte Ansicht (rechts)

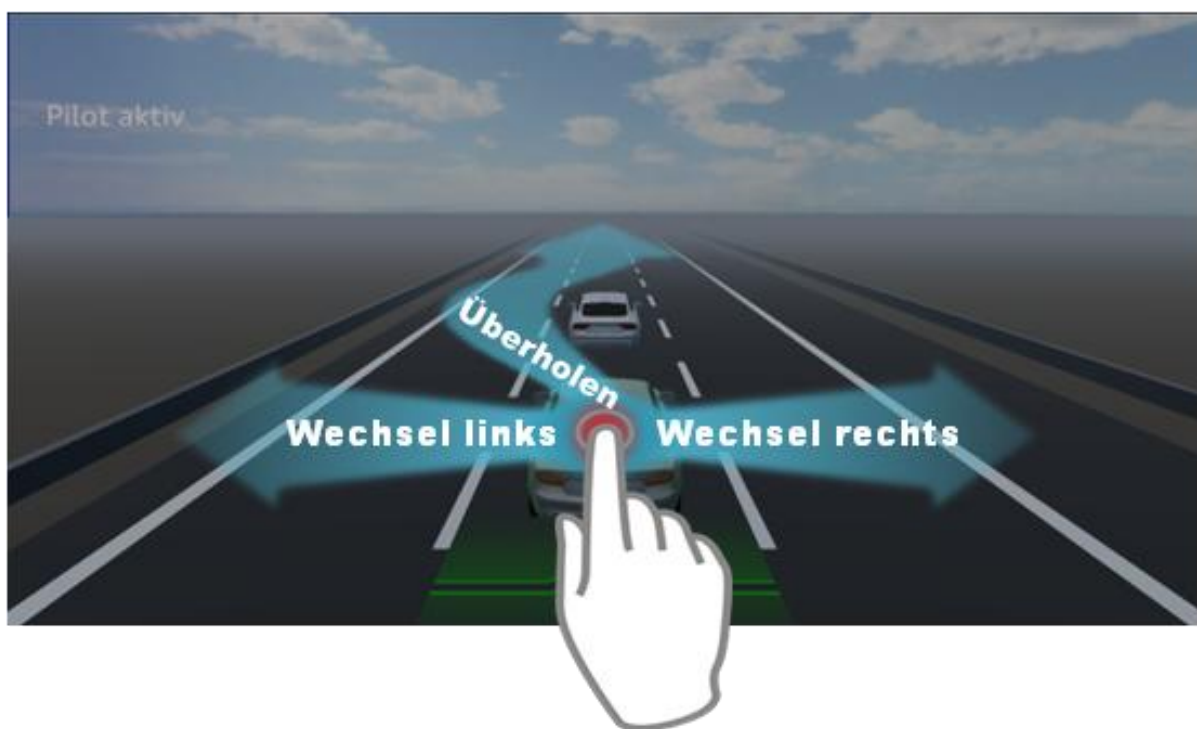


Abbildung A–6: Touchgesten zur Manöverbeauftragung auf dem unteren Touchscreen im Manöverplan

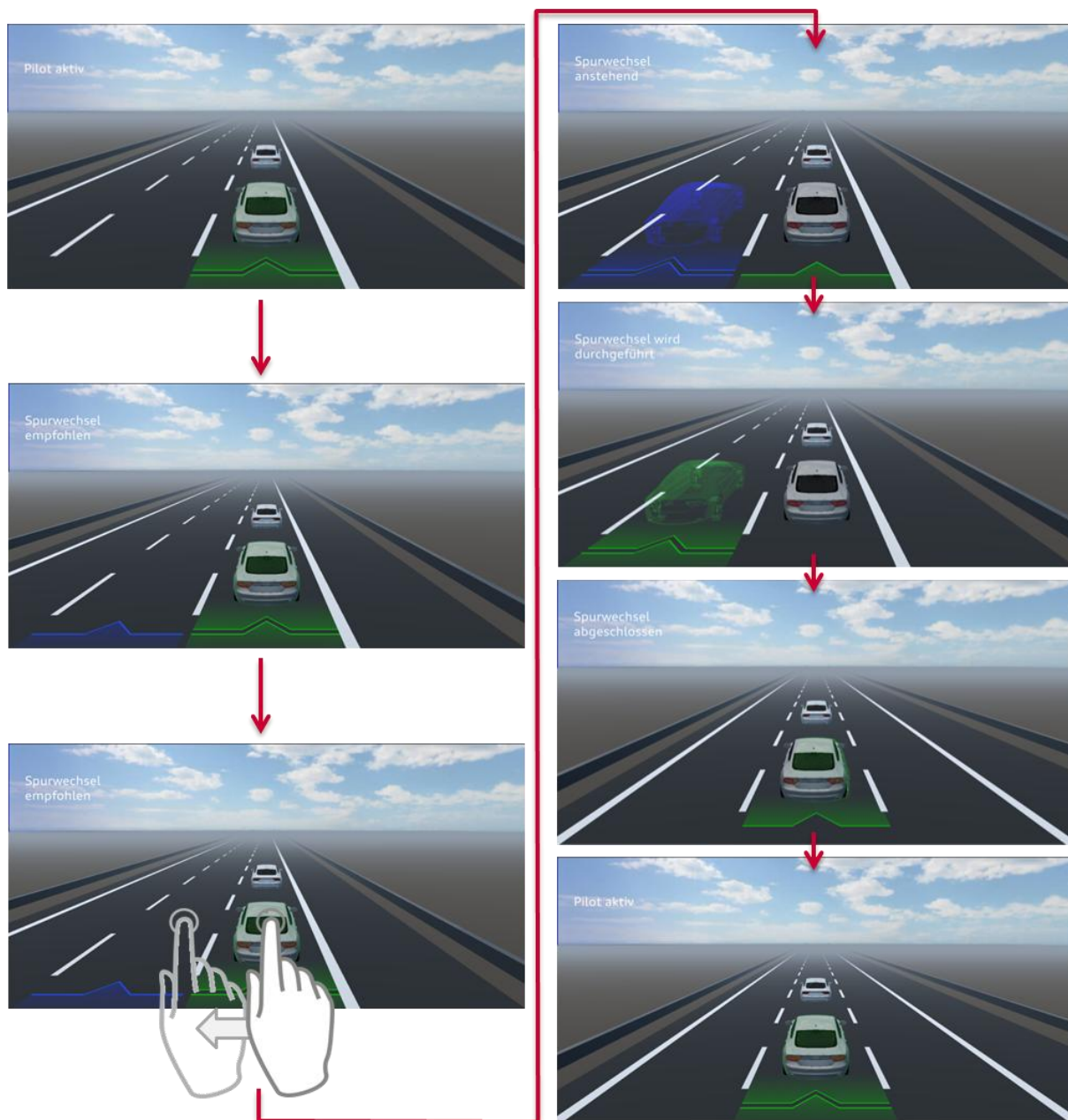


Abbildung A-7: Ablauf eines Fahrstreifenwechselmanöver auf dem unteren Touchscreen im Manöverplan

A.4.2 Versuchsmaterialien

Tabelle A–22: A priori Stichprobengrößenberechnung mittels G*Power

F tests - ANOVA: Repeated measures, within factors			
Analysis:		A priori: Compute required sample size	
Input:		Output:	
Effect size f	0.3536	Noncentrality parameter λ	9.0023731
α err prob	0.05	Critical F	4.4513218
Power (1- β err prob)	0.8	Numerator df	1.0000000
Number of groups	1	Denominator df	17.0000000
Number of measurements	2	Total sample size	18
Corr among rep measures	0.5	Actual power	0.8071482
Nonsphericity correction ϵ	1		
Input:		Output:	
Effect size f	0.3536	Noncentrality parameter λ	8.5736887
α err prob	0.05	Critical F	4.2793443
Power (1- β err prob)	0.8	Numerator df	1.0000000
Number of groups	1	Denominator df	23.0000000
Number of measurements	2	Total sample size	24
Corr among rep measures	0.3	Actual power	0.8006667
Nonsphericity correction ϵ	1		

Tabelle A–23: Permutationsplan für Studie 2

Kürzel	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4
1	MA Arbeit	MA Freizeit	MP Arbeit	MP Freizeit
2	MA Arbeit	MA Freizeit	MP Freizeit	MP Arbeit
3	MA Freizeit	MA Arbeit	MP Arbeit	MP Freizeit
4	MA Freizeit	MA Arbeit	MP Freizeit	MP Arbeit
5	MP Arbeit	MP Freizeit	MA Arbeit	MA Freizeit
6	MP Arbeit	MP Freizeit	MA Freizeit	MA Arbeit
7	MP Freizeit	MP Arbeit	MA Arbeit	MA Freizeit
8	MP Freizeit	MP Arbeit	MA Freizeit	MA Arbeit

Tabelle A-24: Zuordnung des Versuchsplans zu Probanden, Studie2

VP	D-Lab Nr.	Kürzel	VP	D-Lab Nr.	Kürzel
1	1	1	19	24	7
2	2	8	20	25	5
3	3	2	21	26	2
4	4	7	22	27	6
5	5	3	23	28	3
6	6	6	24	29	5
7	8	4	25	30	5
8	10	5	26	31	7
9	11	1	27	32	4
10	13	8	28	33	6
11	15	8	29	34	4
12	16	2	30	35	3
13	17	1	31	36	2
14	18	7	32	37	8
15	19	1	33	38	8
16	20	3	34	40	1
17	22	6	35	42	4
18	23	4			

A.4.3 Fragebogen

VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Persönliche Angaben

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: männlich weiblich

Händigkeit: rechts links

Welches Auto fahren Sie am häufigsten? (Marke, Typ) _____

Ihre Fahrgewohnheiten

Wie viele Kilometer fahren Sie in _____ Kilometer pro Jahr etwa pro Jahr?

Wie regelmäßig fahren Sie dienstlich Autobahn? (inklusive täglichem Arbeitsweg)

täglich <input type="checkbox"/>	mehrmals in der Woche <input type="checkbox"/>	einmal in der Woche <input type="checkbox"/>	einmal pro Monat <input type="checkbox"/>	seitener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	--	--	---	-----------------------------------

Wie schätzen Sie Ihren eigenen Fahrstil ein? Markieren Sie anhand folgender Wortpaare auf der Skala, welcher Fahrstil Ihnen am ehesten entspricht.

schnell <input type="checkbox"/>	langsam <input type="checkbox"/>
ängstlich <input type="checkbox"/>	mutig <input type="checkbox"/>
offensiv <input type="checkbox"/>	defensiv <input type="checkbox"/>
vorsichtig <input type="checkbox"/>	risikobereit <input type="checkbox"/>
sportlich <input type="checkbox"/>	gemütlich <input type="checkbox"/>
ablenkbar <input type="checkbox"/>	aufmerksam <input type="checkbox"/>
unsicher <input type="checkbox"/>	sicher <input type="checkbox"/>

VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Erfahrung mit technischen Geräten im Fahrzeug

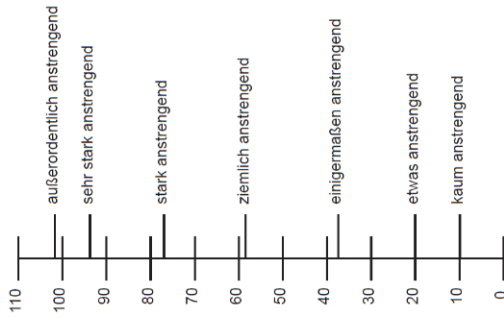
Welche der folgenden Assistenzsysteme haben Sie bereits einmal als Fahrer erlebt? Wenn Sie diese in Ihrem eigenen Fahrzeug oder in Ihrem Dienstwagen haben oder hatten, wie oft haben Sie diese verwendet oder verwenden diese?

	Häufigkeit					
	ja	nein	nie	gelegentlich	oft	immer
Adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spurhalteassistent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tempomat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Head-up Display (gespiegelte Anzeige auf Frontscheibe)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4 VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Ihr Befinden

Geben Sie anhand der Skala an, wie beansprucht und angestrengt Sie sich gerade fühlen. Markieren Sie hierfür mit einem Kreuz das Ausmaß, wie es für Sie am ehesten zutrifft.



3 VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Ihre Einstellung zu Technik

Im Folgenden geht es um Ihre Einstellung zu Technik. Ordnen Sie bitte folgende Aussagen zu Technik mithilfe der Skala ein, wie diese auf Sie persönlich zutreffen.

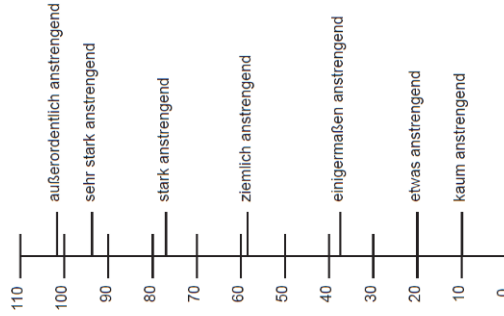
	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils-teils	trifft eher zu	trifft zu
Ich habe Hemmungen im Umgang mit Technik.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann ziemlich viele der technischen Probleme, mit denen ich konfrontiert bin, allein lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich ein technisches Problem löse, so geschieht das meistens durch Glück.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es macht mir richtig Spaß, ein technisches Problem zu knacken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte ermöglichen einen hohen Lebensstandard.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technik fasziniert mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Umgang mit technischen Geräten habe ich Angst, etwas falsch zu machen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die meisten technischen Probleme sind so kompliziert, dass es wenig Sinn hat, sich mit ihnen auseinanderzusetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit bisherigen technischen Problemen gut zurecht gekommen bin, blicke ich auch künftigen optimistisch entgegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte erhöhen die Sicherheit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte sind oft undurchschaubar und schwer zu beherrschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch wenn Widerstände auftreten, bearbeite ich ein technisches Problem weiter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich technischen Geräten gegenüber so hilflos, dass ich lieber die Finger von ihnen lasse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mit technischen Problemen konfrontiert bin, finde ich Mittel und Wege, sie zu lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technische Geräte erleichtern mir den Alltag.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5 VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

- 1. Durchgang -

Kontext

Geben Sie anhand der Skala an, wie beansprucht Sie sich durch **die Nebenaufgabe** (Film, Vortrag) gefühlt haben, d.h. wie anstrengend Sie die Nebenaufgabe empfunden haben. Markieren Sie hierfür mit einem Kreuz das Ausmaß, wie es für Sie am ehesten zutrifft.



6 VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Die folgenden Fragen beziehen sich nun konkret auf die Fahrsituation. Bewerten Sie folgende Aussagen, wie sehr diese während des Durchgangs auf Sie zugefallen haben von „trifft überhaupt nicht zu“ (1) bis „trifft voll und ganz zu“ (7).

	trifft überhaupt nicht zu	trifft voll und ganz zu
Die Fahrsituation war stabil und eindeutig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Fahrsituation war komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Während der Fahrt hat sich wenig geändert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich war während der Fahrt jederzeit zur Übernahme bereit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Während der Fahrt verfolgte ich das Verkehrsgeschehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Während der Fahrt war ich auf mehrere Details der Fahrsituation konzentriert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich musste meine Aufmerksamkeit nicht teilen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte viele Informationen über die Fahrsituation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Informationen, die ich über die Fahrsituation hatte, waren hilfreich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich war mit der Fahrsituation vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie haben Sie die Nebenaufgabe wahrgenommen? Ordnen Sie bitte folgende Aussagen zu der Nebenaufgabe (Film, Vortrag) mithilfe der Skala ein, wie diese auf Sie persönlich zutreffen.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils-teils	trifft eher zu	trifft zu
Ich habe mich für den Inhalt und die Thematik interessiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kenne mich mit den vorgestellten Inhalten bereits aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8

VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Systembewertung

Ordnen Sie bitte folgende Aussagen auf der Skala ein, wie diese auf das getestete System am ehesten zutreffen.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils-teils	trifft eher zu	trifft zu
Fahren mit dem System macht keinen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich vertraue darauf, dass dieses System in meinem Interesse handelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde dieses Bediensystem weiterempfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit dem System erhöht sich der Komfort des Autofahrens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System erhöht den Fahrgegnuss.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System ist verlässlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde dieses Bediensystem gerne in meinem Fahrzeug integriert haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System wirkt glaubwürdig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin mir bewusst, die Kontrolle über das Fahrzeug zu jedem Zeitpunkt wieder übernehmen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahren mit diesem System belastet den Fahrer zusätzlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System fördert die körperliche Entspannung beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir dieses Bediensystem in Serienfahrzeugen vorstellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das System würde das Autofahren langweilig machen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienung des Systems fördert Stress beim Fahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7

VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Gebrauchstauglichkeit

Ordnen Sie bitte folgende Aussagen auf der Skala ein, wie diese auf Sie am ehesten zutreffen.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils-teils	trifft eher zu	trifft zu
Ich denke, dass ich das System gerne häufig benutzen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das System unnötig komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das System einfach zu benutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System benutzen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System waren gut integriert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke, das System enthielt zu viele Widersprüche und Inkonsistenzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit diesem System sehr schnell lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich bei der Benutzung des Systems sehr sicher.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte das System zu verwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie haben Sie die **Nutzung des Systems** wahrgenommen? Beziehen Sie sich dabei **nur auf die Überholituation.**





Bitte beurteilen Sie das System mithilfe nachfolgender Adjektivpaare. Beachten Sie, dass die Adjektive eher im übertragenen Sinn zu verstehen sind. Markieren Sie also möglichst spontan. Es gibt keine falschen Antworten.

anregend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ermüdend
angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unangenehm
erstrebenswert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht erstrebenswert
gut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schlecht
nützlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nutzlos
wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwichtig
erfreulich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ärgerlich
effektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ineffektiv
kühl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gefühlvoll

21 VP-Nr.: _____ Kürzel: _____ Datum: _____

Ihre Präferenz

Stellen Sie sich nun vor, Sie müssten sich für eines der beiden Systeme entscheiden.

System	Manöverplan	Manöverautomation
	 	 
<p>Welches System würden Sie wählen?</p>	<p>Manöverplan <input type="checkbox"/></p>	<p>Manöverautomation <input type="checkbox"/></p>
<p>Wie hoch schätzen Sie den Vorteil des Systems Ihrer Wahl ein?</p>	<p>Markieren Sie das Ausmaß auf der Skala von 'kein Vorteil' (links) bis, außerordentlicher Vorteil' (rechts).</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	
<p>Welche Vorteile haben die jeweiligen Systeme Ihrer Meinung nach?</p>		
<p>Welche Nachteile sehen Sie in den jeweiligen Systemen?</p>		

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

A.4.4 Ergebnistabellen

A.4.4.1 Beschreibung des Probandenkollektivs

Tabelle A–25: Demographie und Selbsteinschätzung

	MW	SD	Min	Max
Alter [Jahre]	37.00	7.57	25	57
Gesamtkilometer [km]	22176.47	11482.00	1000	50000
Regelmäßigkeit dienstbezogener Autobahnfahrten (Pendler) [täglich 1 - 5 seltener als 1Mal pro Monat]	2.40	1.38	1	5
Fahrstil				
[schnell 1 - 5 langsam]	2.06	0.67	1	4
[ängstlich 1 - 5 mutig]	3.74	0.691	2	5
[offensiv 1 - 5 defensiv]	2.57	0.77	1	4
[vorsichtig 1 - 5 risikobereit]	3.14	0.76	2	5
[sportlich 1 - 5 gemütlich]	2.17	0.84	1	4
[ablenkbar 1 - 5 aufmerksam]	3.69	0.92	1	5
[unsicher 1 - 5 sicher]	4.26	0.69	2	5
Kontrollüberzeugung bezüglich Technik kumulierter Wert [niedrige KUT 5 - 40 hohe KUT]	33.26	3.10	26	39
Technikbezogenes Selbstkonzept (TSK)				
Technikangst [niedrig 1 - 5 hoch]	1.60	0.58	1	3
Affekt [niedrig 1 - 5 hoch]	4.43	0.78	2	5
Selbstwirksamkeitserwartung [niedrig 1 - 5 hoch]	4.23	0.65	2	5
Technikaffinität bzgl. elektron. Geräte (TA-EG) positive Einstellung [niedrig 1 - 5 hoch]	4.28	0.59	2.67	5

Tabelle A–26: Erfahrung mit technischen Systemen im Fahrzeug

Erfahrung mit technischen Sys- temen im Kfz	Bereits als Fahrer erlebt [%]	Nutzungshäufigkeit			
		MW	SD	Min	Max
ACC	73.5	2.74	1.42	1	5
Spurhalteassistent	76.5	2.53	1.33	1	5
Tempomat	94.1	3.53	1.27	1	5
HUD	26.5	1.53	1.01	1	5

A.4.4.2 Fragebogendaten

Tabelle A–27: Test auf Normalverteilung ($p > .05$)

Shapiro-Wilk-Test Signifikanzen		Manöverplan		Manöverautomation	
		Arbeit	Freizeit	Arbeit	Freizeit
Fahrspaß	w	$p = .112$	$p = .033$	$p = .029$	$p = .005$
	m	$p = .103$	$p = .812$	$p = .248$	$p = .118$
Diskomfort	w	$p = .019$	$p < .001$	$p < .001$	$p = .002$
	m	$p = .242$	$p = .135$	$p = .014$	$p = .009$
Komfort	w	$p = .116$	$p = .071$	$p = .002$	$p = .034$
	m	$p = .147$	$p = .139$	$p = .035$	$p = .013$
Vertrauen	w	$p < .001$	$p = .001$	$p < .001$	$p = .001$
	m	$p = .089$	$p = .025$	$p < .001$	$p = .025$
Kontrolle	w	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$
	m	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$	$p < .001$
SEA	w	$p = .086$	$p = .249$	$p = .165$	$p = .178$
	m	$p = .084$	$p = .070$	$p = .240$	$p = .001$
Gerne im Fahrzeug	w	$p = .006$	$p = .001$	$p = .001$	$p < .001$
	m	$p = .011$	$p = .008$	$p < .001$	$p < .001$
SART	w	$p = .102$	$p = .328$	$p = .476$	$p = .632$
	m	$p = .636$	$p = .628$	$p = .895$	$p = .602$
SUS	w	$p = .024$	$p = .023$	$p = .003$	$p = .012$
	m	$p = .830$	$p = .623$	$p = .915$	$p = .024$

Tabelle A–28: Test auf Homogenität der Varianzen ($p > .05$)

Levene-Test Signifikanzen	Manöverplan		Manöverautomation	
	Arbeit	Freizeit	Arbeit	Freizeit
Fahrspaß	$p = .024$	$p = .197$	$p = .082$	$p = .023$
Diskomfort	$p = .346$	$p = .870$	$p = .737$	$p = .876$
Komfort	$p = .340$	$p = .822$	$p = .051$	$p = .152$
Vertrauen	$p = .130$	$p = .412$	$p = .144$	$p = .551$
Kontrolle	$p = .635$	$p = .233$	$p = .355$	$p = .071$
SEA	$p = .310$	$p = .909$	$p = .053$	$p = .263$
Gerne im Fahrzeug	$p = .220$	$p = .911$	$p = .058$	$p = .002$
SART	$p = .334$	$p = .195$	$p = .927$	$p = .261$
SUS	$p = .636$	$p = .514$	$p = .923$	$p = .939$

Tabelle A–29: Tabellierte Werte der Akzeptanzmaße

Gerne im Fahrzeug						
Konzept	F(1,31) = 13.985, p = .001, η_p^2 = .311				M _{MP-MA} = -0.639	
Konzept * Geschlecht	F(1,31) = 0.661, p = .422, η_p^2 = .021					
Tätigkeit	F(1,31) = 0.279, p = .601, η_p^2 = .009					
Tätigkeit*Geschlecht	F(1,31) = 0.279, p = .601, η_p^2 = .009					
Konzept*Tätigkeit	F(1,31) = 1.015, p = .321, η_p^2 = .032					
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	F(1,31) = 0.083, p = .775, η_p^2 = .003					
Geschlecht	F(1,31) = 0.130, p = .721, η_p^2 = .004					
Präferenz	Wahl		Wahrgenommener Mehrwert			
	[Anzahl]	[%]	MW	SD	Min	Max
MP	10	29	59.00	30.01	5	91
MA	24	71	77.96	12.99	55	99
Rangreihe	$\chi^2(1, n = 34) = 5.765, p = .016$					
Mittelwerte	MP			MA		
	MW = 1.71, SD = 0.462			MW = 1.29, SD = 0.462		
Wilcoxon-Test	U = -2.401, p = .016					

Tabelle A–30: Tabellierte Werte der wahrgenommenen Eigenschaften

Komfort		
Konzept	$F(1,31) = 16.343, p < .001, \eta_p^2 = .345$	$M_{MP-MA} = -0.549$
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 0.945, p = .338, \eta_p^2 = .030$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 0.795, p = .380, \eta_p^2 = .025$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.082, p = .777, \eta_p^2 = .003$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 2.170, p = .151, \eta_p^2 = .065$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 3.684, p = .064, \eta_p^2 = .106$	
Geschlecht	$F(1,31) = 0.061, p = .806, \eta_p^2 = .002$	
Diskomfort		
Konzept	$F(1,31) = 11.231, p = .002, \eta_p^2 = .266$	$M_{MP-MA} = 0.404$
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 0.202, p = .656, \eta_p^2 = .006$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 1.901, p = .178, \eta_p^2 = .058$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.011, p = .916, \eta_p^2 = .000$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 0.008, p = .931, \eta_p^2 = .000$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 1.302, p = .263, \eta_p^2 = .040$	
Geschlecht	$F(1,31) = 12.202, p = .001, \eta_p^2 = .282$	$M_{w-m} = -.696$
Systemvertrauen		
Konzept	$F(1,31) = 6.725, p = .014, \eta_p^2 = .178$	$M_{MP-MA} = -0.204$
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 1.143, p = .293, \eta_p^2 = .036$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 1.201, p = .282, \eta_p^2 = .037$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.200, p = .658, \eta_p^2 = .006$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 1.010, p = .323, \eta_p^2 = .032$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.025, p = .877, \eta_p^2 = .001$	
Geschlecht	$F(1,31) = 1.835, p = .185, \eta_p^2 = .056$	
Kontrolle		
Konzept	$F(1,31) = 0.352, p = .557, \eta_p^2 = .011$	
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 1.915, p = .176, \eta_p^2 = .058$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 0.597, p = .446, \eta_p^2 = .019$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 2.661, p = .113, \eta_p^2 = .079$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 1.447, p = .238, \eta_p^2 = .045$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.038, p = .846, \eta_p^2 = .001$	
Geschlecht	$F(1,31) = 0.495, p = .487, \eta_p^2 = .016$	
Fahrspaß		
Konzept	$F(1,31) = 2.472, p = .126, \eta_p^2 = .074$	
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 0.690, p = .412, \eta_p^2 = .022$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 0.602, p = .444, \eta_p^2 = .019$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.900, p = .350, \eta_p^2 = .028$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 2.055, p = .162, \eta_p^2 = .062$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.009, p = .927, \eta_p^2 < .001$	
Geschlecht	$F(1,31) = 1.934, p = .174, \eta_p^2 = .059$	

Tabelle A–31: Tabellierte Werte der System Usability Scale

SUS		
Konzept	$F(1,31) = 19.885, p < .001, \eta_p^2 = .407$	$M_{MP-MA} = -7.526$
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 1.153, p = .292, \eta_p^2 = .031$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 2.455, p = .128, \eta_p^2 = .078$	
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 3.360, p = .077, \eta_p^2 = .104$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 0.066, p = .798, \eta_p^2 = .002$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.115, p = .737, \eta_p^2 = .004$	
Geschlecht	$F(1,31) = 6.251, p = .018, \eta_p^2 = .177$	$M_{w-m} = 8.377$

Tabelle A–32: Tabellierte Werte der Subjektiv Empfundenen Anstrengung

SEA		
Konzept	$F(1,32) = 15.756, p < .001, \eta_p^2 = .330$	$M_{MP-MA} = 6.951$
Konzept * Geschlecht	$F(1,32) = 0.382, p = .541, \eta_p^2 = .012$	
Tätigkeit	$F(1,32) = 20.792, p < .001, \eta_p^2 = .394$	$M_{\text{Arbeit-Freizeit}} = 11.511$
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,32) = 4.594, p = .040, \eta_p^2 = .126$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,32) = 0.314, p = .579, \eta_p^2 = .010$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,32) = 0.046, p = .832, \eta_p^2 = .001$	
Geschlecht	$F(1,32) = 0.825, p = .370, \eta_p^2 = .025$	

Tabelle A–33: Tabellierte Werte des SART-Fragebogens

SART		
Konzept	$F(1,31) = 0.009, p = .926, \eta_p^2 < .001$	
Konzept * Geschlecht	$F(1,31) = 0.009, p = .926, \eta_p^2 < .001$	
Tätigkeit	$F(1,31) = 4.969, p = .033, \eta_p^2 = .138$	$M_{\text{Arbeit-Freizeit}} = -0.083$
Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.931, p = .342, \eta_p^2 = .029$	
Konzept*Tätigkeit	$F(1,31) = 0.124, p = .727, \eta_p^2 = .004$	
Konzept*Tätigkeit*Geschlecht	$F(1,31) = 0.124, p = .727, \eta_p^2 = .004$	
Geschlecht	$F(1,31) = 4.655, p = .039, \eta_p^2 = .131$	$M_{w-m} = 4.600$

A.4.4.3 Wahrgenommene Vor- und Nachteile der Konzepte

Tabelle A–34: Probandennennungen Vorteile Manöverplan

<p>Selbstbestimmung, Kontrolle, Wahl- und Entscheidungsfreiheit</p> <ul style="list-style-type: none"> • eigenes Planen, mehr Eigenbestimmtheit • ich bestimmte • man muss sich mehr aktiv beteiligen • mehr Kontrolle • Gefühl, dass man selbst der "Boss" ist und nicht das Fahrzeug • mehr Wahlfreiheit • ich kann entscheiden, ob ich überholen möchte oder ruhig dahinter herfahren möchte • ich kann selbst bestimmen, wann überholt werden soll • höheres Gefühl von Kontrolle • Fahrer hat mehr Einfluss/Macht über das System (wann soll er überholen) • man hat das Gefühl, eingreifen zu können • Gefühl von Kontrolle bei Interaktion (Bestätigen, Anweisen) • behalte Kontrolle • mehr Übersicht zu Fahrmanöver; Gefühl der Kontrolle über das Fahrzeug • "Herr der Dinge"; aktiv Geschehen beeinflussen • Gefühl von mehr Kontrolle • höhere Kontrollierbarkeit; subjektives Sicherheitsgefühl, weil man Manöver selbst plant • Fahrer entscheidet selbst; Kontrolle über das System
<p>höheres Vertrauen ins System, höhere Sicherheit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertrauen • sicheres Gefühl von Beginn an • mehr Übersicht zu Fahrmanöver • subjektives Sicherheitsgefühl, weil man Manöver selbst plant • höhere Sicherheit • erhöht die Sicherheit auf Langstrecken
<p>höhere Aufmerksamkeit, Bewusstsein über Verantwortung für das Fahrzeug</p> <ul style="list-style-type: none"> • man vergisst nicht, dass man ggf. eingreifen muss • höhere Aufmerksamkeit • Interaktion bedeutet mehr Aufmerksamkeit • man ist sich mehr bewusst, dass man der Fahrer des Autos ist • "Herr der Dinge"; Aufmerksamkeit besser • Aufmerksamkeit erforderlich • Aufmerksamkeit wird teilweise aufrechterhalten, daher kein Defizit nach Pilotdeaktivierung
<p>Entspannung, Komfort, Erleichterung</p> <ul style="list-style-type: none"> • entspanntes Fahren • kann in bestimmten Situationen (Stau) das Fahren einfacher machen • für Stadtverkehr und eventuell Landstraße hilfreich • nette Unterstützung bei langen Fahrten
<p>Spaß</p> <ul style="list-style-type: none"> • mehr Spaß • spielerisch • gezieltes Fahren; Spurwechsel kann auch Spaß machen
<p>weitere Aktivitäten möglich</p> <ul style="list-style-type: none"> • gut für "kurze" Ablenkung • erlaubt mehr Aktivität beim Fahren

Tabelle A–35: Probandennennungen Nachteile Manöverplan

Konkurrenz zwischen Manöverauftrag und FFT

- Überholmanöver erfordern Übersicht über Fahrsituation, Konzentration für andere Dinge nicht verfügbar
 - Unterbrechung der Nebenaufgabe zur Planung -> Teilung der Aufmerksamkeit
 - durch das manuelle Einleiten des Überholvorgangs setzt keine Entspannung ein; zu hohe Ablenkung durch andere Medien
 - maximal Video sehen, konzentriert eine Konferenz zu schauen nicht möglich
 - wenn man mit einer Nebenaufgabe beschäftigt ist, ist es lästig, die Manöver zu bestätigen
 - Anstrengung für mich, die keine echte Nebentätigkeit möglich macht
 - viel Interaktion nötig; keine Zeit für andere Dinge
-

Ablenkung/Stress/reduzierte Entspannung

- Ablenkung durch 3 Aufgaben; Kontrolle des unteren Bildschirms nötig
 - abgelenkt durch Eingaben
 - mehrere Dinge gleichzeitig zu beachten
 - durch das Wischen auf dem Bildschirm etwas abgelenkt
 - weniger Entspannung
 - in komplexen Situationen kann es eventuell stressig werden
-

Reduzierter Mehrwert durch manöverbasierte Interaktion

- ich überprüfe, bevor ich Auftrag zum Spurwechsel gebe
 - gewünschter Nutzen nicht in vollem Ausmaß gegeben
 - man muss sich auf Verkehr und Umfeld konzentrieren
 - Überholen muss bestätigt werden; kein automatisches Rechtsfahren, nur bei Geradeaus-Wischen; Vorteil zu Fahrzeug mit ACC und Spurhalteassistent nicht erkennbar
 - weiterhin Interaktion mit dem Fahrzeug nötig, aber kein aktiver Eingriff in den Fahrbetrieb
 - für mich in Überholsituation kein Vorteil zu manuellem Überholen
 - ich muss etwas tun
 - teilautomatisch
-

Problematik automatisiertes Fahren allgemein

- man wird unaufmerksam bei Verkehrsgeschehen (hier etwas öfters auf die Umgebung eingestellt)
 - man muss doch auf den Verkehr achten, weil man noch nicht viel Vertrauen in das System hat
 - langweilig für sportliche Autofahrer
 - nützenswert für Straftaten (Alkohol und Drogen); bei Übermüdung Kontrollverlust, weil man zu sehr entspannt
-

Verzögerung im Fahrtablauf

- bei längeren Fahrten kann es zu Verzögerungen kommen, wenn man nicht bestätigt
 - auf vollen Autobahnen viel Interaktion notwendig
 - Zeitverlust; weniger passend für Autobahn/Landstraßen-Dynamik mit vielen anderen Verkehrsteilnehmern
 - ggf. zu oft bei viel Verkehr und dann vielleicht gar nicht
-

Bedienprobleme

- Bedienung schlecht
 - Bedienung umständlich; Überholvorgänge sollten über Kombiinstrument bestätigt werden
-

Tabelle A–36: Probandennennungen Vorteile Manöverautomation

Entlastung und Entspannung, Komfort

- man kann sich völlig entspannen, wenn man dem System vertraut und ungestört Nebenaufgaben ausführen
- mehr Komfort
- höherer Komfort in der hochautomatisierten Fahrt (will da eigentlich nicht gestört werden)
- maximale Komfortsteigerung
- entspanntes Fahren
- Entspannung ohne Konzentration auf das Fahrgeschehen; kein Eingriff notwendig
- entspanntes Fahren auf langen Strecken (Autobahn)
- jeder Mensch kann das; keine geistige Anstrengung; Schlafen möglich
- völlig entspanntes Fahren ohne Interaktion
- entspannter; mehr Zeit für andere Dinge
- ich kann mich zurücklehnen
- keine Konzentration mehr nötig
- hoher Komfort; sehr entspannend
- Entlastung/Entspannung des Fahrers
- wenn schon Entspannung, dann richtig
- entlastet den Fahrer

Konzentration auf FFT

- "Fire-and-Forget"-Lösung, die die Zeit im Pkw anderweitig verwendbar macht
- mehr Konzentration bei wichtigen Themen; weniger Ablenkung
- Konzentration auf Nebentätigkeit
- man kann sich völlig entspannen, wenn man dem System vertraut und ungestört Nebenaufgaben ausführen
- Nebentätigkeiten sind möglich, man kommt dennoch sicher und schnell am Ziel an; man kann sich auf das System verlassen bzw. sich komplett auf die NT konzentrieren
- man kann sich auf das System verlassen bzw. sich komplett auf die NT konzentrieren
- für andere Dinge besser zu gebrauchen (nicht abgelenkt)
- Konzentration auf andere Tätigkeiten
- tatsächlich Möglichkeit zur anspruchsvollen, mehrminütigen Nebentätigkeit
- man kann sich auf andere Dinge konzentrieren
- mehr Zeit für anderes, da Automatisierung; für eine Konferenz unerlässlich
- entspannter; mehr Zeit für andere Dinge
- weniger Ablenkung vom Fahren
- Möglichkeit von effektiver Zeitznutzung
- vollständige Möglichkeit aus der Fahraufgabe rauszukommen und sich auf etwas anderes zu konzentrieren
- erhöhte Konzentration auf andere Sachen
- man muss fast gar nicht mehr auf die Straße achten und kann dadurch andere wichtige Dinge erledigen

Sicherheitsgewinn, Wirkpotential auf langen Fahrten

- für Langstrecke (Autobahn) hilfreich
 - attraktiv für lange Fahrten oder bei Nacht
 - Nebentätigkeiten sind möglich, man kommt dennoch sicher und schnell am Ziel an
 - Müdigkeit wirkt sich nicht fatal aus; ich muss mich nicht dauernd auf Schleicher konzentrieren
 - weniger Aufmerksamkeit benötigt
 - sehr gut für "lange" Ablenkung bei Übermüdung, für Entspannung (Autobahn, Landstraßen)
 - erhöht die Sicherheit auf Langstrecken
 - erlaubt hinsichtlich Verkehrssicherheit mehr Unaufmerksamkeit beim Fahren
 - konstante Fahrt; mehr Wahrnehmung vom Auto
-

Tabelle A–37: Probandennennungen Nachteile Manöverautomation

Notwendiges Vertrauen

- Vertrauen muss ins System vorhanden sein
 - großes Vertrauen notwendig/erforderlich
 - Vertrauen muss vorhanden sein; wenn nicht, dann kein Vorteil, da der Fahrer den Verkehr weiterhin beobachtet
 - man muss lernen, dem System zu vertrauen (ging aber in diesem abgesperrten Setting sehr schnell und ohne Probleme)
 - man muss vertrauen
 - viel Vertrauen nötig; Entscheidungsgewalt wird genommen (Bevormundung)
-

Kontrollverlust, Entmachtung, Bevormundung, Gefühl von Abhängigkeit

- Gefühl, "ausgeliefert" zu sein; Abhängigkeit zur Technik
 - gefühlte Entmachtung des Fahrers
 - viel Vertrauen nötig; Entscheidungsgewalt wird genommen (Bevormundung)
 - man fühlt sich als Beifahrer, man schaltet völlig ab
 - Abgabe der Verantwortung
-

Ermüdung, reduzierte Übernahmefähigkeit

- eventuell Müdigkeit
 - weniger bereits zu sofortiger Übernahme
 - würde das System ausfallen, bräuchte ich lange, dass Auto zu übernehmen; man schaltet völlig ab; ich fühlte mich wie ein Beifahrer
 - kein Eingreifen nötig kann auch ermüden bzw. vergessen lassen, dass man jederzeit bereit sein muss
 - man wird schnell müde
 - falls man Eingreifen muss, muss man sich erst sinnvoll orientieren; man wird un aufmerksam
 - Ermüdung mit Folge erschwerter Aufmerksamkeit nach Systembenutzung
-

Unaufmerksamkeit

- ich konzentriere mich wenig auf die Fahrt, obwohl ich verantwortlich (und haftbar) dafür bleibe
 - weniger aufmerksam, was den Verkehr angeht
 - Verlust Aufmerksamkeit
 - zu hohe Ablenkung durch andere Medien
-

Problematik automatisiertes Fahren allgemein

- nützenswert für Straftaten (Alkohol und Drogen); bei Übermüdung Kontrollverlust, weil man zu sehr entspannt; es wird ausgenutzt
 - man verlernt das Autofahren und das Einschätzen des Fahrzeugs und der Fahrsituationen
-

Fehlende Einflussmöglichkeit auf Manöver

- wenn das Fahrzeug nicht überholt und ich das aber möchte, fehlt die Möglichkeit, es dem System zu sagen
 - man müsste deaktivieren, wenn man mal nicht überholen möchte
-

verringertes Fahrspaß

- Geringer Fahrspaß
-

A.4.4.4 Blickdaten*Tabelle A–38: Zuordnung zwischen Signalwerten und Systemzuständen*

Wert	Bezeichnung	Erklärung
0	KBI_STAT_BLACK	keine Anzeige
1	KBI_STAT_PILOT_NA	Pilot nicht verfügbar
2	KBI_STAT_PILOT_AVAILABLE	Pilot verfügbar
3	KBI_STAT_PILOT_DEACT	Pilot deaktiviert
4	KBI_STAT_PILOT_OVERRIDE	Pilot überstimmt
5	KBI_STAT_ACA_NA	RESERVIERT
6	KBI_STAT_ACA_AVAILABLE	RESERVIERT
7	KBI_STAT_ACA_DEACTIVATED	RESERVIERT
8	KBI_STAT_PILOT_ACTIVE	Pilot aktiv
9	KBI_STAT_LCL_NOTPOSS	Wechsel links nicht möglich
10	KBI_STAT_LCR_NOTPOSS	Wechsel rechts nicht möglich
11	KBI_STAT_LCL_USEFUL	Wechsel links empfohlen
12	KBI_STAT_LCR_USEFUL	Wechsel rechts empfohlen
13	KBI_STAT_OT_USEFUL	Überholmanöver empfohlen
14	KBI_STAT_LCL_END	Wechsel links beendet
15	KBI_STAT_LCR_END	Wechsel rechts beendet
16	KBI_STAT_OT_END	Überholmanöver beendet
17	KBI_STAT_LCL_PREP	Wechsel links in Vorbereitung
18	KBI_STAT_LCL_ACT	Wechsel links aktiv
19	KBI_STAT_LCL_ABORTSYS	Wechsel links abgebrochen durch System
20	KBI_STAT_LCL_ABORTUSER	Wechsel links abgebrochen durch Nutzer
21	KBI_STAT_LCR_PREP	Wechsel rechts in Vorbereitung
22	KBI_STAT_LCR_ACT	Wechsel rechts aktiv
23	KBI_STAT_LCR_ABORTSYS	Wechsel rechts abgebrochen durch System
24	KBI_STAT_LCR_ABORTUSER	Wechsel rechts abgebrochen durch Nutzer
25	KBI_STAT_OT_PREP	Überholmanöver in Vorbereitung
26	KBI_STAT_OT_ACT	Überholmanöver aktiv
27	KBI_STAT_OT_ABORTSYS	Überholmanöver abgebrochen durch System
28	KBI_STAT_OT_ABORTUSER	Überholmanöver abgebrochen durch Nutzer
29	KBI_STAT_TOR_SYSTEM	Übernahmeaufforderung 1
30	KBI_STAT_TOR_ESCALATION	Übernahmeaufforderung 2
31	KBI_STAT_TOR_EA	Nothalt

Tabelle A–39: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der anteiligen Blickzuwendungsdauern in Prozent, AOIs mit hohem Blickdaueranteil

AOI	Bedingung	N	MW	Median	SD	min	max	
AOI 1	Touchdisplay unten	MP_Arbeit_Man	79	13,97	11,43	10,38	0,00	43,87
		MP_Arbeit_FSF	66	4,72	3,35	5,03	0,00	25,40
		MP_Freizeit_Man	68	16,64	14,04	12,42	0,00	52,41
		MP_Freizeit_FSF	64	7,04	4,25	10,12	0,00	58,08
		MA_Arbeit_Man	97	6,12	3,14	8,20	0,00	58,96
		MA_Arbeit_FSF	63	1,62	0,56	3,30	0,00	18,68
		MA_Freizeit_Man	97	8,58	3,67	11,60	0,00	70,68
		MA_Freizeit_FSF	63	3,08	1,13	4,85	0,00	29,69
AOI 2	Touchdisplay oben gesamt	MP_Arbeit_Man	79	50,06	53,79	23,90	2,04	96,72
		MP_Arbeit_FSF	66	64,99	72,40	23,14	9,51	94,79
		MP_Freizeit_Man	68	39,12	35,06	22,75	1,75	88,14
		MP_Freizeit_FSF	64	59,66	60,95	23,32	2,61	100,00
		MA_Arbeit_Man	97	59,97	63,48	22,32	8,03	98,38
		MA_Arbeit_FSF	63	71,82	75,87	20,32	26,20	98,56
		MA_Freizeit_Man	97	53,21	58,01	26,02	2,15	95,98
		MA_Freizeit_FSF	63	69,96	76,14	19,22	22,36	96,50
AOI 3	TD oben links	MP_Arbeit_Man	79	43,12	39,73	22,95	2,04	87,49
		MP_Arbeit_FSF	66	57,49	59,25	22,42	9,38	91,33
		MP_Freizeit_Man	68	31,61	28,21	21,61	0,73	87,69
		MP_Freizeit_FSF	64	54,08	54,48	22,80	1,06	100,00
AOI 4	TD oben rechts	MP_Arbeit_Man	79	4,32	2,15	5,51	0,00	23,45
		MP_Arbeit_FSF	66	4,08	1,86	6,23	0,00	36,92
		MP_Freizeit_Man	68	5,02	2,36	7,81	0,00	51,38
		MP_Freizeit_FSF	64	3,46	1,37	6,01	0,00	38,89
AOI 8	Frontscheibe	MP_Arbeit_Man	79	20,53	16,05	17,36	0,00	59,67
		MP_Arbeit_FSF	66	16,28	10,42	16,44	0,00	70,90
		MP_Freizeit_Man	68	25,03	24,02	16,92	0,00	65,74
		MP_Freizeit_FSF	64	18,12	16,28	15,59	0,00	71,72
		MA_Arbeit_Man	97	16,97	10,87	16,61	0,00	69,97
		MA_Arbeit_FSF	63	13,62	7,26	14,99	0,00	50,09
		MA_Freizeit_Man	97	20,36	16,32	17,46	0,00	58,78
		MA_Freizeit_FSF	63	13,36	9,17	13,19	0,00	49,72
AOI 9	Kombi	MP_Arbeit_Man	79	0,68	0,00	1,53	0,00	9,37
		MP_Arbeit_FSF	66	0,58	0,00	1,16	0,00	6,76
		MP_Freizeit_Man	68	1,97	0,00	3,39	0,00	15,38
		MP_Freizeit_FSF	64	1,20	0,17	2,05	0,00	9,61
		MA_Arbeit_Man	97	1,67	0,00	3,52	0,00	22,08
		MA_Arbeit_FSF	63	0,51	0,00	1,14	0,00	6,60
		MA_Freizeit_Man	97	2,44	0,00	3,94	0,00	21,48
		MA_Freizeit_FSF	63	0,96	0,00	2,03	0,00	10,20

Tabelle A-40: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der anteiligen Blickzuwendungsdauern in Prozent, AOIs mit geringem Blickdaueranteil

AOI	Bedingung	N	MW	Median	SD	min	max
AOI 5 Innenspiegel	MP_Arbeit_Man	79	0,90	0,00	1,76	0,00	7,71
	MP_Arbeit_FSF	66	0,92	0,00	1,87	0,00	10,88
	MP_Freizeit_Man	68	1,74	0,00	2,63	0,00	9,22
	MP_Freizeit_FSF	64	1,44	0,00	2,90	0,00	16,49
	MA_Arbeit_Man	97	1,46	0,00	4,48	0,00	38,73
	MA_Arbeit_FSF	63	0,79	0,00	1,48	0,00	6,19
	MA_Freizeit_Man	97	1,67	0,00	3,57	0,00	23,38
	MA_Freizeit_FSF	63	0,98	0,00	1,91	0,00	8,73
AOI 6 Spiegel links	MP_Arbeit_Man	79	0,22	0,00	0,72	0,00	4,96
	MP_Arbeit_FSF	66	0,39	0,00	0,87	0,00	4,13
	MP_Freizeit_Man	68	0,30	0,00	0,63	0,00	2,77
	MP_Freizeit_FSF	64	0,35	0,00	0,68	0,00	3,00
	MA_Arbeit_Man	97	0,23	0,00	0,82	0,00	6,92
	MA_Arbeit_FSF	63	0,26	0,00	0,74	0,00	3,59
	MA_Freizeit_Man	97	0,32	0,00	1,08	0,00	8,95
	MA_Freizeit_FSF	63	0,29	0,00	0,87	0,00	5,30
AOI 7 Spiegel rechts	MP_Arbeit_Man	79	0,29	0,00	0,93	0,00	6,35
	MP_Arbeit_FSF	66	0,03	0,00	0,14	0,00	0,91
	MP_Freizeit_Man	68	0,71	0,00	1,60	0,00	7,19
	MP_Freizeit_FSF	64	0,01	0,00	0,05	0,00	0,41
	MA_Arbeit_Man	97	0,26	0,00	0,95	0,00	6,22
	MA_Arbeit_FSF	63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	MA_Freizeit_Man	97	0,46	0,00	1,73	0,00	13,51
	MA_Freizeit_FSF	63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

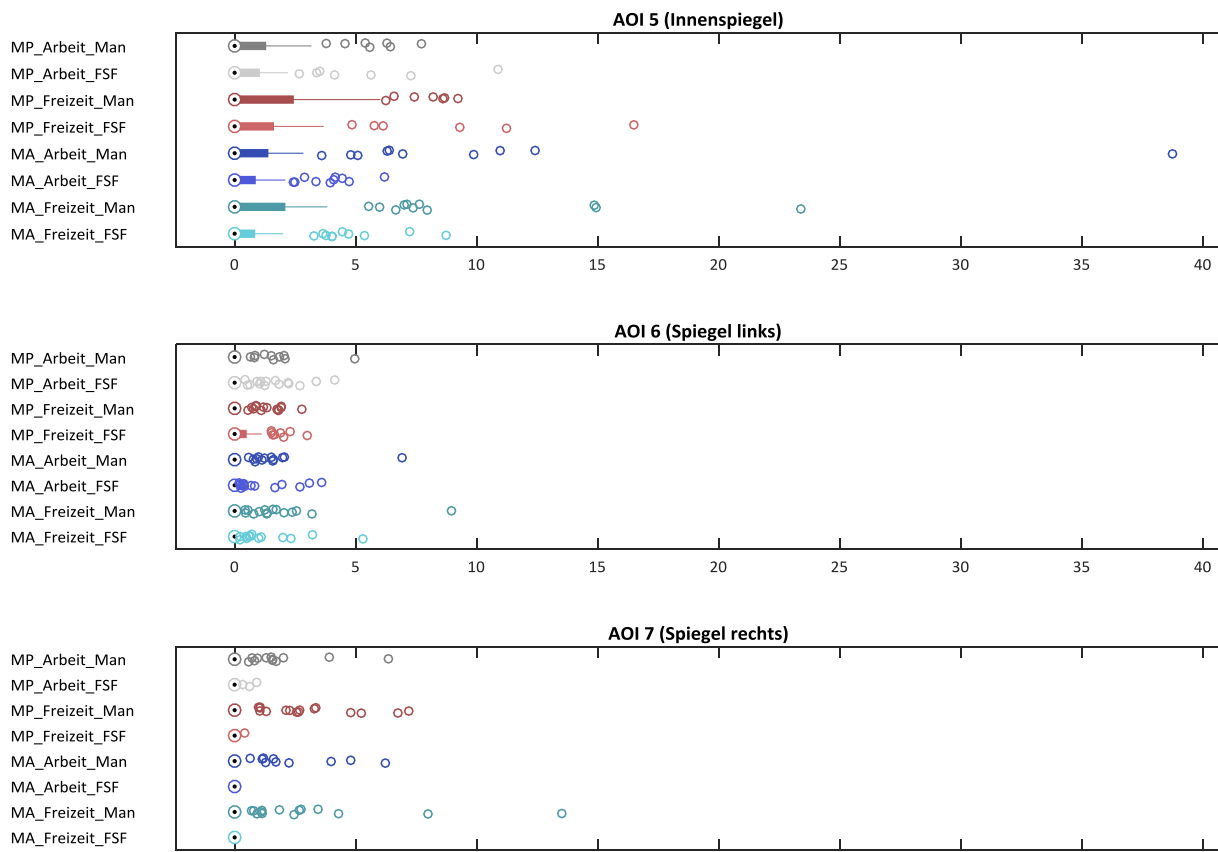


Abbildung A–8: AOIs mit geringem Blickdaueranteil: Anteilige Blickzuwendungsda-
 uern in Prozent

Tabelle A-41: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden, AOIs mit hohem Blickdaueranteil

AOI	Bedingung	N	MW	Median	SD	min	max
AOI 1 Touchdisplay unten	MP_Arbeit_Man	449	0,77	0,52	0,71	0,12	4,12
	MP_Arbeit_FSF	334	0,51	0,32	0,60	0,12	5,88
	MP_Freizeit_Man	482	0,75	0,50	0,74	0,12	4,56
	MP_Freizeit_FSF	427	0,55	0,36	0,58	0,12	5,56
	MA_Arbeit_Man	232	0,70	0,48	0,81	0,12	7,36
	MA_Arbeit_FSF	109	0,64	0,36	0,82	0,12	6,04
	MA_Freizeit_Man	295	0,76	0,52	0,73	0,12	6,24
	MA_Freizeit_FSF	185	0,67	0,44	0,75	0,12	5,76
AOI 2 Touchdisplay oben gesamt	MP_Arbeit_Man	881	1,35	0,92	1,55	0,12	17,72
	MP_Arbeit_FSF	1574	1,78	1,20	2,08	0,12	21,37
	MP_Freizeit_Man	721	1,16	0,72	1,32	0,12	12,08
	MP_Freizeit_FSF	1508	1,58	0,96	2,05	0,12	25,92
	MA_Arbeit_Man	965	1,58	1,04	1,76	0,12	22,80
	MA_Arbeit_FSF	1520	2,05	1,32	2,43	0,12	32,20
	MA_Freizeit_Man	996	1,38	0,88	1,54	0,12	15,68
	MA_Freizeit_FSF	1662	1,82	1,12	2,06	0,12	26,36
AOI 3 TD oben links	MP_Arbeit_Man	931	1,13	0,72	1,34	0,12	14,08
	MP_Arbeit_FSF	1716	1,47	0,96	1,74	0,12	18,48
	MP_Freizeit_Man	726	0,95	0,52	1,17	0,12	12,08
	MP_Freizeit_FSF	1613	1,36	0,76	1,82	0,12	19,28
AOI 4 TD oben rechts	MP_Arbeit_Man	219	0,50	0,40	0,38	0,12	2,44
	MP_Arbeit_FSF	325	0,47	0,36	0,35	0,12	1,92
	MP_Freizeit_Man	170	0,65	0,48	0,54	0,12	3,12
	MP_Freizeit_FSF	258	0,48	0,36	0,43	0,12	3,80
AOI 8 Frontscheibe	MP_Arbeit_Man	632	0,81	0,60	0,71	0,12	5,76
	MP_Arbeit_FSF	823	0,88	0,64	0,82	0,12	9,68
	MP_Freizeit_Man	600	0,90	0,64	0,77	0,12	6,28
	MP_Freizeit_FSF	860	0,90	0,64	0,80	0,12	6,88
	MA_Arbeit_Man	571	0,79	0,60	0,61	0,12	4,00
	MA_Arbeit_FSF	804	0,81	0,64	0,68	0,12	8,20
	MA_Freizeit_Man	653	0,85	0,60	0,76	0,12	5,72
	MA_Freizeit_FSF	683	0,86	0,64	0,72	0,12	6,28
AOI 9 Kombi	MP_Arbeit_Man	31	0,61	0,56	0,35	0,16	1,60
	MP_Arbeit_FSF	47	0,54	0,48	0,36	0,12	2,20
	MP_Freizeit_Man	59	0,69	0,52	0,53	0,16	2,76
	MP_Freizeit_FSF	73	0,66	0,48	0,69	0,16	5,12
	MA_Arbeit_Man	68	0,64	0,48	0,42	0,16	2,32
	MA_Arbeit_FSF	52	0,46	0,40	0,31	0,12	1,76
	MA_Freizeit_Man	99	0,69	0,60	0,43	0,12	2,16
	MA_Freizeit_FSF	85	0,54	0,40	0,36	0,16	1,84

Tabelle A–42: Tabellierte Kenngrößen zur Verteilung der Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden, AOIs mit geringem Blickdaueranteil

AOI	Bedingung	N	MW	Median	SD	min	max
AOI 5 Innenspiegel	MP_Arbeit_Man	39	0,52	0,44	0,31	0,12	1,60
	MP_Arbeit_FSF	72	0,62	0,54	0,38	0,12	2,00
	MP_Freizeit_Man	64	0,60	0,48	0,44	0,12	2,44
	MP_Freizeit_FSF	86	0,74	0,60	0,52	0,20	3,12
	MA_Arbeit_Man	66	0,62	0,52	0,51	0,16	2,72
	MA_Arbeit_FSF	64	0,66	0,54	0,43	0,16	2,28
	MA_Freizeit_Man	74	0,64	0,48	0,48	0,12	2,32
	MA_Freizeit_FSF	61	0,71	0,64	0,43	0,12	2,20
AOI 6 Spiegel links	MP_Arbeit_Man	14	0,36	0,36	0,10	0,24	0,56
	MP_Arbeit_FSF	41	0,43	0,36	0,27	0,12	1,20
	MP_Freizeit_Man	18	0,36	0,32	0,14	0,20	0,60
	MP_Freizeit_FSF	35	0,40	0,32	0,27	0,12	1,08
	MA_Arbeit_Man	14	0,45	0,38	0,31	0,16	1,40
	MA_Arbeit_FSF	29	0,47	0,40	0,36	0,13	1,68
	MA_Freizeit_Man	21	0,46	0,36	0,30	0,12	1,24
	MA_Freizeit_FSF	24	0,50	0,34	0,45	0,12	1,88
AOI 7 Spiegel rechts	MP_Arbeit_Man	17	0,40	0,32	0,27	0,16	1,04
	MP_Arbeit_FSF	8	0,20	0,18	0,06	0,12	0,28
	MP_Freizeit_Man	21	0,79	0,68	0,50	0,28	1,72
	MP_Freizeit_FSF	1	0,72	0,72	0,00	0,72	0,72
	MA_Arbeit_Man	13	0,56	0,48	0,30	0,16	1,24
	MA_Arbeit_FSF	0	-	-	-	-	-
	MA_Freizeit_Man	21	0,68	0,44	0,60	0,12	2,72
	MA_Freizeit_FSF	0	-	-	-	-	-

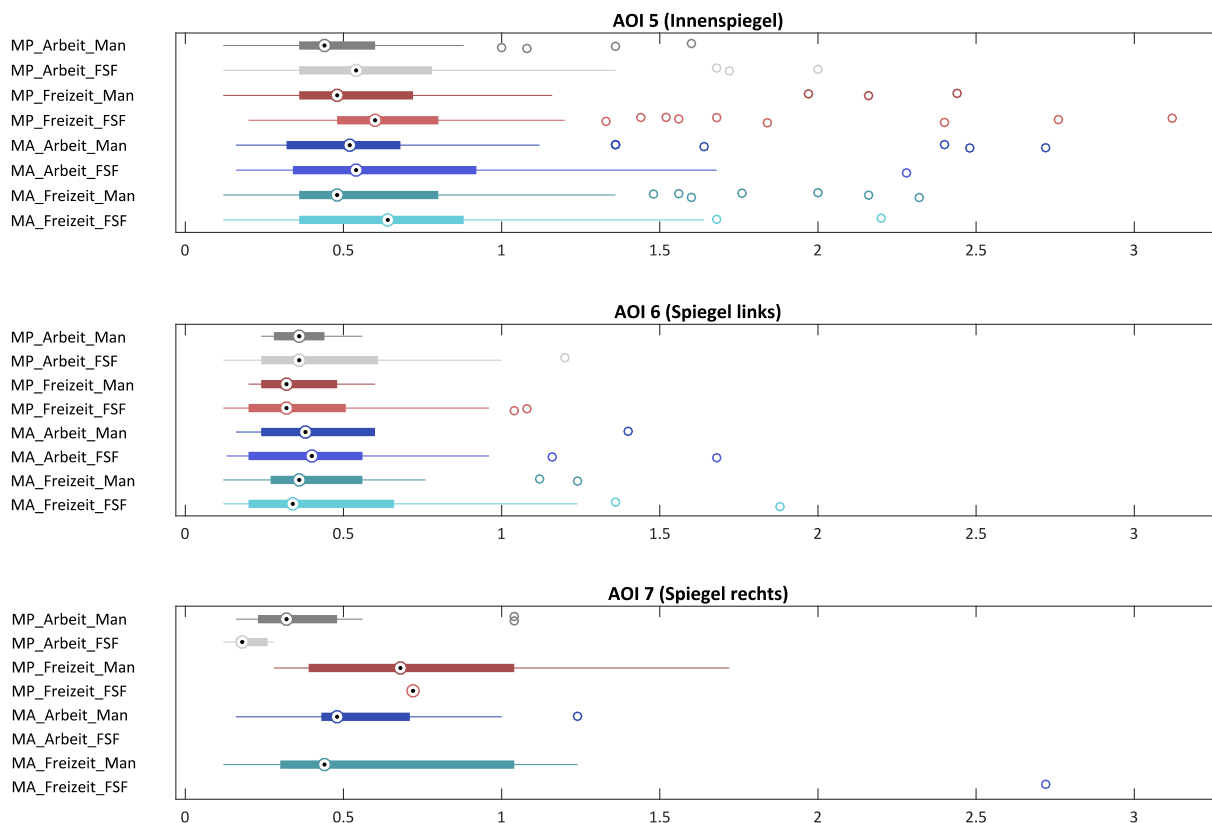


Abbildung A–9: AOIs mit geringem Blickdaueranteil: Einzelblickzuwendungszeiten in Sekunden

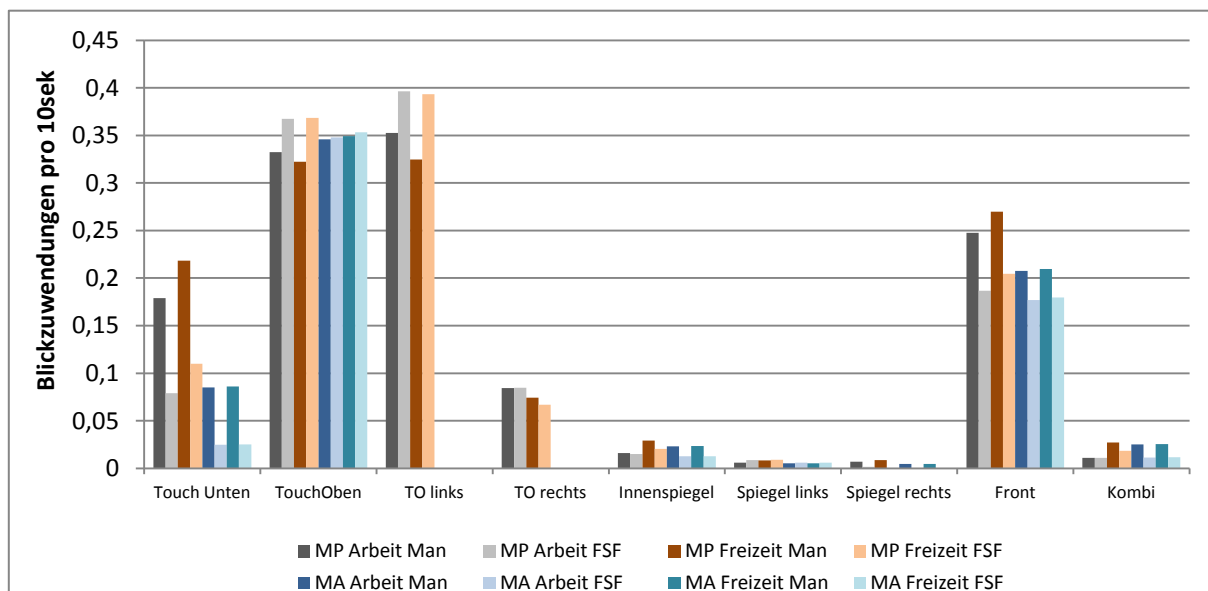


Abbildung A–10: Blickzuwendungen in die AOIs pro 10 Sekunden

Tabelle A–43: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept Manöverplan mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Arbeitskontext

		nach AOI								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
von AOI	1	.	0,023	0,442	0,050	0	0	0	0,454	0,031
	2	0,080	.	0,600	0,160	0	0	0	0,160	0
	3	0,294	0,048	.	0,195	0	0,006	0	0,431	0,026
	4	0,198	0,000	0,574	.	0	0	0	0,218	0,010
	5	0	0	0	0	.	0	0	1,000	0
	6	0	0	0,154	0	0,154	.	0	0,692	0
	7	0	0	0	0	1,000	0	.	0	0
	8	0,382	0,014	0,479	0,052	0,017	0,035	0,003	.	0,017
	9	0,227	0	0,318	0	0	0,045	0	0,409	.

Tabelle A–44: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept Manöverplan mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Freizeitkontext

		nach AOI								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
von AOI	1	.	0,034	0,393	0,090	0	0	0	0,462	0,021
	2	0,208	.	0,667	0,042	0	0	0	0,083	0,000
	3	0,365	0,045	.	0,168	0	0	0	0,385	0,037
	4	0,284	0,045	0,455	.	0	0	0	0,205	0,011
	5	0	0	0	0	.	0	0	1,000	0
	6	0,056	0	0,111	0	0,056	.	0,056	0,722	0
	7	0	0	0	0	0	0	.	1,000	0
	8	0,337	0,004	0,439	0,061	0,016	0,065	0	.	0,077
	9	0,188	0,031	0,063	0,031	0	0,063	0	0,625	.

Tabelle A–45: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept Manöverautomation mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Arbeitskontext

		nach AOI								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
von AOI	1	.	0,630	0	0	0	0	0	0,341	0,030
	2	0,356	.	0	0	0,004	0,004	0	0,598	0,038
	3	0	0	.	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	.	0	0	0	0	0
	5	0	0,313	0	0	.	0	0	0,688	0
	6	0	0,150	0	0	0	.	0	0,750	0,100
	7	0	0	0	0	0	0	.	0	0
	8	0,113	0,633	0	0	0,059	0,070	0	.	0,125
	9	0,043	0,217	0	0	0	0,022	0	0,717	.

Tabelle A-46: Markov-Matrix mit Übergangswahrscheinlichkeiten für das Konzept Manöverautomation mit der fahrfremden Tätigkeit aus dem Freizeitkontext

		nach AOI								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
von AOI	1	.	0,665	0	0	0	0	0	0,311	0,024
	2	0,371	.	0	0	0,010	0	0,003	0,555	0,061
	3	0	0	.	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	.	0	0	0	0	0
	5	0,118	0,353	0	0	.	0	0	0,529	0
	6	0,048	0,286	0	0	0,095	.	0	0,571	0
	7	0	1,000	0	0	0	0	.	0	0
	8	0,102	0,658	0	0	0,044	0,073	0	.	0,124
	9	0,088	0,175	0	0	0	0,018	0	0,719	.

Tabelle A-47: Detaillierte Aufstellung der Blickzuwendung vor und zum Zeitpunkt des Manöverauftrags

Blickzuwendung während Trigger(T)							
AOI	Arbeit			Freizeit			Overall
	Meldung	Trigger	Gesamt	Meldung	Trigger	Gesamt	
1 Touch unten	87,93%	95,24%	89,87%	87,50%	95,00%	89,71%	89,80%
2 Touch oben	5,17%	4,76%	5,06%	6,25%	0%	4,41%	4,76%
3 Touch oben li	3,45%	0%	2,53%	2,08%	0%	1,47%	2,04%
4 Touch oben re	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5 Innenspiegel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 Spiegel li	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7 Spiegel re	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8 Frontscheibe	3,45%	0%	2,53%	4,17%	5,00%	4,41%	3,40%
9 Kombi	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
letzte Blickzuwendung vor Trigger (T-1)							
AOI	Arbeit			Freizeit			Overall
	Meldung	Trigger	Gesamt	Meldung	Trigger	Gesamt	
1 Touch unten	8,62%	0%	6,33%	8,33%	15,00%	10,29%	8,16%
2 Touch oben	1,72%	0%	1,27%	2,08%	10,00%	4,41%	2,72%
3 Touch oben li	32,76%	23,81%	30,38%	14,58%	15,00%	14,71%	23,13%
4 Touch oben re	8,62%	4,76%	7,59%	14,58%	5,00%	11,76%	9,52%
5 Innenspiegel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 Spiegel li	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7 Spiegel re	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8 Frontscheibe	43,10%	71,43%	50,63%	52,08%	55,00%	52,94%	51,70%
9 Kombi	5,17%	0%	3,80%	8,33%	0%	5,88%	4,76%
vorletzte Blickzuwendung vor Trigger (T-2)							
AOI	Arbeit			Freizeit			Overall
	Meldung	Trigger	Gesamt	Meldung	Trigger	Gesamt	
1 Touch unten	50,00%	61,90%	53,16%	50,00%	65,00%	54,41%	53,74%
2 Touch oben	1,72%	0%	1,27%	4,17%	0%	2,94%	2,04%
3 Touch oben li	25,86%	23,81%	25,32%	12,50%	15,00%	13,24%	19,73%
4 Touch oben re	13,79%	9,52%	12,66%	16,67%	0%	11,76%	12,24%
5 Innenspiegel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 Spiegel li	0%	0%	0%	2,08%	0%	1,47%	0,68%
7 Spiegel re	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8 Frontscheibe	8,62%	0%	6,33%	12,50%	20,00%	14,71%	10,20%
9 Kombi	0%	4,76%	1,27%	2,08%	0%	1,47%	1,36%
<i>Anzahl</i>	58	21	79	48	20	68	147

Anhang B

B.1 Auflistung betreuter studentischer Arbeiten

Themenschwerpunkt automatisiertes Fahren allgemein:

Schneider, F. (2013). *Untersuchung und Bewertung innovativer Interieurkomponenten*. Semesterarbeit, TU München. München.

Saygin, M. C. (2014). *Automationseffekte beim hochautomatisierten Fahren*. Bachelorarbeit, TU München. München.

Hecht, T. (2014). *Nutzererwartungen an das automatisierte Fahren*. Bachelorarbeit, TU München. München.

Durchführung der ersten Studie:

Schmidt, A. (2014). *Interaktion mit höher automatisierten Fahrzeugen. Gestaltung und Akzeptanz der Mensch-Maschine-Schnittstelle*. Masterarbeit, TU München. München.

Anforderungssammlung und Entwurf von Interaktions- und Fahrerplatzkonzepten:

Bissbort, F. (2015). *Konzeptionierung des Fahrerarbeitsplatzes für das hochautomatisierte Fahren*. Masterarbeit, TU München. München.

Durchführung der zweiten Studie:

Fuchs, A. (2016). *Evaluation von Anzeige- und Bedienkonzepten für das automatisierte Fahren. Fahrstudie zur Messung von Akzeptanz und Usability*. Masterarbeit, KU Eichstätt. Eichstätt.

B.2 Auflistung durch Fremdfirmen umgesetzter Umfänge der HMI-Komponenten

Studie 1:

Hardware- und Elektronikumbauten, Softwareumsetzung User-Interface:

Germaneers GmbH, 85139 Wettstetten

Studie 2:

Hardware- und Elektronikumbauten: *Germaneers GmbH, 85139 Wettstetten*

Softwareumsetzung User-Interface: *Humain GmbH, 50933 Köln*

Modellbau: *GreMod GmbH, 85092 Kösching*

Interieurdesign: *FORMVISION GmbH, 85053 Ingolstadt*