



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Ergonomie

Entwicklung und Evaluation eines integrativen MMI Gesamtkonzeptes zur Handlungsunterstützung für den urbanen Verkehr

Dipl.-Ing. Univ. Martin Götze

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

Vorsitzende: Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
2. Prof. Dr. phil. Mark Vollrath

Die Dissertation wurde am 19.10.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 25.04.2018 angenommen.

*„Man merkt nie, was schon getan wurde,
man sieht immer nur, was noch zu tun bleibt.“*

Marie Curie

Danksagung

Ich möchte diese Seite nutzen, um den vielen Personen zu danken, die mich die letzten Jahre begleitet haben und einen Anteil am Gelingen dieser Promotion hatten. Zu aller erst sei hier mein Doktorvater, Prof. Bengler, erwähnt, der früh erkannt hat, dass stetige und konstruktive Kritik an meiner Arbeit nötig sind, um ein stagnieren meinerseits im Prozess zu einer erfolgreichen Dissertation zu verhindern. Auch wenn ich nach unseren wertvollen Diskussionen manchmal die Sinnhaftigkeit meiner Promotion in Frage gestellt habe, bin ich dadurch doch immer den notwendigen Schritt nach vorne gekommen. Dafür möchte ich ihm besonders danken. Außerdem danke ich Prof. Mark Vollrath für die Übernahme des Zweitprüfers, nachdem er mich schon im UR:BAN Projekt vier Jahre begleitet und dort fachlich einen großen Beitrag zu meiner Arbeit geleistet hat.

Meine ehemaligen Kollegen am Lehrstuhl für Ergonomie haben einen großen Anteil daran, in den letzten Jahren immer wieder gerne die Arbeit aufzunehmen. Ich habe die interdisziplinäre und kollegiale Arbeitsumgebung sehr genossen. Neben dem nötigen Spaß in der Kaffee-Küche konnte man sich stets auf die fachliche Unterstützung der Kollegen verlassen. Allen voran möchte ich Dr. Dino Bortot nennen, der mich nicht nur als Student betreut, damit meine Begeisterung für die Wissenschaft entfacht und mich auch anschließend an den Lehrstuhl geholt hat, sondern der auch danach eine Art Mentor war. Ähnliches gilt für Dr. Christian Gold, der für Fragen jeglicher Art immer zur Verfügung stand. Die Diskussionen mit dir und die Unterstützung bei so vielen Themen haben mir immer sehr geholfen. Weitere wichtige Kollegen und Freunde in dieser Zeit waren Moritz Körber, Jonas Schmidler und Uwe Herbst. Ohne euch wäre die Zeit am Lehrstuhl nur halb so lustig, gefühlt doppelt so lang und thematisch viel zu eng gewesen. Weiterer besonderer Dank gilt meiner Bürokollegin Dr. Antonia Conti, die immer ein offenes Ohr für Fragen und Themen jeglicher Art hatte. Nicht unerwähnt bleiben sollte auch Dr. Christoph Rommerskirchen, der nicht nur mir, sondern auch fast allen meinen Studenten mehr als einmal den Tag gerettet hat, wenn der Fahrsimulator mal wieder ein Eigenleben entwickelte. Er hat dabei stets die eigene Arbeit hintenangestellt, um uns zu helfen. Noch ein paar Namen, die ich nicht vergessen möchte, sind: Patrick Gontar, Anna Feldhütter, Jonas Radlmayr, Yucheng Yang und natürlich auch alle anderen ehemaligen Kollegen. Danke für die schönen fünf Jahre.

Der größte Dank aber gebührt meiner Familie, die mich schon immer bestmöglich unterstützt und gefördert hat, aber vor allem meiner Freundin Julia, die mich in der Promotionszeit von Anfang an begleitet, besonders im letzten Jahr aufgrund der Promotion viel zurückgesteckt hat und stets mein schlechtes Gewissen war, wenn ich mal ein Wochenende Pause machen wollte. Ohne sie hätte ich es vermutlich nicht geschafft.

Kurzfassung

Ziel der Arbeit war es ein MMI-Gesamtkonzept zur Handlungsempfehlung für den urbanen Verkehr zu entwickeln, was den erhöhten systemergonomischen Anforderungen dieses Szenarios gerecht wird und den Fahrer unterstützt, um sein Fahrzeug stressfrei, komfortabel und effizient ans Ziel zu bringen. Für einen multi-modalen Lösungsansatz wurden die Fahrzeugkomponenten des Head-Up Displays, des Kombiinstrumentes und des Aktiven Gaspedals ausgewählt. In einem ersten Schritt wurden mithilfe einer Anforderungsanalyse qualitative und quantitative systemergonomische Aspekte, sowohl für diese Komponenten als auch für den städtischen Verkehr und Mensch-Maschine-Interfaces im Allgemeinen, ermittelt. Vorhandene MMI-Systeme sowie die Ergebnisse der Analyse bildeten die Grundlage für einen ersten Konzeptentwurf, der anschließend im statischen Fahrsimulator implementiert und evaluiert wurde. Iterativ erfolgten weitere Verbesserungen der Darstellungsart, des Anzeigeortes sowie der Anzeigezeit, mit erneuten Evaluationen, die ein finales Gesamtkonzept zur Handlungsunterstützung zum Ergebnis hatten. Die maßgebliche Eigenschaft dieses Mensch-Maschine-Interfaces geht dabei auf eine handlungsorientierte Darstellungsart der Informationen zurück, welche gleichzeitig dem integrativen Charakter eines Gesamtsystems gerecht wird. Im Anpassungsprozess, als Konsequenz durchgeführter Simulator- und Realversuche, zeigten sich vor allem Stärken in der Unterstützung in geschwindigkeitsabhängigen Szenarien wie Geschwindigkeitshaltung, eine effiziente Durchfahrt von Lichtsignalanlagen oder der Unterstützung an Kreuzungen. Die sich daraus ergebenden Vorteile der Erweiterbarkeit (um Funktionen und Komponenten) sowie handlungsorientierten Darstellungsart ergeben ein zukunftssicheres MMI-Gesamtkonzept, was auch in künftigen Szenarien und Automationsgraden zuverlässig bleibt.

Abstract

The aim of this dissertation was to develop a new automotive human-machine-interface (HMI) for recommended actions to support drivers, in an urban environment, reach their destination with less stress, increased comfort and efficiency. A multimodal HMI concept was conceived based on the following vehicular components: head-up display, instrument cluster and force feedback pedal. In a first step, a requirements analysis helped to find qualitative and quantitative characteristics of the aforementioned components and the scenario of urban driving. The results were the basis for a first design concept, which was later implemented and evaluated in a driving simulation. Improvements in the presentation of the information as well as the location and timing of the information presentation were made in an iterative process and subsequently evaluated. A main goal of the HMI concept was to present information in a generic, overarching and integrative way. As a result, from several studies, one of the main benefits was found when supporting the driver in speed-related scenarios. Advantages of such an HMI concept are discussed that have been derived from the several experiments reported. These advantages are discussed in terms of having good HMI functional and component expandability and presenting driver-centered information in an action oriented way. To conclude, a future-proof overall concept to support emerging scenarios as well as higher automation levels is presented.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	IV
Kurzfassung.....	VI
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis.....	XV
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung und Problemstellung.....	2
1.3 Abgrenzung der Vorgehensweise.....	3
2 Grundlagen	5
2.1 Unfalldatenanalyse	5
2.2 Unfallursachen.....	6
2.3 Systemergonomischer Lösungsansatz	7
2.3.1 Systematisierung der Fahraufgabe.....	7
2.3.2 Grundlagen der Informationsverarbeitung.....	9
2.3.3 Grenzen der Informationsverarbeitung.....	11
2.3.4 Belastungs- und Beanspruchungsmodell	13
2.4 Eigenschaften des urbanen Verkehrs.....	14
3 Stand der Technik.....	16
3.1 Fahrerassistenzsysteme unterteilt nach Modalität und Richtung.....	16
3.2 Technologie & Konzepte	19
3.2.1 Head-Up Display	20
3.2.2 Kombiinstrument	23
3.2.3 Aktives Gaspedal.....	25
3.3 Aktuelle MMI-Konzepte	27
4 Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr.....	31

Inhaltsverzeichnis

4.1	Anforderungen an Warn- und Informationskonzepte	31
4.2	Systemergonomische Anforderungen an die MMI-Komponenten	35
4.2.1	Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Head-Up Displays.....	36
4.2.2	Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Kombiinstrument	38
4.2.3	Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Aktiven Gaspedal.....	41
4.3	Weitere Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an den Fahrer im urbanen Raum durch Evaluation	42
4.3.1	Methodik.....	44
4.3.2	Kernergebnisse.....	44
4.3.3	Diskussion	46
4.4	Zusammenfassung.....	46
5	Kennwerte zur Evaluation der MMI-Konzepte.....	48
5.1	Sicheres Fahren.....	48
5.2	Komfortables Fahren	50
5.3	Effizientes Fahren.....	51
6	Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes.....	52
6.1	Theoretische Umsetzung eines ersten Konzeptentwurfs	52
6.1.1	Visuelle Umsetzung.....	52
6.1.2	Haptische Umsetzung	54
6.1.3	Umsetzungsbeispiele	55
6.2	Experiment 1: Weiterentwicklung und Evaluation des MMI-Konzeptes zur Unterstützung des Fahrers in Längsrichtung im urbanen Verkehr.....	57
6.2.1	Mensch-Maschine-Interface	57
6.2.2	Fahrsimulatorumgebung	59
6.2.3	Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	61
6.2.4	Hypothesen.....	61
6.2.5	Ergebnisse	62

Inhaltsverzeichnis

6.2.6	Zusammenfassung.....	69
6.3	Experiment 2: Umsetzung und Evaluation eines handlungszentrierten Head-Up Display Konzeptes	70
6.3.1	Mensch-Maschine-Interface	71
6.3.2	Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	72
6.3.3	Hypothesen.....	76
6.3.4	Ergebnisse	76
6.3.5	Zusammenfassung.....	80
6.4	Experiment 3: Ableitung und Evaluation des weiterentwickelten MMI-Konzeptes im statischen Fahrsimulator.....	82
6.4.1	Mensch-Maschine-Interface	82
6.4.2	Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	85
6.4.3	Hypothesen.....	86
6.4.4	Ergebnisse	87
6.4.5	Zusammenfassung.....	94
6.5	Experiment 4: Evaluation des finalen MMI-Konzeptes	96
6.5.1	Mensch-Maschine-Interface	96
6.5.2	Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	101
6.5.3	Hypothesen.....	101
6.5.4	Ergebnisse	102
6.5.5	Zusammenfassung.....	110
7	Zusammenfassung und Diskussion.....	112
7.1	Ergebnisse und Weiterentwicklung des Gesamtkonzeptes.....	112
7.2	Komponentenspezifische Ergebnisse.....	115
7.3	Weiterentwicklungspotential und Ausblick	116
7.4	Limitationen und Verbesserungspotential.....	117
7.5	Fazit	119
	Quellenverzeichnis	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf der getöteten Personen im Straßenverkehr von 1953 – 2011 mit den jeweiligen Meilensteinen zur Verbesserung der Sicherheit (Statistisches Bundesamt, 2013).	5
Abbildung 2: Die häufigsten Fehlverhalten in der Stadt bei Unfällen mit Personenschaden 2011 unterteilt nach jungen (18 bis 24 Jahre) und älteren (65+ Jahre) Fahrern (Statistisches Bundesamt, 2013).	6
Abbildung 3: Unterteilung der Primären Aufgabe der Fahraufgabe in die Unteraufgaben der Navigation, Führung und Stabilisierung (nach Geiser, 1985).	8
Abbildung 4: Die Clusterung des Fahrerarbeitsplatzes in die Anzeigeelemente und Bedienteile für die Primäre, Sekundäre und Tertiäre Aufgabe in einem BMW 7er (nach Bubb et al., 2015).	8
Abbildung 5: Drei-Ebenen-Modell mit der Unterteilung in Wissensbasiertes, Regelbasiertes, und Fertigkeitbasiertes Verhalten (Eigene Darstellung nach Rasmussen, 1983).	10
Abbildung 6: Zusammenhang der einzelnen Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und der drei Subaufgaben der primären Fahraufgabe nach Geiser (1985) (aus Gründl, 2005).	11
Abbildung 7: Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis mit Input durch die Aufgabe und Umwelt sowie Output der Fahrriehtung und Geschwindigkeit (Darstellung aus der Vorlesung am Lehrstuhl für Ergonomie).	12
Abbildung 8: Zusammenhang zwischen der Belastung (Workload) und der Leistung (Performance) bei unterschiedlichen Beanspruchungen nach De Waard (1996)	13
Abbildung 9: Typisches urbanes Szenario (in Berlin), bei dem die erhöhte Komplexität des urbanen Verkehrs durch eine Vielzahl an Verkehrsteilnehmern, statischen und dynamischen Objekten sowie verkehrsbedingten Anforderungen deutlich zu erkennen ist. © iStock.com/Bim	15
Abbildung 10: Gesichtsbereich im PKW der Fahrszene und des HUD. Der virtuelle Abstand zwischen 2,2 – 2,5 m erlaubt ein Adaption der Augen in die Ferne (Raubitschek, 2008).	21
Abbildung 11: Kombiinstrument mit großem freiprogrammierbarem Grafikdisplay in der Mitte, welches die Anzeige von Nachtsichtinformationen, der Geschwindigkeit und ACC-Informationen je nach Situation ermöglicht (Winner et al. , 2015).	25
Abbildung 12: Aktives Gaspedal in elektromechanischer Ausführung (Zell et al., 2010).	26
Abbildung 13: Instrument Cluster des SUV Peugeot 3008 von 2016 mit unterschiedlichen MMI-Konzept-Ausführungen und variierenden Anzeigeorten gleicher Informationen	28
Abbildung 14: Kombiinstrument des BMW 7er G11 von 2015 aus dem Premiumsegment mit freiprogrammierbarer Anzeige und den typischen Rundinstrumenten	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 15: Head-Up Display Darstellung im aktuellen BMW 5er Modell von 2017 mit aktiver Navigation und Karte, ACC-System sowie einer Verkehrszeichenerkennung und der Geschwindigkeit	29
Abbildung 16: Darstellung der Informationen nach dem "Gesetz der Nähe", um zusammengehörige Inhalte gruppiert zu präsentieren. Als Beispiel sind hier eine frühe Version (links) und die finale Version (rechts) des Anzeigekonzepts für das Head-Up Display beispielhaft gewählt.	33
Abbildung 17: Der NASA-TLX Score für die sechs einzelnen Kategorien inkl. Standardabweichung ohne Gewichtung der einzelnen Items (Götze & Bengler, 2015).....	45
Abbildung 18: Schematische Aufteilung des Head-Up Displays (links) sowie eine beispielhafte Darstellung im Fahrzustand (rechts) (nach Bissbort, 2013).....	53
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Kombiinstrumentes mit den einzelnen Segmenten (nach Bissbort, 2013).....	54
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Umsetzungsbeispiels in den jeweiligen Stufen des Szenarios (nach Bissbort, 2013).....	55
Abbildung 21: Einteilung der einzelnen Cluster im HUD in der mehrfarbigen Ausführung (links) und der monochromen Version (rechts) (nach Ruff, 2014).....	57
Abbildung 22: Die unterschiedlichen Darstellungen im Kombiinstrument der verschiedenen Systeme. Anzeige des Grüne-Welle-Assistenten (links), Folgeassistenten (Mitte) und beider Systeme gleichzeitig aktiv (rechts) (aus Götze, Ruff, & Bengler, 2015)	58
Abbildung 23: Darstellung der verschiedenen HUD Anzeigen des Warnassistenten bei den jeweiligen TTC Zeiten der Warn-Kaskade (Götze et al., 2015)	58
Abbildung 24: Aufbau des statischen Fahrsimulators am Lehrstuhl für Ergonomie inkl. der jeweiligen Projektionsleinwände sowie des Leitstandes (Bildatenbank am Lehrstuhl für Ergonomie).....	60
Abbildung 25: Individuelle Geschwindigkeitsverläufe der einzelnen Probanden in einer 30er Zone mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015).....	63
Abbildung 26: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Anfahrt (ca. 400m) auf eine Lichtsignalanlage mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Ruff, 2014)	64
Abbildung 27: Zeitlicher Abstand zum Vorderfahrzeug während einer Fahrfahrt mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (aus Ruff, 2014)	66
Abbildung 28: Visuelle Darstellung der einzelnen Gefahrensituationen für beide Strecken mit typischen urbanen Szenarien, die zu kritischen Interaktionen mit Fremdverkehr führen können..	66
Abbildung 29: Visualisierung der Blickverteilung mit Hilfe einer Heatmap für die Durchgänge mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Ruff, 2014).....	68
Abbildung 30: Subjektive Beanspruchung der einzelnen Fahrten mit Gesamtwert (und Standardabweichung) des NASA-rTLX (links) sowie der Bewertung der Sub-Skalen (rechts)	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 31: Darstellung des neues HUD Konzeptes nach der ersten Entwurfsphase aufbauend auf der Ring-Metapher. Toter-Winkel-Assistent (links) und alle Systeme aktiv (rechts).....	70
Abbildung 32: Finale Darstellung des neuen Head-Up Konzeptes nach der zweiten Entwurfsphase. Die Anzeige bei allen aktiven Systemen (links) und bei aktiver Navigation (rechts).....	71
Abbildung 33: Aktuelle Head-Up Konzepte und ihre typische Aufteilung in drei Cluster; eine vereinfachte beispielhafte Version links von Breisinger (2007) sowie die Konzeptdarstellung (rechts)	72
Abbildung 34: Aufbau und Abmessungen (inkl. virtueller Abstände) der Versuchsumgebung zwischen dem Fahrzeug, dem Head-Up Display sowie der Leinwand (Götze, Schweiger, Eisner, & Bengler, 2016).....	73
Abbildung 35: Versuchsfahrzeug positioniert vor der Projektionsfläche (links); das Tastenfeld zur Steuerung der CRT auf der Armlehne der Fahrertür (unten rechts) und der Joystick in der Mittelkonsole zur Steuerung der CTT (unten links); beispielhafte Darstellung der CTT (oben)	74
Abbildung 36: Beispiele der verwendeten Stimuli in den unterschiedlichen Kategorien für das jeweilige Designkonzept. Die linke Variante beruht auf einer Version von Breisinger (2007). Die generische bzw. handlungszentrierte Version (rechts) verfolgt einen neuen Ansatz.	75
Abbildung 37: Zeitlicher Ablauf der Okklusionsaufgabe mit den einzelnen Anzeigezeiten und Darstellungsorten für die Aufgabe	76
Abbildung 38: Mittlere Reaktionszeiten mit Standardabweichung für die drei Informationskategorien „Geschwindigkeit“, „Navigation“ und „Warnung“ (aus Götze et al., 2016).....	78
Abbildung 39: Mittlere Genauigkeit und Standardabweichung für die einzelnen Okklusionszeiten beim Ablesen der Informationen für das jeweilige Designkonzept (Götze et al., 2016).....	79
Abbildung 40: Änderungen im Head-Up Display Darstellungskonzept vom ersten Entwurf (links) zur verbesserten Version (rechts) mit generischer FAS Information im Zentrum.....	83
Abbildung 41: Unterschiedliche Darstellungsarten der generischen FAS im mittleren Cluster des Head-Up Displays für Empfehlungen in Längsrichtung (oben) sowie Querrichtung (unten)	84
Abbildung 42: Beispielhafte Darstellung des Designs im Kombiinstrument mit aktivem Abstandswarner und der Verkehrszeichenerkennung. Im oberen Bereich des Displays können zusätzlich Navigationsempfehlungen eingeblendet werden.....	84
Abbildung 43: Verlauf der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf einer Strecke von 400 m mit zwei Lichtsignalanlagen (bei 200 m und 370 m) ohne wartende Fahrzeuge für den Versuchsteil „Längsrichtung“ (Belherazem, 2015).....	89
Abbildung 44: Ergebnis des SUS-Fragebogens mit vergleichenden Noten- und Akzeptanzskalen nach Bangor et al. (2008). Das untersuchte Konzept erreichte im Versuch 78 Punkte.....	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 45: Beispielhafte Darstellung in den Komponenten im MMI-Konzept mit geclustertem Head-Up Display (oben) sowie dem Bereich zwischen den Rundinstrumenten im Kombiinstrument (rechts)	96
Abbildung 46: Grunddarstellung des visuellen MMI inkl. der variablen Informationsinhalte sowie dem Darstellungsort. Head-Up Display Inhalte werden mit geringerem Detailgrad und zeitlich begrenzt dargestellt, während die Informationen im Kombiinstrument dauerhaft verfügbar sind.	97
Abbildung 47: Priorisierung der aktiven FAS hinsichtlich der Fahrsituation (aus Wallinger, 2016, S. 43)	99
Abbildung 48: Umsetzung des überarbeiteten generischen MMI-Konzeptes (oben) mit der Darstellungsart im Kombiinstrument und jeweils rechts daneben der im HUD; und die Darstellung für die symbol-basierte Baseline sowie die Herkunft der Symbole (unten)	100
Abbildung 49: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Fahrt durch die 30er Zone mit den beiden Anzeigevarianten der Geschwindigkeitsempfehlungen (angelehnt an Wallinger, 2016)	103
Abbildung 50: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei aufeinanderfolgenden LSA für beide Anzeigeconzepte (angelehnt an Wallinger, 2016)	104
Abbildung 51: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Anfahrt auf eine LSA mit wartenden Vorderfahrzeugen für beide MMI-Varianten (Wallinger, 2016)	105
Abbildung 52: Bewertung des jeweiligen Gesamtsystems bzgl. der Komforterhöhung, Stressreduzierung und der einfachen kraftstoffsparenden Fahrweise (mit Standardabweichung). 108	
Abbildung 53: SUS Score für beide Interaktionsconzepte zur Bewertung der Usability	109
Abbildung 54: Iterative Entwicklung des Anzeigeconzeptes im Head-Up Display vom ersten Konzeptentwurf bis zum finalen Design und den jeweils angewandten Methoden.	113
Abbildung 55: Überblick über grundlegende systemergonomischen Empfehlungen sowie Design-Vorschläge für die MMI-Komponenten Head-Up Display und Aktives Gaspedal (Rittger & Götze, 2018).....	116
Abbildung 56: Mögliche Darstellung der unterschiedlichen Automationsgrade für Level 0 bis Level 3 Systeme nach SAE Taxonomie (von links nach rechts mit steigender Automationsstufe). Die Darstellung links stellt das Grundgerüst dar, welches mit weiteren Informationen jederzeit erweitert werden kann.	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Fahrerassistenzsysteme und ihrer Funktion bei der Handlungsunterstützung in Längsrichtung mit der jeweiligen Ausgabemodalität im MMI.....	18
Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Fahrerassistenzsysteme und ihrer Funktion bei der Handlungsunterstützung in Querrichtung mit der jeweiligen Ausgabemodalität im MMI.....	19
Tabelle 3: Sammlung der systemergonomischen qualitativen Anforderungen die durch die Komplexität des urbanen Verkehrs entstehen sowie Warnungen und Informationen im Allgemeinen mit Ergänzung der jeweiligen Quelle.....	34
Tabelle 4: Auflistung der allgemeinen quantitativen Anforderungen bei der Darstellung von Informationen und Warnungen.....	35
Tabelle 5: Gesammelte qualitative Empfehlungen bei der Darstellung von Informationen im Head-Up Display mit der jeweiligen Quelle.....	37
Tabelle 6: Überblick der gefundenen quantitativen Anforderungen zur optimalen Darstellung verwendeter Anzeigen und Informationen im Head-Up Display	38
Tabelle 7: Übersicht gefundener qualitativer Anforderungen zur optimalen Gestaltung und Auslegung von Informationen im Kombiinstrument als Teil eines multi-modalen Gesamtkonzeptes	39
Tabelle 8: Gesammelte Darstellung gefundener quantitativer Anforderungen für das Kombiinstrument mit Berücksichtigung der Relevanz für das hier gewählte Ziel eines neuen Anzeigekonzeptes	40
Tabelle 9: Übersicht relevanter qualitativer Anforderungen für die Darstellung von Informationen im urbanen Verkehr an das Aktive Gaspedal.....	41
Tabelle 10: Gefundene quantitative Anforderungen an das Aktive Gaspedal für den urbanen Verkehr	42
Tabelle 11: Kategorisierung nach Informationsinhalt inkl. Definitionsbeschreibung und Beispieldarstellung (übersetzt aus Götze et al., 2014).....	43
Tabelle 12: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen im Kombiinstrument.....	47
Tabelle 13: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen im Head-Up Display	47
Tabelle 14: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen durch das Aktive Gaspedal	47
Tabelle 15: Die verwendeten Metriken zur Bewertung der Sicherheitserhöhung des Gesamtkonzeptes	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 16: Verwendete objektive und subjektive Metriken zur Bewertung einer komfortablen und stressfreien Fahrt	50
Tabelle 17: Beschreibung aller Metriken zur Beurteilung einer effizienten Fahrweise.....	51
Tabelle 18: Beispielhaftes Szenario für das Interaktionskonzept mit den drei Komponenten und den jeweiligen Darstellungsinhalten (nach Bissbort, 2013)	55
Tabelle 19: Darstellung und Beschreibung der unterschiedlichen Phasen des Beispielszenarios inklusive der jeweiligen visuellen und haptischen Rückmeldungen für den Fahrer	56
Tabelle 20: Prozentualer Zeitanteil an Geschwindigkeitsüberschreitungen pro Strecke von mindestens 5 km/h mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept	63
Tabelle 21: Mittlerer Geschwindigkeitsverlust bei der Anfahrt auf eine Lichtsignalanlage mit Empfehlungen des MMI und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015)	65
Tabelle 22: Kumulierte Standzeiten vor LSA für beide Streckenabschnitte (Götze et al., 2015)	65
Tabelle 23: Reaktionszeiten auf Meldungen im Warnassistenten bei den jeweiligen Szenarien mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015).....	67
Tabelle 24: Reaktionszeiten auf Bremsempfehlungen im Head-Up Display bei mehrfarbiger und monochromer Darstellung des Interaktionskonzeptes	67
Tabelle 25: Mittlere Antwortgenauigkeit für die beiden Designkonzepte bei der CRT Aufgabe.....	77
Tabelle 26: Mittlere Reaktionszeiten für die beiden Designkonzepte bei der CRT Aufgabe.	77
Tabelle 27: Mittlere Genauigkeit (und Standardabweichung) der Reaktionen für alle drei Kategorien des Anzeigehaltes für die Choice-Reaction-Time Aufgabe.....	77
Tabelle 28: Mittlere Genauigkeit (und SD) beim Ablesen von Informationen dargestellt mit den beiden Designkonzepten bei der Okklusionsaufgabe.....	79
Tabelle 29: Implementierte Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung in Längs- und Querrichtung..	82
Tabelle 30: Matrix der unterschiedlichen Variationen für Strecke, Konzept und Durchgang bei den einzelnen Probandenkollektiven.	86
Tabelle 31: Prozentuale Geschwindigkeitsüberschreitungen von mindestens 5 km/h mit und ohne Unterstützung des MMI Gesamtkonzeptes für die beiden Strecken des Versuches „Querrichtung“	88
Tabelle 32: Prozentualer Anteil der Überschreitungen der erlaubten Geschwindigkeit um 5 km/h oder mehr auf der Gesamtstrecke des Versuches mit und ohne MMI Empfehlungen im Teil „Längsrichtung“	88
Tabelle 33: T-Test der Mittelwertgleichheit der Geschwindigkeiten innerhalb des Fehlfunktionsabschnittes des MMI Konzeptes im Versuch „Längsrichtung“	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 34: Mittlere kumulierte Standzeiten vor Lichtsignalanlagen im Versuchsteil „Längsrichtung“ für Strecke 1 und Strecke 2 für die Fahrten mit und ohne Unterstützung durch das MMI.....	90
Tabelle 35: Vergleich der Geschwindigkeiten bei der Einfahrt in Engstellen in einer 30er Zone mit und ohne Unterstützung des MMI Konzeptes	92
Tabelle 36: Subjektiv empfundene Beanspruchung ermittelt durch den NASA-TLX Overall Workload Index für beide Versuchsteile jeweils mit Vergleich der MMI Variante und der zugehörigen Baseline	93
Tabelle 37: Zeitanteile der gemessenen Geschwindigkeitsüberschreitungen auf beiden Strecken bei der Baseline-Fahrt sowie der Fahrt mit generischem MMI-Konzept	103
Tabelle 38: Minimaler Abstand und minimaler TTC-Wert zu einer Gefahrensituation bei der Nutzung mit dem Baseline-Konzept bzw. der neuen MMI-Variante (inkl. Standardabweichung).....	106
Tabelle 39: Mittelwerte und Standardabweichung der Bewertung beider Anzeigekonzepte zur Unterstützung des Fahrers zum komfortablen, stressfreien und effizienten Fahren in der Stadt...	108

*„Ein vorsichtiger Fahrer ist einer, der nach beiden Seiten schaut,
wenn er bei Rot über die Kreuzung fährt“ – Ralph Marterie*

1 Einleitung

Bezugnehmend auf das Zitat von Marterie über einen vorsichtigen Fahrer, welcher die Kreuzung mit Lichtsignalanlage (LSA) überquert und dabei zwar den Querverkehr beachtet, aber die aktuelle Schaltung der LSA übersieht oder ignoriert, stellt sich die Frage nach möglichem Unterstützungspotential in der Entscheidungsfindung des Fahrers. Unterstellt man dem Fahrzeugführer keinen Vorsatz, so gefährdet er trotzdem durch das vermeintliche Übersehen der roten Lichtsignalanlage zum einen sich und andere Verkehrsteilnehmer und zum anderen überschreitet er hier geltende Verkehrsregeln. Trotz scheinbar sicherem und vorsichtigem Vorgehen ist der Fahrer hier offensichtlich überfordert oder schätzt die Situation falsch ein. Dies kann im innerstädtischen Verkehr eine Vielzahl von Ursachen haben wie beispielsweise eine zu komplexe Beschilderung, Sichtbehinderungen zwischen Fahrzeug und Lichtsignalanlage, andere Verkehrsteilnehmer, die des Fahrers Aufmerksamkeit binden oder aber auch ein unzureichendes Mensch-Maschine-Interface (MMI) im Fahrzeuginnenraum, was in dem geschilderten Szenario mehr ablenkt als unterstützt.

1.1 Motivation

Eine Vielzahl von Mensch-Maschine-Interfaces geht meist nicht über den Status des sogenannten Entwickler-MMI hinaus, welches bei der Definition und Implementierung eines neuen Fahrerassistenzsystems (FAS) prototypisch umgesetzt wurde. Dies beinhaltet oft eine große Anzahl an Informationen, die geringen Mehrwert bei der Unterstützung des Fahrers liefern, ihn aber, aufgrund der Menge, zusätzlich belasten. Ein anderes Problem entsteht bei der Integration dieses nur teilweise evaluierten Mensch-Maschine-Interfaces eines Fahrerassistenzsystems in das Fahrzeug. Hier wird eine Sammlung an Assistenzsystemen implementiert, die alle mit eigenem Anzeigeconzept entwickelt wurden und dadurch in bestimmten Szenarien ähnliche Handlungsaufforderungen für den Fahrer, entweder von der Darstellungsart her unterschiedlich oder unnötig redundant, aufbereiten. Eine weitere Herausforderung stellt der urbane Verkehr dar. Da die meisten Systeme historisch bedingt für die Nutzung auf größeren Bundesstraßen und Autobahnen entwickelt wurden, stellt der komplexe Stadtverkehr durch die große Menge an statischen und dynamischen Objekten eine zusätzliche zentrale Anforderung an das MMI dar. Viele FAS sind hier gleichzeitig aktiv und wechseln die angezeigten Informationen in kurzen Abständen durch sich ständig ändernde

Einleitung

Szenarien (bspw. unterschiedliche Geschwindigkeitszonen oder Fahrstreifenwechsel vor LSA). Hier muss einerseits eine Priorisierung der angezeigten Informationen frühzeitig erfolgen und zum anderen auf eine fahrer- und handlungszentrierte Darstellungsart dieser Informationen geachtet werden. Ein letzter Punkt ist die steigende Anzahl neuer FAS, die in vorhandene Konzepte sinnvoll integriert werden müssen, um Einzellösungen zu vermeiden, sowie zusätzliche Anforderungen bspw. aus der Gesetzgebung, die sich weiterentwickeln.

1.2 Zielsetzung und Problemstellung

Es gibt unterschiedliche Herangehensweisen, um den komplexen und vom Informationsbedarf für den Fahrer schnell wechselnden urbanen Verkehr für ihn beherrschbar zu machen. Die Weiterentwicklung der Automation im Fahrzeug stellt dabei eine der Methoden dar, bei der die Verantwortung zunehmend vom Fahrer genommen wird und auf das Automationssystem übergeht. Die seriennahe Forschung beschränkt sich hier aber aktuell auf Schnellstraßen und Autobahnen, da die derzeitigen technischen Voraussetzungen der Sensoren zum Sammeln und Aufbereiten der nötigen Information der Fahrumgebung in der Stadt noch nicht ausreichen. Ein anderer Ansatz ist die Unterstützung des manuellen Fahrers bei der Wahl geeigneter Fahrmanöver durch die Bereitstellung vorhandener Informationen verschiedener Fahrerassistenzsysteme. Die Ziele dieser Unterstützung beschränken sich nicht nur auf die Vermeidung sicherheitskritischer Situationen zur Unfallreduzierung mit Längs- und Querverkehr, sondern auch auf eine effizienzsteigernde Fahrweise mit homogeneren und varianzarmen Geschwindigkeitsverläufen über die Vermeidung häufiger Beschleunigungen und Bremsvorgänge. Ein weiteres Kriterium stellen hier Informationen im MMI dar, die dem Fahrer helfen eine komfortablere Fahrt durch bspw. weniger oder kürzere Standzeiten und eine vorausschauende Fahrweise zu ermöglichen. Da außerdem in den nächsten Jahren immer mehr Fahrerassistenzsysteme den Einzug ins Fahrzeug finden werden, steht eine einfache Erweiterbarkeit des Gesamtkonzeptes mit zusätzlichen Systemen ebenfalls im Vordergrund.

Die Schwierigkeit bei der Umsetzung dieser Ziele in einem handlungsunterstützenden Mensch-Maschine-Interface liegt hierbei zum einen auf der Vermeidung von Redundanzen, da unterschiedliche FAS teilweise ähnliche Informationen zur Verfügung stellen und zum anderen trägt die Darstellungsart und der Zeitpunkt der Darstellung dieser Informationen durch das Mensch-Maschine-Interface entscheidend bei. Dafür sollte für fahrrelevante Informationen situationsspezifisch der bestmögliche Ort und die geeignete Modalität der Informationsübermittlung gewählt werden. Hierfür ist eine Analyse der bestehenden Fahrzeugkomponenten notwendig. Dies reduziert voraussichtlich den zusätzlichen

Einleitung

Dekodieraufwand der benötigten Informationen für den Fahrer und vermeidet die Umsetzung von vorgefertigten Einzellösungen. Ein anderer wichtiger Punkt ist die generische Darstellungsart der Informationen. Dies bedeutet, dass Informationen, die ähnliche Handlungen erfordern bzw. ähnliche Informationen für den Fahrer beinhalten nicht spezifisch und separat dargestellt werden, sondern priorisiert über einen integrativen Ansatz eine allgemeinere Darstellungsart erhalten, bei der nur wenige Rückschlüsse auf die Einzelsysteme möglich sind. Denn es ist primär irrelevant für den Fahrer, durch welches System oder gar Systeme diese dargestellten Informationen erfolgen, sondern einzig und alleine die notwendige Handlung und der für ihn resultierende Mehrwert sind entscheidend. Dieser generische Charakter der Anzeige kann die Anzeigedichte merklich reduzieren, was folglich Blickabwendungen und Stress reduziert.

Beginnend mit einer Unfalldatenanalyse für den städtischen Verkehr sollen Szenarien mit großem Unterstützungspotential ermittelt werden. Eine anschließende Anforderungsanalyse des urbanen Raums sowie potentieller Fahrzeugkomponenten soll die Grundlage für einen ersten theoretischen Konzeptentwurf bilden. Dieser wird hinterher im Fahrsimulator umgesetzt und anhand verschiedener Kennwerte, die dem Ziel der *sicheren, komfortablen und effizienten* Fahrweise genügen, evaluiert. Iterativ erfolgen abschließend Erweiterungen und Anpassungen des MMI-Gesamtsystems, was nach jedem größeren Schritt erneut durch Probandenversuche geprüft und schlussendlich finalisiert wird. Unter dem Strich erfolgt eine Empfehlung zur systemergonomischen Gestaltung künftiger Interaktionskonzepte im Fahrzeug für den urbanen Verkehr.

1.3 Abgrenzung der Vorgehensweise

Die Entwicklung von gruppierten Informationen in Mensch-Maschine-Interfaces sind u.a. schon in den Arbeiten von Lindberg (2012) und Breisinger (2007) erforscht. Beide Autoren konzentrierten sich auf die integrative Darstellung von visuellen Informationen im Anzeigekonzept für den Fahrer. In der vorliegenden Arbeit soll die Umsetzung nicht nur rein visuell geschehen, da dieser Kanal bereits durch die Fahraufgabe belegt ist, sondern in einem multi-modalen Gesamtkonzept erfolgen, welches zusätzlich den haptischen Sinneskanal betrachtet, um entstehende Synergien bei der Informationsverarbeitung zu nutzen. Auch die generische Darstellungsart von Informationen im Head-Up Display ist in vorangegangenen Arbeiten bereits zu finden (vgl. van Gijssel, 2013). Funktionierende Darstellungsarten aus diesen Arbeiten, wie bspw. die Ring-Metapher zur Umgebungsdarstellung des Ego-Fahrzeuges, wurden für das erste Grundkonzept genutzt und in einem iterativen Prozess immer wieder überprüft, angepasst und sinnvoll verändert. Das Szenario des urbanen Verkehrs mit den deutlich komplexeren Manövern und zeitlich verringerten

Einleitung

Entscheidungszeiträumen macht es zusätzlich erforderlich neuartige Lösungsansätze zu implementieren und anschließend zu evaluieren, da bisherige Arbeiten zur MMI-Darstellung sich ausschließlich auf außerstädtische Szenarien beschränken (vgl. Rommerskirchen, Helmbrecht, & Bengler, 2014). Neben systemergonomischen Ansätzen stehen auch Usability-Kriterien im Vordergrund. Die Zukunftssicherheit des Mensch-Maschine-Interfaces bzgl. der Erweiterbarkeit mit zusätzlichen Fahrerassistenzsystemen und durch eventuell höhere Automationsstufen sind ebenfalls unabdingbar. Trotzdem soll das Hauptziel des iterativ zu entwickelnden Anzeigeconzeptes in der vorliegenden Arbeit stets der Handlungsunterstützung des manuellen Fahrers durch Empfehlungen im MMI zur Manövergestaltung genügen, um diesen neben sicherheitsrelevanten Szenarien auch bei einer effizienten und komfortablen Fahrweise zu unterstützen.

2 Grundlagen

2.1 Unfalldatenanalyse

Betrachtet man das Fahren mit einem Kraftfahrzeug über die letzten Jahrzehnte, fällt auf, dass trotz höherer Verkehrsdichte (52 Mio. registrierte Kraftfahrzeuge zum 01.01.2012 laut Statistischem Bundesamt) und steigenden durchschnittlichen Geschwindigkeiten die Nutzung jedoch wesentlich sicherer wurde. Gründe dafür können an mehreren Stellen gefunden werden. Zum einen ist die zunehmende Ausstattung der Fahrzeuge mit Sicherheitssystemen zu nennen. Dazu gehören neben Systemen wie ABS oder ESP auch bauliche Verbesserungen wie zum Beispiel Airbags. Zum anderen tragen in Kraft getretene gesetzliche Regelungen dazu bei, den Straßenverkehr sicherer zu machen. Hierbei sind vor allem die großen Änderungen von festen Geschwindigkeitslimits inner- und außerorts zu nennen sowie die Gurtpflicht in allen Fahrzeugen. Die Anzahl der getöteten Personen im Straßenverkehr kann Abbildung 1 entnommen werden. Zusätzlich sind jeweils die Meilensteine zur Verbesserung der Sicherheit aufgetragen. Seit 1970 ist hier ein Rückgang um 81% der Verkehrstoten verzeichnet, was in 2011 immer noch rund 4.000 Menschen und 2012 rund 3.600 Menschen betrifft (Statistisches Bundesamt, 2013). Differenziert man bei allen Unfällen zwischen den Unfallorten, so findet man die meisten Unfalltoten außerorts auf Landstraßen, wofür wohl vor allem die höhere Geschwindigkeit verantwortlich ist. Erweitert man die Unfallfolgen aber auf Unfälle mit Personenschäden im Allgemeinen, zeigt sich ein anderes Bild mit fast 69% innerorts, was u.a. auf die im urbanen Verkehr vorhandenen schwächeren Verkehrsteilnehmer (vgl. Kapitel 2.4) zurückzuführen ist.

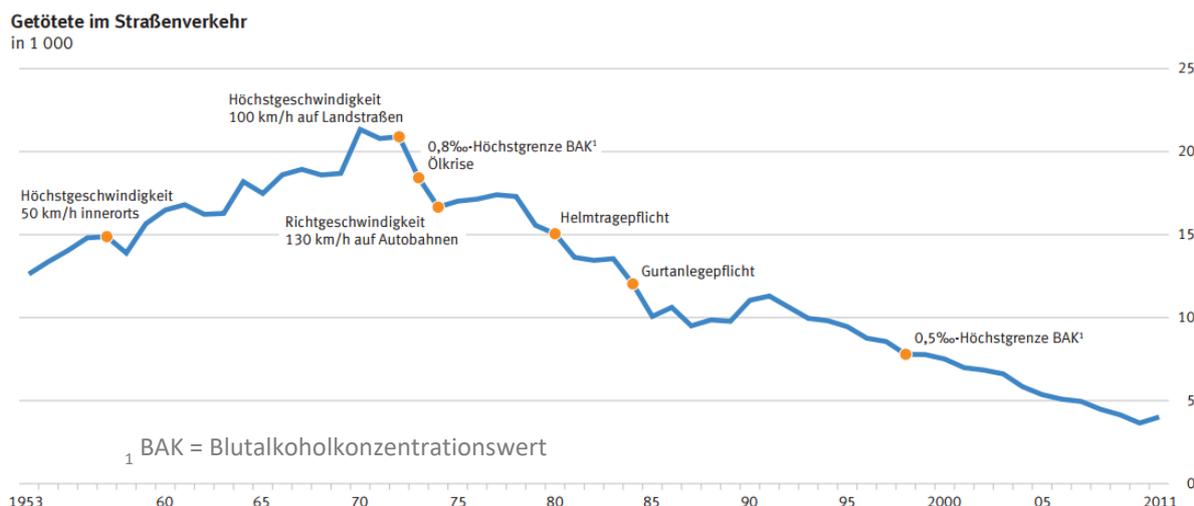


Abbildung 1: Verlauf der getöteten Personen im Straßenverkehr von 1953 – 2011 mit den jeweiligen Meilensteinen zur Verbesserung der Sicherheit (Statistisches Bundesamt, 2013).

Die häufigsten Fehlverhalten bei Unfällen mit Personenschaden 2011
in % an allen Fehlverhalten

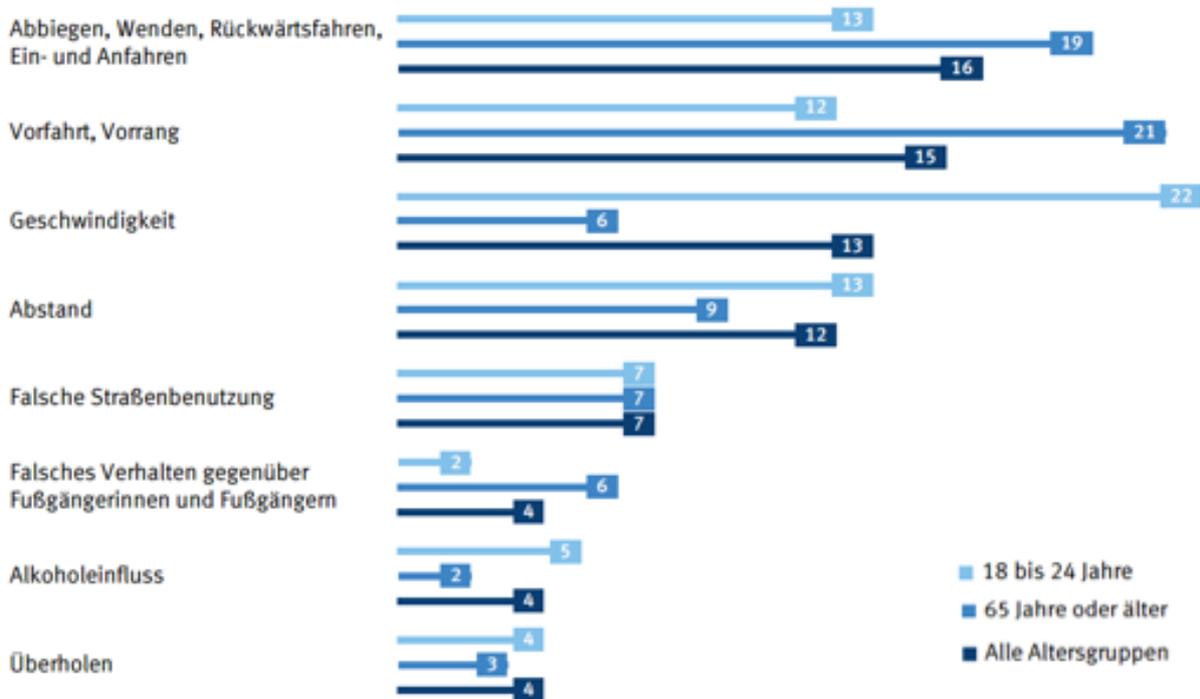


Abbildung 2: Die häufigsten Fehlverhalten in der Stadt bei Unfällen mit Personenschaden 2011 unterteilt nach jungen (18 bis 24 Jahre) und älteren (65+ Jahre) Fahrern (Statistisches Bundesamt, 2013).

2.2 Unfallursachen

Um die Anzahl der Unfälle bestmöglich zu reduzieren ist eine Aufschlüsselung der Ursachen wichtig. Je Unfall kann hier aber nicht immer nur ein Grund definiert werden. Fasst man ähnliche Anlässe zusammen, findet man fast 90% aller Unfallursachen in menschlichem Fehlverhalten, während allgemeine Ursachen, wie Umwelteinflüsse (9%) oder technische Mängel (1%), nur einen sehr geringen Teil ausmachen (Statistisches Bundesamt, 2013).

Differenziert man das menschliche Fehlverhalten bei Unfällen mit Personenschäden in der Stadt (vgl. Abbildung 2) noch genauer nach Szenarien, findet man als häufigste Ursachen: Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren sowie Ein- und Anfahren (16%), gefolgt von Vorfahrts- bzw. Vorrangmissachtungen (15%). Bei jungen Fahrern (18 bis 24 Jahre) fällt zudem besonders eine unangepasste Geschwindigkeit (22%) auf. Den nächsten großen Anteil haben unzureichende Abstände zum Vorderfahrzeug (12%) sowie eine falsche Straßenbenutzung (7%). Diese und alle weiteren Unfallursachen durch menschliches Fehlverhalten können Abbildung 2 entnommen werden.

Was bei der Betrachtung der einzelnen Faktoren auffällt, ist, dass die Mehrheit durch kognitive Fehlinterpretation der visuell gegebenen Informationen entsteht, wie die Distanz zu einem Objekt, die Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer oder die verfügbare Zeit. Ein

Großteil dieser Fehlverhalten kann durch ein optimiertes Mensch-Maschine-Interface positiv unterstützt (durch eine Verringerung der Unfallfolge) oder gar vermieden werden, indem relevante Informationen für den Fahrer priorisiert und handlungsorientiert zur Verfügung gestellt werden.

2.3 Systemergonomischer Lösungsansatz

Um das menschliche Fehlverhalten als Hauptfaktor der Unfallursachen besser verstehen zu können, ist es notwendig, die Fahraufgabe näher zu zerlegen und zu betrachten unter Einbeziehung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen. Versteht man diese Grundlagen der Systemergonomie, kann der Fahrerassistenzbedarf im Wirkungskreis des Mensch-Maschine-Systems (MMS) ermittelt und dargestellt werden.

2.3.1 Systematisierung der Fahraufgabe

Die Fahraufgabe lässt sich laut Geiser (1985) in drei hierarchische Metaebenen unterteilen, welche von der bis dahin postulierten Aufteilung in nur zwei Ebenen abweicht. Die einzelnen Aufgaben sind dabei vom wichtigen zum eher unwichtigen Bereich gegliedert, um ein Fahrzeug zu führen. Während die Primäre Aufgabe das Halten des Fahrzeuges auf Kurs erfordert, beschreibt die Sekundäre Aufgabe Tätigkeiten in Abhängigkeit von Fahranforderungen (Bubb, Bengler, Grünen, & Vollrath, 2015). Der letzte Aufgabenbereich, die Tertiären Aufgaben, ergänzen die beiden anderen um fahrfremde Tätigkeiten, die nichts direkt mit der Fahraufgabe zu tun haben. Wichtig ist hier vor allem laut Geiser (1985), dass die Tertiären Aufgaben nicht zu viele Ressourcen beanspruchen und so von der Hauptaufgabe ablenken. Es ist zwar aufgrund von Kompensationsmechanismen nicht zwangsläufig von einer Verschlechterung der Primären Aufgabe auszugehen, aber dazu sollten die Nebenaufgaben unterbrechbar gewählt werden.

Primäre Aufgabe der Fahraufgabe

Die Primäre Fahraufgabe definiert im Allgemeinen das Bewegen eines Fahrzeuges von einem Punkt zu einem festen Ziel, welches zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht werden soll (Donges, 1978). Sie kann laut Bernotat (1970) in drei Subaufgaben (vgl. Abbildung 3) unterteilt werden (siehe auch Michon, 1986). Dazu gehört die Navigationsaufgabe zur Planung der Route sowie der benötigten Zeit. Außerdem die Aufgabe der Führung, welche den Sollkurs und die Sollgeschwindigkeit festlegt und an Umweltbedingungen anpasst. Und als letzte Subaufgabe die Stabilisierung, welche die Längs- und Querdynamik anhand von Bedienelementen beeinflusst. Als gängige Bedienteile sind hier die Bremse, die Kupplung, das Gas und die Schaltung sowie das Lenkrad zu nennen. Alle drei Unteraufgaben könnten noch weiter herunter gebrochen werden auf Teilaufgaben (Bubb et al., 2015).

Grundlagen

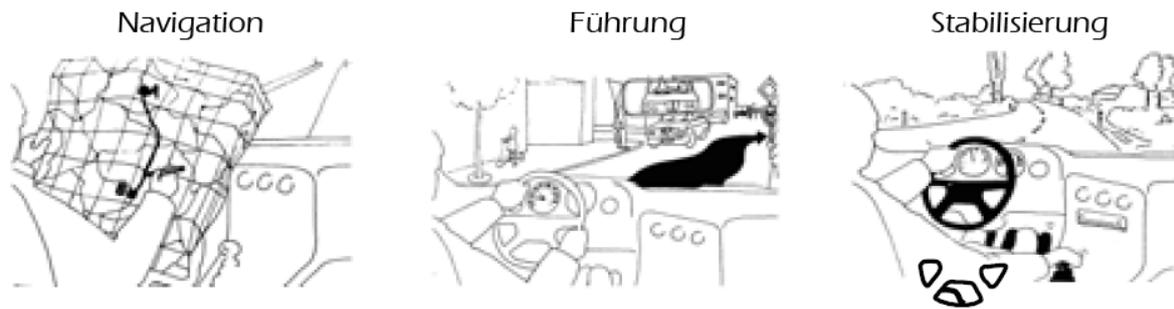


Abbildung 3: Unterteilung der Primären Aufgabe der Fahraufgabe in die Unteraufgaben der Navigation, Führung und Stabilisierung (nach Geiser, 1985).

Sekundäre Aufgabe der Fahraufgabe

Nach der Primären Aufgabe folgt die Sekundäre Aufgabe, welche In- und Output mit der Umwelt verarbeitet und dabei bspw. andere Verkehrsteilnehmer über zukünftige Manöver informiert (Aktionen) oder auf bestimmte Umwelteinflüsse reagiert (Reaktionen). Typische Beispiele für Aktionen sind die Fahrtrichtungsanzeige bei einem Fahrstreifenwechsel oder aber auch eine Geste des Fahrers gegenüber einem anderen Verkehrsteilnehmer. Als Reaktionen werden Handlungen bezeichnet wie das Aktivieren der Scheibenwischer bei Regen oder das Einschalten des Lichts bei Nacht.

Tertiäre Aufgabe der Fahraufgabe

Die Tertiären Aufgaben können als typische Nebenaufgaben bezeichnet werden, welche mit der eigentlichen Fahraufgabe nichts direkt zu tun haben. Diese sollten daher, wie vorher beschrieben, möglichst selten und unterbrechbar ausfallen. Dazu können neben Komfortbedienungen im Fahrzeug auch Entertainment-Aufgaben oder die Bedienung von Fahrerinformationssystemen (FIS) zählen.

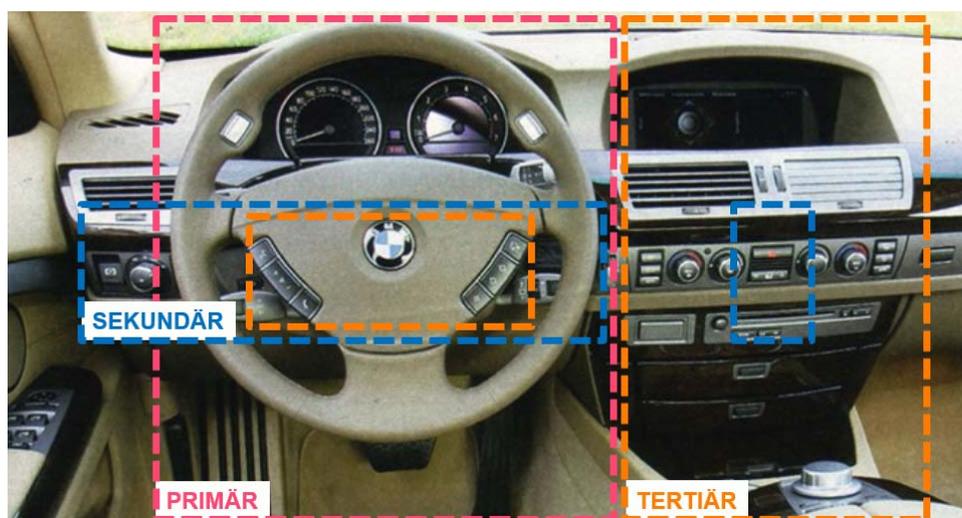


Abbildung 4: Die Clusterung des Fahrerarbeitsplatzes in die Anzeigeeinstrumente und Bedienteile für die Primäre, Sekundäre und Tertiäre Aufgabe in einem BMW 7er (nach Bubb et al., 2015).

Grundlagen

Während in älteren Fahrzeugen die Anordnung der Bedien- und Anzeigeteile eine konventionelle Trennung in FAS (Primäre & Sekundäre Aufgabe) und FIS (Tertiäre Aufgabe) vorsah, vermischen sich in aktuellen Fahrzeugen alle drei Aufgabentypen auch räumlich. Im direkten Sichtfeld des Fahrers und mit möglichst kleiner Greifentfernung werden vor allem Bauteile der Primären Aufgabe angeordnet. Dazu gehören neben dem klassischen Kombiinstrument, dem Lenkrad und den Pedalen auch neue Komponenten wie das Head-Up Display. Am und um das Lenkrad sind meist die Bedienhebel für die Sekundäre Aufgabe zu finden. Die Tertiäre Aufgabe ist vor allem im Bereich der Mittelkonsole durch Displays oder Stellteile bedienbar. Betrachtet man die einzelnen Komponenten in einem BMW 7er von 2003 (Abbildung 4), fällt auf, dass die Tertiäre Aufgabe mittlerweile zum Teil in den Bereich der Bedienelemente der Fahraufgabe gerückt ist (bspw. Lautstärke und Senderwahl des Radios sowie Annehmen und Ablehnen eines Telefonats). Ziel ist hier, die Bediendauer und Blickabwendung durch die Nebenaufgabe zu reduzieren. Zusätzlich ist die Navigation der Primären Aufgabe in detaillierter Form im Mittelkonsolendisplay zu finden, welches gleichzeitig alle Arten des Infotainments bereithält. Die Vielzahl an zusätzlichen Systemen und Funktionen hat es nötig gemacht die konventionelle Clusterung der einzelnen Typen zu evolutionieren.

Dieses Drei-Ebenen-Modell der Fahraufgabe kann als verschachtelter Regelkreis bezeichnet werden, welcher über die einzelnen Aufgabentypen hierarchisch aufgebaut ist. Das gesteuerte Fahrzeug muss zu jeder Zeit mit der jeweiligen Aufgabenstellung übereinstimmen, da sonst andernfalls zu einer Neudefinition der gegebenen Größen auf dem jeweils höheren Niveau führen kann (Bubb, 1993).

2.3.2 Grundlagen der Informationsverarbeitung

Die Systematisierung der Fahraufgabe kann wie von Rasmussen (1983) postuliert, um die kognitiven Verarbeitungsebenen erweitert werden. Die Berücksichtigung des Leistungsverhaltens bzw. der Informationsverarbeitung trägt zum Verständnis der Belastung auf allen drei Ebenen der Primäraufgabe bei. Rasmussen unterscheidet in seinem Drei-Ebenen-Modell zwischen fertigkeitsbasiertem, regelbasiertem, und wissensbasiertem Verhalten (Abbildung 5).

Fertigkeitsbasiertes Verhalten (Skill-level)

Verhalten was aufgrund von Fertigkeiten abgerufen wird, erfolgt am schnellsten aller drei Verhaltensarten und benötigt fast ausschließlich die physiologische Reaktionszeit von etwa 200 ms. Es bedarf sehr geringer bewusster Zuwendung und erfolgt meist automatisch in Form von abgelegten Handlungssequenzen.

Grundlagen

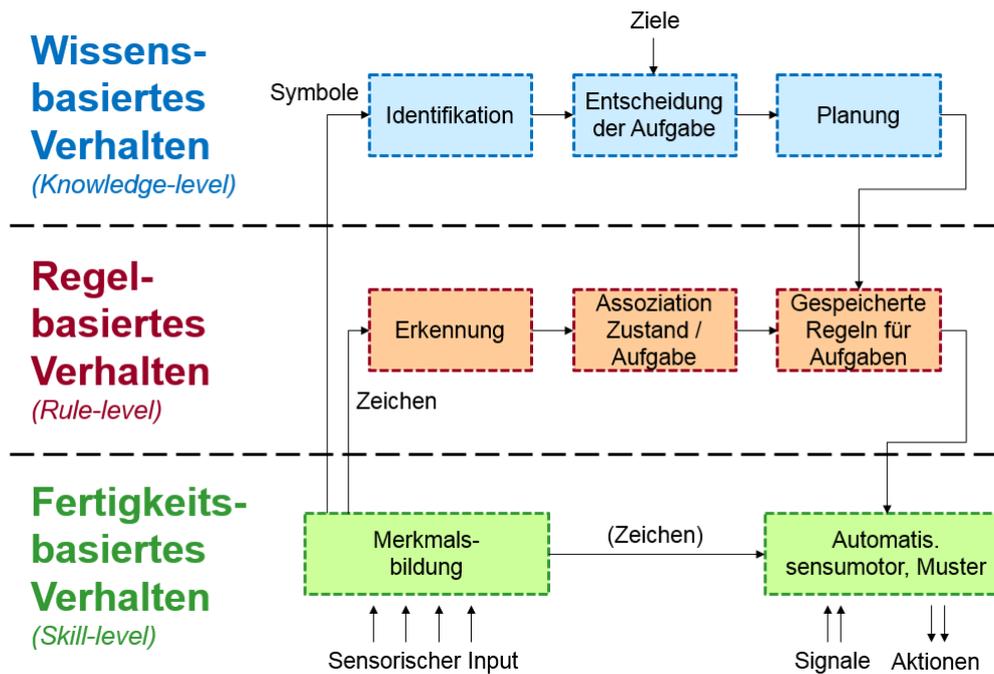


Abbildung 5: Drei-Ebenen-Modell mit der Unterteilung in Wissensbasiertes, Regelbasiertes, und Fertigkeitbasiertes Verhalten (Eigene Darstellung nach Rasmussen, 1983).

Regelbasiertes Verhalten (Rule-level)

Zur Beurteilung und Lösung von Problemen werden gelernte Regeln angewendet. Dies geschieht relativ schnell in der Zeitspanne des aktuellen Bewusstseins und liegt daher etwa im Sekundenbereich.

Wissensbasiertes Verhalten (Knowledge-level)

Die Handlungsstrategien zur Lösung der aktuellen Aufgabe werden sowohl durch generelles Wissen als auch auf Basis der Interpretation von vorliegenden Informationen entworfen.

Grundsätzlich lässt sich keine der drei Subaufgaben der Primären Fahraufgabe nur einem einzelnen dieser drei Verhalten zuordnen, sondern kann stets in allen Verhaltensarten wiedergefunden werden. Je nach aktuellem Fahrzenario fließen sie dabei ineinander über (Reichart, 2001). Der Zusammenhang der einzelnen Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und der drei Subaufgaben der primären Fahraufgabe nach Geiser (1985) oder Donges (1978) sind in Abbildung 6 zu finden. Mit Hilfe des Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises können die unterschiedlichen Ansätze zur Erfüllung der Fahraufgabe auf den unterschiedlichen Ebenen der Fahrzeugführung sowie des menschlichen Verhaltens gut skizziert und nachvollzogen werden. Eine ausführlichere Darstellung zu dieser Thematik wurde von diversen Autoren behandelt (Färber, 1987; Geiser, 1985; Reichart, 2001; Wickens, Gordon, & Liu, 2004).

Grundlagen

	Wissensbasiert	Regelbasiert	Fertigkeitsbasiert
Navigation	Zurechtfinden in einer fremden Stadt	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Täglicher Weg zur Arbeit
Führung	Steuern auf schneebedeckter oder vereister Fahrbahn	Überholen anderer Fahrzeuge, Spurwechsel	Abbiegen an einer vertrauten Kreuzung
Stabilisierung	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde	Ein ungewohntes Auto fahren	Kurven fahren, Kupplern und Schalten

Abbildung 6: Zusammenhang der einzelnen Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und der drei Subaufgaben der primären Fahraufgabe nach Geiser (1985) (aus Gründl, 2005).

Um den Bedarf an einem unterstützenden MMI-Konzept für die Stadt abzuleiten, ist weiterhin eine Analyse der Grundlagen der Informationsverarbeitung sowie der Wahrnehmungspsychologie erforderlich.

2.3.3 Grenzen der Informationsverarbeitung

Aufgrund des Zusammenwirkens von Fahrer und Fahrzeug zur Erfüllung der Fahraufgabe und des notwendigen Informationsflusses kann man hier von einem Mensch-Maschine-System sprechen (Bubb, 1977). Zur effizienten Übermittlung von Informationen ist dabei eine geeignete Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Maschine erforderlich. Die Bereitstellung von Informationen erfolgt beim Führen eines Fahrzeuges hauptsächlich über visuelle Reize (Jürgensohn & Timpe, 2001; Rockwell, 1972), aber u.a. auch durch die auditive, taktile, vestibuläre sowie kinästhetische Wahrnehmung (Informationsaufnahme). Diese variieren in der Präsenz der subjektiven Wahrnehmung, ihrer Übermittlungsgeschwindigkeit sowie der Akzeptanz, wodurch sie unterschiedlich gut geeignet sind für die jeweiligen Informationstypen. Die eintreffenden Signale werden dann vom Menschen verarbeitet (Informationsverarbeitung) und in Reaktionen transformiert (Wickens, 1992). Die darauffolgende Informationsabgabe im Fahrzeug erfolgt fast ausschließlich durch motorische Übermittlung bspw. durch Hände oder Beine (Informationsumsetzung). Eine Ausnahme stellen Spracherkennungssysteme dar, die jedoch selten für Eingaben zur Fahrzeugführung genutzt werden, sondern hauptsächlich zur Unterstützung der Navigation oder zur Steuerung des Infotainments erfolgen. Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrer-Fahrzeug-Regelkreises mit den Elementen zur Informationsaufnahme und -abgabe. Andere Darstellungen sind u.a. von Baumann und Lanz (1999) zu finden.

Grundlagen

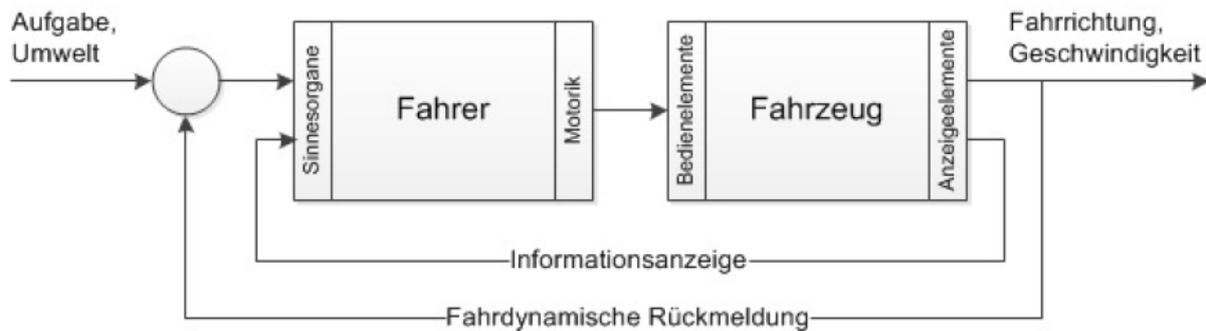


Abbildung 7: Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis mit Input durch die Aufgabe und Umwelt sowie Output der Fahrrichtung und Geschwindigkeit (Darstellung aus der Vorlesung am Lehrstuhl für Ergonomie).

Der Fahrer als Regler im System ist von seiner kognitiven Leistungsfähigkeit abhängig. Die Wahrnehmung des Fahrzeugzustandes und der Umwelt, die Interpretation und Entscheidung der Informationen sowie die Ausführung entsprechender Interventionen stellen eine mehr oder weniger große Herausforderung dar. Die möglichen Folgen beim Überschreiten dieser Grenzen wurden bei der Analyse der Unfallursachen bereits erläutert. Es gilt abzuwägen, welche Art der Informationsbereitstellung den Fahrer bestmöglich bei der Entscheidungsfindung je nach Szenario unterstützt.

Informationsaufnahme und ihre Grenzen

Das begrenzende Element auf der Seite der Informationsaufnahme ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit des bewussten Erkennens. Abhängig von der Literatur wird diese mit 40 bis 100 bit/s beziffert, während die reine Informationsübermittlung durch die Sinnesorgane mehrere Größenordnungen darüber liegt (Herrler, 2006). Da etwa 70% der Informationsmenge über den visuellen Sinneskanal aufgenommen werden, eignet sich dieser besonders für komplexe Informationen, während sich der auditive Sinn durch kürzere Reaktionszeiten mehr für Warnungen und zur Aufmerksamkeitslenkung empfiehlt. Die gängigen Reaktionszeiten auf optische Reize liegen diverser Studien nach bei etwa 180-200 ms und für akustische Reize bei ca. 140-160 ms (Brebner & Welford, 1980; Fieandt, Huhtala, Kullberg, & Saarl, 1956; Galton, 1899; Welford, 1980). Für die haptische Informationsaufnahme liegt der Wert bei etwa 155 ms (Robinson, 1934).

Neben der Betrachtung der Reaktionszeiten auf einzelne Stimuli spielt beim Fahren im Straßenverkehr auch das Verarbeiten von mehreren gleichen oder unterschiedlichen Reizen eine entscheidende Rolle (bspw. Radio hören beim Autofahren). Neben dem visuellen Sinn treten hier vor allem auch der vestibuläre Kanal (Beschleunigungen, Neigungswinkel), haptische Stimuli (Beschleunigungen, Lenkwinkel, Kräfte) sowie akustische Reize (Fahrgeschwindigkeit und -geräusch, Warnungen anderer Verkehrsteilnehmer) auf, die alle gleichzeitig erscheinen können. Wickens (1984, 1991, 2002) veröffentlichte dazu seine Theorie

Grundlagen

des Multiple Resource Models, welches dem Verarbeiten von Reizen der gleichen Modalität einen höheren Aufwand bescheinigt als unterschiedlichen Modalitäten. Dieses Modell wird vor allem dann interessant, wenn es um die Wahl geeigneter MMI-Komponenten für unterschiedliche Informationsaus- und Eingaben im Fahrzeug geht (siehe Kapitel 3.2), da die Hauptaufgabe der Fahrzeugführung (visuell-motorisch) mit möglichen Nebenaufgaben wie der Touch-Eingaben in ein Display (ebenfalls visuell-motorisch) interferiert.

2.3.4 Belastungs- und Beanspruchungsmodell

Die Belastung (oder auch der Workload) durch die zuvor genannten Haupt- und Nebenaufgaben sowie die Einflüsse der Umwelt und des Fahrzeugs sind ungeachtet von Geschlecht oder Konstitution für alle Menschen gleichermaßen hoch. Aus der Kombination der individuellen Fähigkeiten und Eigenschaften des Menschen und der einwirkenden Belastung ergibt sich eine individuelle Beanspruchung. Diese ist von vielen Faktoren wie der körperlichen und geistigen Verfassung, Erfahrung oder auch dem Alter abhängig (Graichen, Nitsch, & Färber, 2018). Grundsätzlich korreliert eine höhere Belastung aber nicht immer mit schlechterer Leistung. Sehr geringer Workload kann ebenfalls zu einer schlechteren Performance führen (vgl. Schmidtke, 1965). Schmidtke (1965) prägte dafür den Begriff der „Überforderung durch Unterforderung“. Die Lösungsstrategie zur Bewältigung dieses Zustands wird in der Literatur als Vigilanz beschrieben, um trotz Unterforderung die Aufmerksamkeit für geringe Veränderungen hoch zu halten (Warm, Parasuraman, & Matthews, 2008; Wirtz & Strohmmer, 2013).

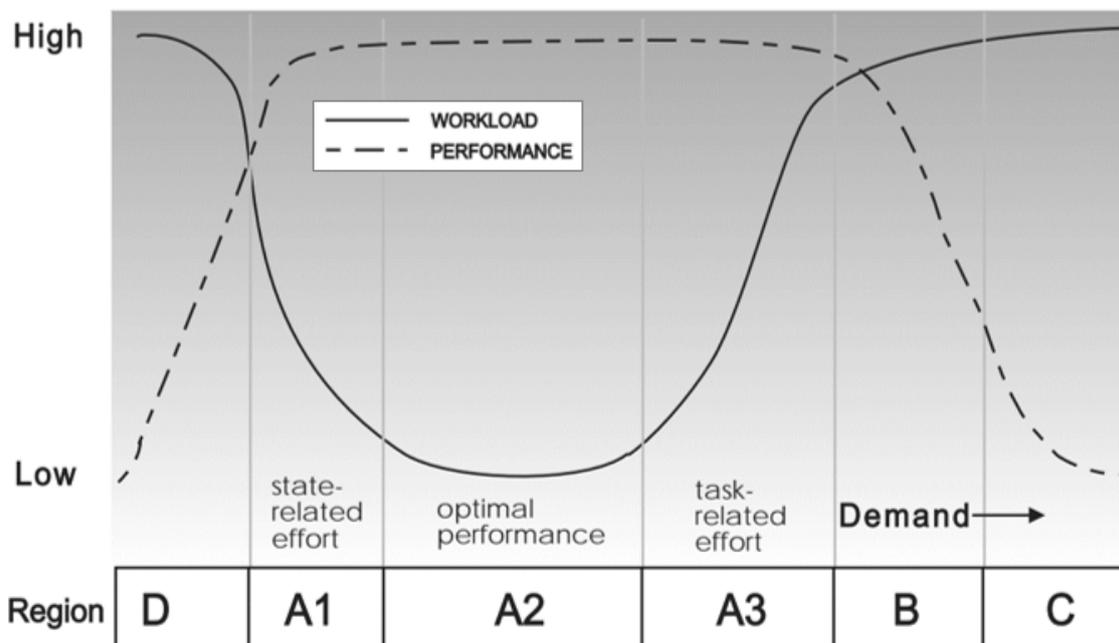


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen der Belastung (Workload) und der Leistung (Performance) bei unterschiedlichen Beanspruchungen nach De Waard (1996)

Einen guten Überblick der Leistung (Performance) in einzelnen Phasen hoher und niedriger Aufmerksamkeit (Demand) bei verschiedenen Belastungsmengen (Workload) zeigt Abbildung 8 (De Waard, 1996). Gerade in den Phasen D und C bei hoher Belastung ist eine Unterstützung des Fahrers durch ein geeignetes MMI-Konzept erforderlich, um Fahrfehler aufgrund von Monotonie (D) bzw. vielen gleichzeitig einwirkenden Reizen (C) zu vermeiden. Beide Zustände können zu erhöhten Reaktionszeiten (Conti, Dlugosch, Vilimek, Keinath, & Bengler, 2013; Yanko & Spalek, 2013) und zum sogenannten Tunnelblick führen. Der (Hyper-)Vigilanzbegriff wird aktuell im Forschungsbereich der Automation wieder sehr interessant und vielfach beforscht (vgl. Damböck, 2013; Feldhütter, Gold, Schneider, & Bengler, 2016; Saxby, Matthews, Warm, Hitchcock, & Neubauer, 2013).

2.4 Eigenschaften des urbanen Verkehrs

Vergleicht man die Anteile der Unfälle mit dem zurückgelegten Weg im innerörtlichen Verkehr, so zeigt sich trotz der geringen Geschwindigkeit eine erhöhte Unfallhäufigkeit. Der Hauptgrund dafür kann auf eine erhöhte kognitive Belastung des Fahrers durch eine deutlich höhere Komplexität zurückgeführt werden, welche dann zu menschlichem Fehlverhalten führen kann (Schröder, 2012).

Schaut man sich die Faktoren aus der diese Belastung resultiert genauer an, so ist als erster Faktor die erzwungene gesteigerte Aufmerksamkeit zu nennen, die durch eine höhere Dichte an Verkehrsteilnehmern hervorgerufen wird, die verschiedene Fortbewegungsrichtungen auf engem Raum zeigen und darüber hinaus noch eine Vielzahl unterschiedlicher Fortbewegungsmittel nutzen. Neben den gängigen Interaktionspartnern wie anderen PKWs, LKWs oder Bussen findet man hier ebenfalls Straßenbahnen oder schwächere Verkehrsteilnehmer, wie bspw. den Radfahrer (Twaddle, Schendzielorz, & Fakler, 2014), Fußgänger (Lehsing, Benz, & Bengler, 2016) oder auch Motorradfahrer (Winner, 2012).

Die Kommunikation zwischen diesen und die Beobachtung zusätzlicher Verkehrsteilnehmer wird darüber hinaus durch zusätzliche Sichtbehinderungen (bspw. Bepflanzungen, Litfaßsäulen, parkende Autos) im Vergleich zu gängigen Autobahnfahrten beeinträchtigt. Dazu gehören typische urbane Merkmale wie Bepflanzungen und Gebäude, aber auch geparkte Fahrzeuge, Werbe- und Informationsschilder (Götze, Bißbort, Petermann-Stock, & Bengler, 2014) sowie schnell wechselnde Lichtverhältnisse durch scharfen Schattenwurf bei Sonnenschein bzw. nachts durch ungleichmäßige künstliche Beleuchtung (Alferdinck, 2006). Zusätzlich ergeben sich deutlich schnellere Folgen von fahrrelevanten Informationen durch Verkehrszeichen, Wegweiser und Lichtsignalanlagen (Schröder, 2012). Auch andere sonst sehr homogene Umwelteinflüsse spielen in der Stadt eine bedeutende

Grundlagen

Rolle. Hier kann man neben sich ändernden Straßenprofilen auch die unterschiedlichsten Kurvenradien, Fahr- und Abbiegestreifen und Fahrbahnbreiten nennen (Graichen et al., 2018), die zu einer falschen Beurteilung der Situation und Fehlverhalten bei Manövern führen kann (Ehmanns, Zahn, Spannheimer, & Freymann, 2003).

All diese Faktoren fordern vom Fahrer ein deutlich häufigeres Agieren und Reagieren auf unterschiedliche Verkehrssituationen (Gevatter & Grünhaupt, 2006). Das Verfolgen der zuvor gewählten Route kann hier eine Vielzahl an Fahrstreifenwechsel- und Abbiegemanöver erfordern. Durch die Verkehrspartner ist außerdem ein häufigeres Ausweichen und Abbremsen von Nöten und durch weitere zeitnah auftretende Anforderungen muss der Fahrer eine rasche Priorisierung und Entscheidung über das aktuelle Szenario fällen, um Unfälle vermeiden zu können.

In Summe dieser ganzen Einflüsse entsteht eine sehr komplexe Fahrsituation, wie sie in Abbildung 9 beispielhaft dargestellt ist. Gut zu sehen sind hier die Vielzahl an Fahrstreifen, schwächeren Verkehrsteilnehmern die sich teilweise regelwidrig verhalten sowie eine deutlich eingeschränkte Sicht durch statische (Bäume) und dynamische (Transporter) Hindernisse. Dies alles stellt eine erhöhte Anforderung an Fahrerassistenzsysteme und die zur Kommunikation mit dem Fahrer notwendigen Anzeige- und Bedienkonzepte dar, welche nach Möglichkeit keine zusätzliche Belastung und Gefährdung der Verkehrssicherheit hervorrufen, sondern diese bestmöglich und handlungszentriert unterstützen. Die sich hierdurch ergebenden systemergonomischen Anforderungen sind in Kapitel 4 zusammengetragen und aufgelistet.

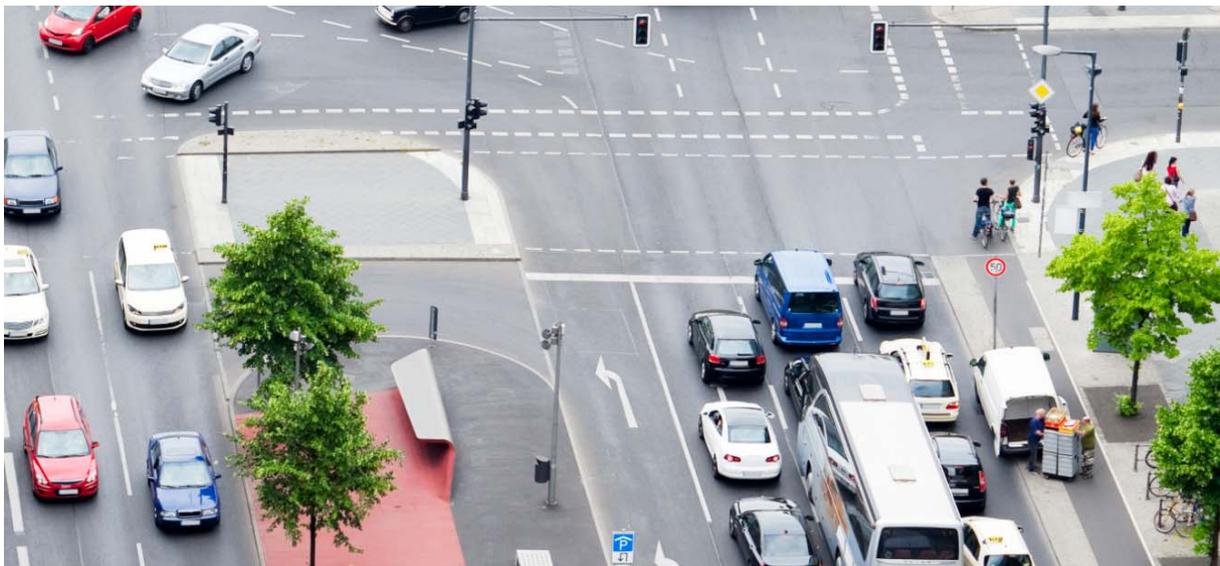


Abbildung 9: Typisches urbanes Szenario (in Berlin), bei dem die erhöhte Komplexität des urbanen Verkehrs durch eine Vielzahl an Verkehrsteilnehmern, statischen und dynamischen Objekten sowie verkehrsbedingten Anforderungen deutlich zu erkennen ist. © iStock.com/Bim

3 Stand der Technik

Das Kapitel soll einen Überblick über aktuelle Fahrerassistenzsysteme im Fahrzeug unterteilt nach den unterschiedlichen Modalitäten sowie der Längs- und Querrichtung geben. Diese Klassifikation soll die Auswahl geeigneter Komponenten für die optimale Mensch-Maschine-Schnittstelle erleichtern. Die gewählten Komponenten werden anschließend bzgl. ihrer technischen Entwicklung beschrieben und anhand von aktuellen Studien mögliche Vor- und Nachteile aufgezeigt. Ziel ist es, die Grundlagen für spezifische systemergonomische qualitative und quantitative Anforderungen zu sammeln, die anschließend gesondert abgeleitet werden, um ein erstes nutzerzentriertes MMI-Gesamtkonzept für den urbanen Verkehr zu ermitteln.

3.1 Fahrerassistenzsysteme unterteilt nach Modalität und Richtung

Mit der über die letzten Jahre fortschreitenden Entwicklung intelligenter Fahrerassistenzsysteme oder auch Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) wurde auch die Definition dieser FAS wiederholt aktualisiert und erweitert. Geiser (1985) beschrieb diese erstmals als Systeme, welche den Fahrer bei der Erfüllung der primären Fahraufgabe (vgl. Kapitel 2.3.1) unterstützen. Dies beinhaltete damals per Definition auch bspw. einen elektrischen Anlasser am Fahrzeug. Lindberg (2012) beschreibt nach Donner et al. (2007) eine umfangreichere und spezifischere Definition, die im Forschungsprojekt „RESPONSE 3“ entstanden ist.

„...[dafür] müssen Fahrerassistenzsysteme folgende Kriterien erfüllen:

1. *Unterstützung des Fahrer[s] bei der primären Fahraufgabe*
2. *Aktive Unterstützung bei der Längs- und/oder Querführung mit/ohne Warnung*
3. *Umwelterfassung und -bewertung*
4. *Verwendung komplexer Signalverarbeitung*
5. *Direkte Interaktion zwischen Fahrer und System*
6. *Keine vollständige Übernahme der Fahraufgabe“*

(Lindberg, 2012, S. 13).

Im EU-Projekt „AIDE“ definierten Deregibus et al. (2004) hingegen FAS als Systeme die den Fahrer auf Navigations- und Führungsebene unterstützen, aber auch mit dem Fahrer interagieren. Eine weitere Definition kommt von Lindberg (2012, S. 14) selbst, der für sich alle

Stand der Technik

bisherigen Modelle in vier Punkten zusammenfasst. Dazu muss ein Fahrerassistenzsystem „den Fahrer bei der Ausführung der primären Fahraufgabe“ unterstützen (1), außerdem mit dem Fahrer interagieren (2), „auf allen drei Ebenen der Fahraufgabe wirken“ (3) und aus Sensoren, komplexen Verarbeitungseinheiten und Ausgabeeinheiten (4) bestehen. Diese Definition hilft zusätzlich dabei Fahrerassistenz- von Fahrerinformationssystemen abzugrenzen, da FIS nicht die primäre Fahraufgabe adressieren.

Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf FAS, die dem Fahrer *Handlungsempfehlungen* vorgeben oder in Notbremssituationen auch aktiv eingreifen, d.h. die Definition von Lindberg (2012) ist mit Ausnahme der automatisierten Teile so gültig und wird übernommen. Diese Empfehlungen des MMI können bei Bedarf stets vom Fahrer ignoriert und übersteuert werden. Als Ausnahme sei lediglich der letzte Schritt der Warnkaskade des Notbremsassistenten genannt, der in letzter Instanz eingreift, wenn für den Fahrer keine Chance auf eine positive Reaktion mehr möglich ist. Alle anderen FAS zielen darauf ab, den Fahrer bei einer stressfreien und CO₂ reduzierten Fahrweise zu unterstützen.

Verschiedene Fahrerassistenzsysteme wurden nach möglicher Eignung zur Unterstützung des Fahrers für das Szenario des urbanen Verkehrs ausgewählt und ihnen verschiedene Ausgabemodalitäten zugeordnet. Grundlegend sind alle Empfehlungen von FAS visuell für den Fahrer darstellbar. Zur gezielten Aufmerksamkeitslenkung eignen sich aber zusätzlich auch andere Modalitäten, wie der auditive und haptische Sinneskanal, je nach Dringlichkeit und erforderlicher Handlung. Eine detailliertere Übersicht zu diesen Systemen findet man in Winner (2012). Die folgenden beiden Tabellen beschreiben die in dieser Arbeit implementierten Fahrerassistenzsysteme.

In Tabelle 1 sind die ausgewählten und implementierten FAS mit Unterstützung des Fahrers in Längsrichtung aufgelistet und die hinterlegte Funktion kurz erläutert. Beim Aufbau der Funktionen wurde sich an vorhandenen Serienlösungen und der Umsetzbarkeit orientiert. Die folgenden in Tabelle 2 aufgelisteten FAS zur Handlungsunterstützung in Querrichtung wurden ebenfalls in dieser Arbeit umgesetzt. Auch hier standen vorhandene Serienlösungen als Grundlage zur Verfügung und wurden je nach Machbarkeit und Umsetzbarkeit im Simulator leicht abgeändert implementiert und iterativ angepasst.

Grundsätzlich ist das Ziel des MMI-Gesamtkonzeptes die beliebige Erweiterbarkeit mit Empfehlungen von zusätzlichen Fahrerassistenzsystemen zu ermöglichen. Denkbar ist ebenfalls den Automationsgrad (vgl. Gasser, 2012; Gold, 2016) der einzelnen Systeme zu erhöhen, um auch teilautomatisierte Lösungen in das Konzept aufzunehmen. Eine beispielhafte Umsetzung für ein Level 3 System mit Automatisierung ist in Kapitel 7.3 aufgeführt.

Stand der Technik

Tabelle 1: Übersicht über die verwendeten Fahrerassistenzsysteme und ihrer Funktion bei der Handlungsunterstützung in Längsrichtung mit der jeweiligen Ausgabemodalität im MMI

Bezeichnung	Funktion
Verkehrszeichenerkennung	<p>Wichtige Verkehrszeichen, die Fahraufgabe betreffend, werden von der Funktion erkannt und dem Fahrer dargestellt. Dazu gehören neben Geschwindigkeitsänderungen u.a. auch Überholverbote und Engstellen.</p> <p>Modalität: Visuell</p>
Geschwindigkeitsassistent	<p>Die Funktion gibt dem Fahrer die aktuell erlaubte Geschwindigkeit vor, nachdem diese durch die Verkehrszeichenerkennung erfasst wurde.</p> <p>Modalität: Haptisch, (Visuell)</p>
Grüne-Welle-Assistent	<p>Wird von der Funktion eine Lichtsignalanlage (LSA) erkannt, schätzt die Funktion aufgrund der aktuellen Geschwindigkeit die Phase beim Erreichen der LSA. Auf Grundlage dieser Information wird dem Fahrer eine optimale Geschwindigkeit vorgegeben, um die LSA mit geringstmöglicher Standzeit/Geschwindigkeitsverlust zu überqueren.</p> <p>Modalität: Haptisch, Visuell</p>
Assistent zur Unterstützung beim Überholvorgang	<p>Wird vom Fahrer ein Überholvorgang eingeleitet, erkennt die Funktion auf Grundlage der TTC eine kritische Situation mit entgegenkommenden oder querenden Verkehr und warnt den Fahrer.</p> <p>Modalität: Visuell</p>
Kreuzungsassistent (Gegenverkehr)	<p>Beim Linksabbiegen an einer Kreuzung wird Gegenverkehr erkannt, der die Trajektorie des Fahrers schneiden würde und warnt den Fahrer davor.</p> <p>Modalität: Visuell, (Auditiv)</p>
Folge-/Abstandsassistent	<p>Die Funktion erkennt ein Vorderfahrzeug und gibt Rückmeldung beim Unter- bzw. Überschreiten eines gewissen Abstandes (TTC oder Distanz).</p> <p>Modalität: Haptisch, (Visuell)</p>
Notbremsassistent	<p>Nach dem Durchlaufen der Warnkaskade (TTC < 2,5s, < 1,5s) bremst die Funktion autonom bei einer TTC < 0,9s und gibt dem Fahrer gleichzeitig Warnhinweise aus.</p> <p>Modalität: Visuell, Auditiv</p>

Stand der Technik

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Fahrerassistenzsysteme und ihrer Funktion bei der Handlungsunterstützung in Querrichtung mit der jeweiligen Ausgabemodalität im MMI

Bezeichnung	Funktion
Spurverlassenswarner	Die Grenzen des eigenen Fahrstreifens werden erkannt und geben beim Übertreten von einer bestimmten Zeitspanne eine Warnmeldung an den Fahrer aus. Modalität: Visuell
Fahrstreifenwechsellassistent	Die Funktion erkennt die Intention eines Fahrstreifenwechsels durch den Richtungsanzeiger und einem zusätzlichen benachbarten Fahrstreifen und gibt Informationen über eine mögliche Blockierung dieses aus. Modalität: Visuell
Kreuzungsassistent (Querverkehr)	Beim Erreichen einer Kreuzung wird möglicher Querverkehr erkannt, der die Trajektorie des Fahrers bei gleichbleibender Geschwindigkeit schneiden würde und warnt den Fahrer davor. Modalität: Visuell, (Auditiv)
Engstellenassistent	Eine Engstelle auf dem Fahrstreifen des Fahrers wird erkannt und dem Fahrer angezeigt. Kann die Engstelle nicht durchquert werden, wird dies zusätzlich ausgegeben. Modalität: Visuell

3.2 Technologie & Konzepte

Aktuelle Fahrzeuge verfügen über eine Vielzahl von MMI-Komponenten zur Aus- und Eingabe von fahrrelevanten Informationen. Diese technischen Einrichtungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle können in Anzeige- und Bedienelemente unterschieden werden. Bedienelemente übertragen Information vom Fahrer an das Fahrzeug, während Anzeigeelemente die Übertragung in umgekehrter Richtung für den Fahrer ermöglichen (Winner, 2012). Einige Fahrzeugkomponenten kombinieren beide Funktionen wie bspw. das Lenkrad als Fahrtrichtungsvorgabe und fahrdynamische Rückmeldung. Die Gesamtheit aller im Fahrzeug verbauten Elemente wird auch als Anzeige-Bedien-Konzept (ABK) bezeichnet.

Für eine Kategorisierung der Anzeigeelemente bietet sich eine Unterscheidung nach Modalität der Informationsübermittlung oder nach dem Präsentationsort an. Gerade bei Komponenten, die Informationen visuell für den Fahrer bereitstellen, ist der Abstand von der Hauptsehachse entscheidend und trägt maßgeblich zur Reaktionszeit auf Informationen (Wittmann et al., 2006) und dem Ablenkungspotenzial der Anzeige bei. Für auditive Elemente

ist die Bedeutung des Ortes der Präsentation deutlich geringer, während auch haptische Komponenten sehr ortsabhängig sind.

Um eine Vorauswahl der Komponenten vornehmen zu können, die für das Gesamtkonzept berücksichtigt werden, bietet sich die Bewertung nach der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11) an. Entscheidend für die Bewertung der Komponente ist neben der Situation bzw. dem Szenario auch die Aufgabenstellung an das System. Angezeigte Informationen müssen übermittelt und interpretiert werden während der Fahrer eine dynamische Verkehrssituation bewältigt. Die Hauptaufgabe ist hier die Fahrzeugführung und das Verkehrsgeschehen. Daher sind bei der Bewertung der Komponenten vor allem die Wahrnehmbarkeit, das Ablenkungspotenzial und die Unterbrechbarkeit der Interaktion wichtig. Messgrößen für die Wahrnehmbarkeit sind bspw. Reaktionszeiten, Eingabedauern oder Eingabeschritte. Das Ablenkungspotenzial einer Anzeige kann durch den Einfluss auf die Leistung bei der Durchführung der Fahraufgabe bewertet werden (Miličić, Ablaßmeier, & Bengler, 2008). Dazu können u.a. der Lane-Change-Task (ISO 26022) oder andere objektive Untersuchungsgrößen wie die Abstandshaltung zu einem Vorderfahrzeug (Mulder, van Paassen, & Abbink, 2008) oder Reaktionszeiten auf verkehrliche Änderungen genutzt werden. Die Unterbrechbarkeit der Interaktion mit Bedienkonzepten wird ebenfalls oftmals zur Bewertung genutzt. Sie zeigt, ob eine Information oder Aufgabe auch dann erfolgreich durchgeführt werden kann, wenn diese kurzzeitig unterbrochen wird (Bubb et al., 2015). Die bekannteste Methode zur Messung ist hierbei die Okklusions-Methode (Keinath, Baumann, Gelau, Bengler, & Krems, 2001), bei der mit Hilfe einer Shutter-Brille die Aufgabe in einer Versuchsbedingung mit unterbrochener Blickzuwendung bearbeitet wird (Bubb et al., 2015). Mittels der zuvor beschriebenen Methoden kann die Eignung für eine bestimmte Komponente für den Einsatz im Fahrzeug sowohl vergleichend als auch absolut beurteilt werden. Auf Basis dieser Ergebnisse können auch Erwartungswerte für zukünftige Untersuchungen formuliert werden.

3.2.1 Head-Up Display

Das Head-Up Display ist eine Komponente zur visuellen Darstellung von Informationen im Fahrzeug, die erst seit einigen Jahren vor allem in Oberklasse-Serienfahrzeugen verbaut wird. Erstmals konnte man das System 2003 im BMW 5er finden. Das HUD projiziert ein virtuelles Bild in das primäre Sichtfeld des Fahrers, wodurch eine Blickabwendung vom Fahrgeschehen nicht mehr erforderlich ist (Reif, 2010). Das Bild wird dabei mit einem Winkel von ca. 4° unterhalb der zentralen Sehachse mit einer Sehschärfe zwischen 40 – 50 % dargestellt (Abbildung 10). Dieses virtuelle Bild erscheint für den Fahrer in einem Abstand von 2 – 3 m frontal schwebend über der Motorhaube (Winner, 2012).

Stand der Technik

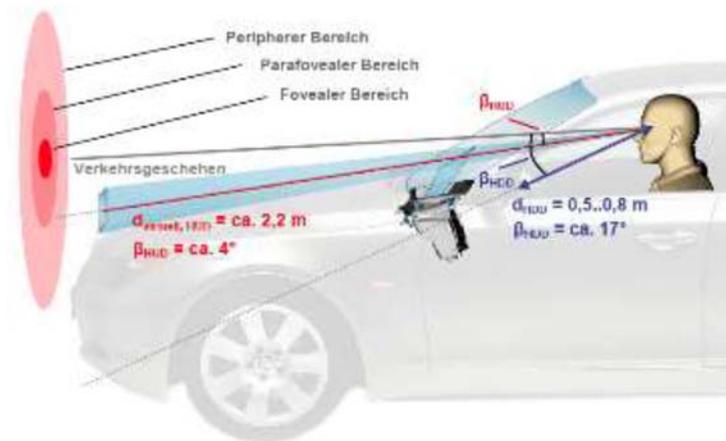


Abbildung 10: Gesichtsbereich im PKW der Fahrszene und des HUD. Der virtuelle Abstand zwischen 2,2 – 2,5 m erlaubt ein Adaption der Augen in die Ferne (Raubitschek, 2008).

Im Vergleich dazu hat das Kombiinstrument nur einen Abstand zwischen 0,5 – 0,8 m zum Fahrer (vgl. Abbildung 10). Daraus ergeben sich weitere Vorteile für das HUD, da das Auge hier nicht auf Nahsicht akkommodieren muss. Dies wirkt zum einen der Ermüdung des Fahrers durch die zuvor genannten Akkommodationsvorgänge entgegen und erzielt zum anderen bei älteren Fahrern eine kürzere Reaktionszeit auf Ereignisse im Straßenverkehr (vgl. Abel, Adamietz, Leuchtenberg, & Schmidt, 2005).

Um dieses virtuelle Bild zu erzeugen, welches sich scheinbar außerhalb des Fahrzeuges befindet, sind mehrere Bauteil-Komponenten erforderlich. Während eine Anzeigeeinheit die Bilddaten erzeugt und die leuchtstarke Beleuchtungseinheit dieses Bild durchstrahlt, setzt sich das System weiterhin aus einer Abbildungsoptik (bestehend aus mehreren Spiegeln) und einem sogenannten Combiner zusammen. Durch die mehrfache Umlenkung der Strahlen wird der Strahlengang verlängert und das Bild erscheint dadurch virtuell, aus Sicht des Fahrers in der vorher erwähnten größeren Distanz (Gevatter & Grünhaupt, 2006). Das Kernstück stellt hierbei die leistungsstarke Beleuchtungseinheit dar, die aufgrund der häufigen Reflexionen an den Spiegeln ein ausreichend kontrastreiches und helles Bild auf die Windschutzscheibe projizieren muss (Abel et al., 2005). Ein weiteres Problem ist die Vermeidung von Doppelbildern in der Windschutzscheibe, wodurch eine aufwändige, keilförmige Reflexionsschicht in der Scheibe verbaut werden muss. Folglich erfordert ein Fahrzeug mit einem HUD neben dem großen Bauraum der Beleuchtungseinheit zusätzlich eine spezielle und teure Frontscheibe. Ein interessanter anderer Ansatz hierzu ist die Nutzung eines durchsichtigen Glasspiegels als Combiner zwischen Fahrer und Frontscheibe, welcher viele Vorteile (aber nicht alle) des konventionellen Head-Up Displays vereint (Schlott, 2011).

Vorteile bei der Darstellung von Informationen auf dem Head-Up Display

Da das virtuelle Bild des HUDs im parafovealen Sichtfeld (ca. 2° - 5° um die Sehachse) des Fahrers erscheint, kann der Blick des Fahrzeugführers weiterhin auf die Straße gerichtet bleiben. Das kann der Aufmerksamkeitsbindung abseits der relevanten Fahrszene entgegen wirken und dadurch maßgeblich zur Fahrsicherheit beitragen (Liu & Wen, 2004). Weiterhin ist dadurch für die visuelle Perzeption keine zusätzliche Kopfbewegung nötig (Abel et al., 2005). Die gesamte Blickabwendungszeit von der relevanten Straßenszene wird dadurch maßgeblich reduziert und zudem die Reaktionszeit (ca. 200-250 ms) auf angezeigte Warnungen oder Informationen verringert (vgl. Horrey, Wickens, & Alexander, 2016). Hervorzuheben ist hier, dass dieser positive Effekt sowohl unter hoher als auch unter geringer Belastung auftritt, was das HUD perfekt für Inhalte mit hoher Priorität empfiehlt (Liu, 2003). Betrachtet man die Zeit fürs Ablesen von Information auf dem HUD relativ zum Display des Kombiinstruments, kann diese sogar halbiert werden (Schlott, 2011). Ein weiterer Vorteil bei der Nutzung des HUD konnte von Liu und Wen (2004) nachgewiesen werden, die eine vorsichtigeren Fahrt im Straßenverkehr sowie eine deutlich akkuratere Verkehrszeichenerkennung zeigten. Eine weitere Besonderheit ist baulich bedingt und verhindert die Problematik der Bloßstellung des Fahrzeugführers (Winner, 2012), die durch auffällige Warnungen auftreten kann, da das virtuelle Bild des Head-Up Displays nur vom Fahrer in der Eyebox sichtbar ist (Raubitschek, 2008).

Nachteile beim Darstellen von Informationen auf dem Head-Up Display

Obwohl die Darstellung der Information im HUD viele positive Effekte zeigt, gibt es hier auch einige wichtige negative Auswirkungen, die nicht unerwähnt bleiben sollen. Ein bekanntes Phänomen ist der sogenannte *Shrink-Effekt*, der Objekte in der Nähe der Head-Up Anzeige kleiner erscheinen lässt und dadurch Abstände zu diesen Objekten möglicherweise unterschätzen lässt (Liu, 2003). Ein anderes Resultat kann der *Cognitive-Capture-Effekt* sein, der die Aufmerksamkeit des Fahrers unterbewusst auf das virtuelle Bild des HUDs bindet und dadurch genau den gegenteiligen Effekt erzeugt und von relevanten Fahrszenen ablenkt (Raubitschek, 2008). Ferner tritt der Effekt des *Perceptual-Tunnelings* im Zusammenhang mit der Aufmerksamkeit des Fahrzeugführers auf, der vorwiegend in Situationen mit hoher Beanspruchung entsteht. Der Aufmerksamkeitsfokus verengt sich dabei ähnlich des bekannten Tunnelblicks, der die Wahrnehmung peripherer Informationen und das Fahrverhalten negativ beeinflusst (Raubitschek, 2008). In einer Studie von Liu (2003) findet man außerdem den *Novelty-Effekt*, der nicht exklusiv bei HUDs zu finden ist, aber auch hier auftreten kann. Dabei lenkt das HUD im Umgang wesentlich stärker ab bei unerfahrenen Nutzern, die dadurch keine vergleichbare Leistung erbringen können. Bei der Überlagerung

der Fahrszene durch das Head-Up Bild kann es außerdem zum *Information-Clutter* kommen. Die hinter dem virtuellen Bild liegende Szenerie erschwert dabei die Ablesbarkeit der dargestellten Information (Liu & Wen, 2004; Winner, 2012). Vor allem betroffen hiervon ist das kontaktanaloge Head-Up Display (kHUD), was dadurch vor allem im urbanen Verkehr große Nachteile hat und daher nicht berücksichtigt wurde.

Systemergonomische Anforderungen an das Head-Up Display

Aufgrund der vorher genannten technischen Ausführung des Head-Up Displays sowie der gezeigten Vor- und Nachteile, ergeben sich für den urbanen Raum einige qualitative und quantitative systemergonomische Anforderungen, die es zu beachten gilt, um ein optimales MMI-Konzept zu entwerfen. Diese werden in Kapitel 4.2.1 resümiert und gesammelt aufgelistet.

3.2.2 Kombiinstrument

Das Kombiinstrument war die erste Komponente im Fahrzeuginnenraum, welche dem Fahrer alle wichtigen fahrrelevanten Informationen zur Verfügung stellt, die mit der primären Fahraufgabe zusammenhängen oder von den verschiedenen FAS verfügbar sind (Bengler, Götze, Pfannmüller, & Zaindl, 2015). In den letzten Jahren hielten immer mehr Displays und andere Anzeige-Bedien-Komponenten Einzug ins Fahrzeug und trotzdem stellt das Kombiinstrument weiterhin das primäre Display für den Fahrer dar (Blume, 2011). Ändern könnte sich das in den nächsten Jahren durch die Entwicklung des Hochautomatisierten Fahrens (HAF), welches großen Einfluss auf die Gestaltung und Ausrichtung aller MMI Komponenten im Fahrzeug haben wird.

Im Grundaufbau bestand es im klassischen Design aus einem kleinen Display zwischen den analogen, mechanischen Zeigerinstrumenten des Geschwindigkeitsmessers und des Drehzahlmessers (Reif, 2010). Während sich die Größe, Auflösung und Qualität des Displays immer mehr verbessert haben, fand auch bei den analogen Anzeigen eine Entwicklung hin zu digitalen Versionen statt. Die rein digitale Darstellung der Geschwindigkeit stieß in Europa (im Gegensatz zu bspw. Japan oder USA) auf mehrheitliche Ablehnung, weshalb die meisten Geschwindigkeitsmesser weiterhin den analogen Zeigerinstrumenten nach empfunden sind (Burghardt, 2009). Mit der Einführung des HUD, welches eine rein digitale Darstellung wählt, geht der Trend auch im Kombiinstrument klar zu dieser Darstellungsart. Die Anzeige erfolgt jetzt meist in einem Display, welches Rundinstrumente teilweise emuliert oder Informationen, wie die Geschwindigkeit oder die Drehzahl, direkt digital anzeigt, um den dadurch gewonnenen Platz im Display für die Darstellung zusätzlicher und detaillierterer Informationen zu nutzen.

Im Zusammenhang mit der Einführung des Airbags im Lenkrad sowie der Servolenkung wurde die Öffnung im Lenkradkranz im Laufe der Zeit stetig kleiner (Reif, 2010). Gleichzeitig stieg die Informationsmenge, welche dem Fahrer zur Verfügung gestellt werden soll, aufgrund neuer Assistenzsysteme, weiter an (Winner, 2012). Dies hat zur Folge, dass die enorme Menge an Hinweisen und Warnungen auf kleinem Raum lesbar und verständlich präsentiert werden müssen (Bellotti et al., 2004). Dies ist einer der Gründe, wieso eine Entwicklung zum freiprogrammierbaren Display sinnvoll erscheint, da priorisierte Informationen hier prominent dargestellt werden können, während für das Szenario irrelevante Informationen ausgeblendet werden. Heutige Kombi-Displays (vgl. Abbildung 11) bestehen in der Regel aus einem grafikfähigen und hochauflösenden Farbbildschirm in der AMLCD-Bauweise mit einer Größe zwischen 10“ und 14“ und einer hohen Rechenleistung zur Darstellung von aufwändigen Bewegungen und zügig wechselnden Anzeigehalten (Winner, 2012). Obwohl diese gesamte Fläche prinzipiell komplett nutzbar für Informationen ist, zeigte eine Befragung, dass von den Nutzern für dynamische und oft wechselnde Informationen lediglich ein Drittel der gesamten verfügbaren Fläche bevorzugt wird (Bellotti et al., 2004).

Der Abstand zum Auge des Fahrers ist im Vergleich zum HUD deutlich geringer mit 0,5 bis 0,8 m im peripheren Sichtfeld. Analog zum HUD spielt auch beim Kombiinstrument der Akkommodationsprozess des Auges eine entscheidende Rolle. Durch den bedeutend geringeren Abstand zum Fahrer kommt es bei der Akkommodation zu signifikant längeren Prozessen mit einer Dauer von bis zu 0,5 s (Winner, 2012). Dies kann zu einer Ermüdung des Auges führen und die Aufmerksamkeit des Fahrers beeinflussen (Abel et al., 2005).

Vorteile bei der Darstellung von Informationen auf dem Kombiinstrument

Das Kombiinstrument trägt durch seine traditionelle Darbietung von Statusanzeigen maßgeblich zur Sicherheit des Fahrers bei. Dabei erlaubt es eine ständige Kontrolle der relevanten Informationen zum aktuellen Status des Fahrzeugs und die Verfügbarkeit integrierter Systeme (Bellotti et al., 2004). Die Position hinter dem Lenkrad, auf der gleichen Sichtachse wie die Fahrszenerie, erlaubt außerdem signifikant bessere Reaktionszeiten auf angezeigte Meldungen im Vergleich zu Displays in der Mittelkonsole (Wittmann et al., 2006). Ein weiterer Vorteil ist, zum einen technisch bedingt und zum anderen durch den Anzeigort, die Ablesbarkeit und Darstellung von Informationen. Durch die Größe des Displays und die fortschreitende freie Programmierbarkeit ist eine sehr detaillierte und fahrerzentrierte Anpassung der übermittelten Informationen möglich. Außerdem ist bauartbedingt die Ablesbarkeit auch bei starker Sonneneinstrahlung problemlos möglich.



Abbildung 12: Aktives Gaspedal in elektromechanischer Ausführung (Zell et al., 2010).

Die Komponente kann grundsätzlich in jedem Fahrzeug anstatt des regulären Gaspedals verbaut werden, da sie im Gegensatz zu anderen Systemen (vgl. Head-Up Display) keinen zusätzlichen Bauraum benötigt und unabhängig von anderen Systemen genutzt werden kann. Die Verwendung des Aktiven Gaspedals erfolgt meist für Empfehlungen zu verbrauchssenkenden sowie CO₂-sparenden Szenarien, da optimale Schaltzeitpunkte sowie Geschwindigkeitsempfehlungen durch einen einfachen Gegendruck bzw. Druckpunkt übermittelt werden können. Weitere Anwendungsmöglichkeiten finden sich in der Unterstützung zum Einhalten eines Sicherheitsabstandes zu einem Vorderfahrzeug (Lange, 2008). Eine weitere Möglichkeit zur Rückmeldung für den Fahrer stellt die Vibration des Aktiven Gaspedals dar. Obwohl diese Art der Rückmeldung an den Fahrer positive Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch zeigte (Lange et al., 2010), wird es in der vorliegenden Arbeit auf Grund von technischen Limitationen in der Umsetzung im Fahrsimulator nicht berücksichtigt, stellt aber eine mögliche Erweiterbarkeit des integrativen Gesamtkonzeptes dar, wenn zusätzliche FAS für den urbanen Verkehr Einzug ins MMI halten.

Vorteile bei der Darstellung von Informationen über das Aktiven Gaspedal

Während mögliche Reaktionen auf dargestellte Informationen durch andere Komponenten immer einen Dekodieraufwand und damit verbundene erhöhte Reaktionszeiten mit sich ziehen, wird beim AG die Handlungsempfehlung am Ort der Durchführung übermittelt. Zusätzlich bringt die haptische Rückmeldung den Vorteil, dass das Signal ausschließlich vom Fahrer wahrgenommen wird, was eine Bloßstellung bei Fehlverhalten vermeidet (Zell et al., 2010).

Der größte Vorteil zeigt sich im Vergleich mit den Komponenten die Informationen visuell darstellen, da Blickabwendungen von der Fahrszene gänzlich reduziert werden, indem Informationen hauptsächlich durch den haptischen Kanal übermittelt werden. Studien

zeigten außerdem eine signifikant bessere Übermittlung von Handlungsanweisungen, wenn das Aktive Gaspedal zusätzlich mit Informationen auf dem Head-Up Display kombiniert wurde (Lange, 2008). In enger Verknüpfung mit diesen Ergebnissen zeigt sich ein positiver Einfluss auf die Beanspruchung des Fahrers sowie ein höheres Sicherheitsgefühl bei der Verknüpfung des AGs mit einer optischen Anzeige. Im Zusammenhang damit wird der systemergonomischen Nutzung des Aktiven Gaspedals zudem eine intuitive und komfortable Assistenz des Fahrers attestiert (Lange, 2008).

Nachteile bei der Darstellung von Informationen über das Aktiven Gaspedal

Modalitätsbedingt zeichnet sich der größte Nachteil in der Vielfalt und dem Detailgrad der übermittelten Informationen ab. So gibt es neben den Darstellungstypen Vibration, Gegendruck und Druckpunkt nur begrenzte Variationsmöglichkeiten durch Kombination der Typen und Änderung der Frequenz oder Dauer (Lange et al., 2010). Dadurch können nur wenige grundsätzliche Informationen übertragen werden ohne spezifische Detailtiefe. Dazu gehört beispielsweise die Handlungsempfehlung der Geschwindigkeitsreduktion, bei der eine genaue Angabe der Zielgeschwindigkeit nur begrenzt umsetzbar ist. Dazu ist immer eine Ergänzung einer Information über einen anderen Sinneskanal erforderlich. Auch zeigt haptisches Feedback stets Akzeptanzunterschiede in der Stärke der Ausprägung.

Systemergonomische Anforderungen an das Aktiven Gaspedals

Mit Hilfe der zuvor genannten Vor- und Nachteile wird auch für die systemergonomische Nutzung eine Liste mit qualitativen und quantitativen Anforderungen an das aktive Gaspedal erstellt, die die Voraussetzungen für eine erste Umsetzung des integrativen MMI-Gesamtkonzeptes bilden. Diese sind in Kapitel 4.2.3 zu finden.

3.3 Aktuelle MMI-Konzepte

Betrachtet man aktuelle Serien-MMI-Konzepte der verschiedenen Automobilhersteller, fällt auf, dass die Gruppierung und Anzahl der dargestellten Informationen einem Trend folgen. Die Darstellung im Kombiinstrument setzt dabei weiterhin auf die beiden Rundinstrumente links und rechts im Display, während der mittlere Bereich freiprogrammierbar gestaltet ist. Leider führt diese Freiheit bei der Gestaltung der Informationen bei vielen Ausführungen dazu, dass zum einen Fahrinformationen mit Entertainment-Funktionen vermischt werden und zum anderen die Menge an gleichzeitig präsentierten Informationen ein unüberschaubares Maß annimmt. Zusätzlich setzen einige Hersteller auf sehr detaillierte Darstellungen der Informationen, die zwar bei Automobilmessen den Besucher im statischen Fahrzeug begeistern, aber für den komplexen

urbanen Verkehr einen erheblichen kognitiven Mehraufwand bedeuten dürften. Abbildung 13 zeigt eines dieser negativen Beispiele, bei dem die Rundinstrumente geneigt dargestellt wurden, welches ein Ablesen der benötigten Informationen (der aktuellen Geschwindigkeit) deutlich erschwert. Auch ist der Anzeigort im Display von thematisch ähnlichen Informationen (bspw. Geschwindigkeit digital, Verkehrszeichenerkennung) variabel gestaltet, was für eine zügige Lokalisierung zusätzliche Augenbewegungen erfordert. Im Vergleich dazu setzen viele Premiumhersteller auf klassische Interaktionskonzepte (vgl. Abbildung 14), die ebenfalls die typischen Rundinstrumente enthalten und den mittleren Bereich für fahrrelevante Informationen nutzen. Auffällig ist in diesem Bereich oft die Darstellung des Ego-Fahrzeuges auf einem sogenannten Fahrteppich, welcher die prognostizierte Trajektorie des Fahrzeugs visualisiert.

Alle Hersteller mit Premiummodellen, die ein Head-Up Display in einer ihrer Modellreihen nutzen, bieten dies meist als optionale Sonderausstattung an. Die damit einhergehende Problematik ist die Standardisierung des Interaktionskonzeptes im Kombiinstrument unabhängig von der Komponentenauswahl im Fahrzeug. Dies ist unabhängig vom HUD und anderen Komponenten entwickelt und stellt daher eine Vielzahl von Informationen einerseits redundant und andererseits teilweise unterschiedlich dar. Zusätzlich ist im HUD die zuvor genannte Problematik mit zu vielen gleichzeitig dargestellten Informationen wie auch im Kombiinstrument zu sehen.



Abbildung 13: Instrument Cluster des SUV Peugeot 3008 von 2016 mit unterschiedlichen MMI-Konzept-Ausführungen und variierenden Anzeigorten gleicher Informationen¹

¹ http://www.team-lens.com/heartstrings/2016/december/2016_1211.html



Abbildung 14: Kombiinstrument des BMW 7er G11 von 2015 aus dem Premiumsegment mit freiprogrammierbarer Anzeige und den typischen Rundinstrumenten²



Abbildung 15: Head-Up Display Darstellung im aktuellen BMW 5er Modell von 2017 mit aktiver Navigation und Karte, ACC-System sowie einer Verkehrszeichenerkennung und der Geschwindigkeit³

² <http://www.bimmertoday.de/2015/04/18/bmw-7er-2015-touchscreen-idrive-mit-gestiksteuerung/bmw-7er-2015-tacho-display-g11-01/>

³ <http://www.bmwcoop.com/2016/10/17/2017-g30-bmw-5-series-sedan-connectivity-driver-assistance/>

Stand der Technik

Durch die technische Weiterentwicklung und Umsetzbarkeit verschiedener Anzeigarten, ist die Anzeige meist überfrachtet mit gleichzeitig dargestellten Informationen. Außerdem sind auch hier oft Entertainment-Funktionen zu finden, die im direkten Blickfeld des Fahrers keine Daseinsberechtigung haben. Ebenfalls ist der Detailgrad hier oft viel zu hoch gewählt. Ein negatives Beispiel dafür ist die Kartendarstellung der Navigation im BMW 5er G30 von 2017. Abbildung 15 zeigt die Darstellung bei aktiver Karte, ACC-System, aktueller Geschwindigkeit und der Verkehrszeichenerkennung. Neben Verdeckungen durch die Vielzahl der flächendeckenden Informationen ist eine Überlastung für den Fahrer in kognitiv anspruchsvollen Szenarien absehbar, da die Darstellung u.a. unnötige statische Informationen zum Status eines Systems enthält (bspw. gewählter Abstand beim ACC) aber auch zu detaillierte Darstellungsarten von Objekten (bspw. das Vorderfahrzeug als Objekt, auf welches geregelt wird), die zusätzlich die relevante Fahrscene überlagern.

Bei der Suche nach aktuellen Fahrzeugmodellen mit verbautem Aktiven Gaspedal fällt auf, dass die Komponente zwar seit einigen Jahren technisch umsetzbar ist und einen hohen Mehrwert verspricht, aber kaum ein Hersteller (bspw. Mercedes C350e) eines dieser Pedale in einem Serienfahrzeug verbaut hat. Gerade im Stadtverkehr mit ständig wechselnden visuellen Reizen kann die haptische Rückmeldung über das Pedal an den Fahrer den entscheidenden Zeitvorteil durch das multi-modale Feedback bringen und die visuelle Belastung weiter reduzieren. Vor allem Empfehlungen zu geschwindigkeitsrelevanten Informationen bieten sich hier zur Darstellung durch das AG an den Fahrer an. Nachdem das aktive Gaspedal aber noch vor einigen Jahren von verschiedenen Premium-Herstellern abgelehnt wurde und der Mehrwert für den Kunden nicht ersichtlich schien, findet nun ein Umdenken der Automobilhersteller statt. Die bekanntesten Zulieferer der Technologie sind Bosch und Continental, die beide einen hohen positiven Effekt für den Fahrer bei der Nutzung des Aktiven Gaspedals nachweisen konnten (u.a. bei der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs⁴).

⁴ <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/aktives-gaspedal-von-bosch-bis-zu-sieben-prozent-weniger-verbrauch-45730.html>

4 Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Ziel dieses Kapitels ist es, mit Hilfe vergangener Studien, Expertendiskussionen und den Ergebnissen der Analyse der MMI-Komponenten und ihrer vorteilhaften Einsatzgebiete qualitative und quantitative systemergonomische Anforderungen herauszuarbeiten. Diese beinhalten sowohl Anforderungen die durch komponenten-spezifische Eigenschaften entstehen sowie auch ergonomische Richtlinien. Neben den zuvor genannten Komponenten werden zudem Anforderungen an das Fahren im urbanen Raum und seine Charakteristik, aber auch Warn- und Informationskonzepte im Allgemeinen betrachtet und dadurch die Rahmenbedingungen für die Umsetzung des Interaktionskonzeptes abgeleitet. Zur besseren Lesbarkeit und Übersicht werden die wichtigsten systemergonomischen Anforderungen an die jeweiligen Systeme kurz beschrieben und anschließend tabellarisch aufgelistet. Die einzelnen Punkte sind dabei immer durch ihren Ursprung gekennzeichnet.

4.1 Anforderungen an Warn- und Informationskonzepte

Um dargestellte Informationen und allen voran Warnungen für den Fahrer eindeutig identifizierbar zu machen, ist es dringend notwendig, diese für ihn sinnvoll im Fahrzeug zu platzieren, um Blickabwendungs- und Reaktionszeiten zu reduzieren. Dazu gehört neben der Auswahl der jeweiligen Komponente zur Darstellung auch die verbaute Position im Fahrzeug selbiger. Der Fahrer sollte nach Möglichkeit stets in der Lage sein, einen direkten Bezug zwischen der übermittelten Meldung und dessen Grund herzustellen (Schartner, 2013). Dadurch wird der kognitive Aufwand zur Verarbeitung der Informationen geringgehalten, was dann in richtigen und schnelleren Reaktionen resultiert. Daher werden für das Gesamtkonzept sowohl der Inhalt als auch die Position der Informationen entsprechend der Dringlichkeit und gewünschten Handlung bewusst gewählt. Explizit sei hierbei noch das „Warndilemma“ erwähnt, was zusätzlich den Zeitpunkt der Darstellung berücksichtigt. Demzufolge sollten Informationen generell möglichst spät (um Fehlmeldungen zu vermeiden), aber dennoch so früh wie nötig visualisiert werden (Winner, 2012). Dazu gehört es beispielsweise relevante Meldungen für den Fahrer in kritischen Situationen zu priorisieren (Muigg, Meurle, & Rigoli, 2008). Eine weitere Möglichkeit der gezielten Aufmerksamkeitslenkung, um gewisse Handlungen zu erreichen, stellt die gezielte Steuerung des visuellen Fixationspunktes des Fahrers dar (Burghardt, 2009). Das kann unter anderem durch die Nutzung des Head-Up Displays zur Darstellung von kritischen oder dynamischen Meldungen erreicht werden, um den Blick des Fahrers weg vom Kombiinstrument in Richtung des Fahrszenarios zu lenken. Für kaskadenartige Meldungen sollte zudem darauf

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

geachtet werden, die einzelnen Informationen aufeinander abzustimmen. Frühwarnungen und generelle Routeninformationen mit ausreichend Zeitbudget sollten daher weniger auffällig und aufmerksamkeitsbindend dargestellt werden als Akutwarnungen mit gleichem Inhalt. So wird sichergestellt, dass die geforderten, relevanten Informationen auch zum richtigen Zeitpunkt dargestellt werden. Gleichzeitig sollten diese akuten Meldungen handlungsorientiert und intuitiv verständlich wiedergegeben werden (Reif, 2010).

Um dem integrativen Ansatz eines Interaktionskonzeptes gerecht zu werden, ist es erforderlich Meldungen auf allen Komponenten zusammenhängend und konsistent darzustellen (Burghardt, 2009). Dies kann durch die Art der Darstellung, aber auch durch den Detailgrad der wiedergegebenen Information geschehen. So kann im Kombiinstrument zu einem spezifischen Szenario eine detaillierte Erklärung eingeblendet werden und dann eine simple und generische Symbolik im Head-Up Display folgen. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Darstellung der Navigation, die im CID oder Kombiinstrument in einer detailreichen Karte dargestellt wird und die Informationen im HUD auf Richtungspfeile und Distanzangaben reduziert sind. Es gilt allerdings zu vermeiden, eine Redundanz dieser Meldungen durch eine exakt gleiche Darstellung durch verschiedenen Komponenten zu erreichen, da dies keinen Mehrwert für den Fahrer darstellt. Durch eine entsprechend der Priorität dargestellte Information und eine damit verbundene Assoziation einer einfachen Anzeige mit einer komplexen Situation, kann der Fahrer beim Auftreten eines kritischen Szenarios direkt die entsprechende Gefährlichkeit zuordnen (Thoma, 2010). Dies kann unter anderem durch den gezielten Einsatz der Farben Grün, Gelb und Rot entsprechend ihrer bekannten Bedeutungen im Straßenverkehr (wie beispielsweise bei Lichtsignalanlagen) erfolgen (DIN EN ISO 2575). Des Weiteren sollte der Inhalt der Warnung an die Menge der Informationen angepasst werden, die der Fahrer selbst aus dem Kontext des Szenarios direkt entnimmt (Thoma, 2010). So reicht für ersichtliche Handlungen, wie das Ende eines Fahrstreifens und des damit verbundenen Fahrstreifenwechsels, eine einfache und generische Darstellung ohne große Erklärung. Eine grobe Einteilung der unterschiedlichen Warn- und Informationskategorien mit ihrem konkreten Informationsinhalt sowie spezifischen Beispielen (Informationsinhalt und Szenario) kann Tabelle 11 in Kapitel 4.3 entnommen werden.

Beim Darstellungsort, auf dem jeweiligen Ausgabemedium, und der Gestaltung sollten zudem die Gestaftgesetze beachtet und konsequent umgesetzt werden (Bubb et al., 2015). Dazu gehört vor allem das „Gesetz der Nähe“, um ähnliche Informationen zu gruppieren, um Zusammengehörigkeit zueinander zu suggerieren.



Abbildung 16: Darstellung der Informationen nach dem "Gesetz der Nähe", um zusammengehörige Inhalte gruppiert zu präsentieren. Als Beispiel sind hier eine frühe Version (links) und die finale Version (rechts) des Anzeigekonzepts für das Head-Up Display beispielhaft gewählt.

Abbildung 16 zeigt eine frühe Version des MMI (links) und eine später verwendete Version (rechts) mit einer Clusterung an Informationen im Head-Up Display bei der die Informationen so angeordnet sind, dass zusammenhängende Inhalte eine Einheit bilden. Unabhängig von der Wahl der Symbole und Farben kann man bei beiden Varianten sehr gut zusammenhängende Informationen lokalisieren.

Bei der Darstellung von visuellen Warnungen an den Fahrer auf einem der Innenraumdisplays ist außerdem darauf zu achten, dass diese von anderen Meldungen nicht verdeckt, sondern eher als Pop-Up über anderen Informationen angezeigt werden. Generell sind auch die Formen von Grafiken und Symbolen entsprechend ihrer Bedeutung darzustellen. Dazu gehört es, Gebote kreisförmig, Hinweise rechteckig und Warnungen dreieckig darzustellen (VDI/VDE 3850-1).

Nachdem in Kapitel 2.4 auf die Komplexität und die Eigenschaften des urbanen Verkehrs eingegangen wurde, ergeben sich aus dieser Charakteristik zusätzliche systemergonomische Anforderungen für die Darstellung von Informationen im MMI Gesamtkonzept. So sollte beispielsweise in Kreuzungssituationen darauf geachtet werden, den Fahrer durch komplexe Darstellungen und unnötige Informationen nicht zu überlasten und seine Aufmerksamkeit unnötig zu binden (Schröder, 2012). Weiterhin sollten die Besonderheiten des städtischen Verkehrs beachtet werden. Es muss daher zwingend priorisiert werden und nicht dringend benötigte Meldungen für den Fahrer in komplexen Szenarien müssen zurückgehalten werden (DIN EN ISO 15005).

Qualitative Anforderungen

Nachfolgend sind in Tabelle 3 die systemergonomischen qualitativen Anforderungen die durch die urbanen Szenarien für den Fahrer entstehen und Empfehlungen für die Darstellung von Informationen sowie Warnungen im Allgemeinen jeweils mit einem Hinweis zur Herkunft tabellarisch aufgelistet.

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Tabelle 3: Sammlung der systemergonomischen qualitativen Anforderungen die durch die Komplexität des urbanen Verkehrs entstehen sowie Warnungen und Informationen im Allgemeinen mit Ergänzung der jeweiligen Quelle

Anforderungen an den urbaner Raum / Szenarien / Allg. Warnungen	Quelle
Berücksichtigung der Komplexität der Verkehrssituation	(Schröder, 2012)
Berücksichtigung der hohen Vigilanzleistung an Kreuzungen	(Schröder, 2012)
Notwendige Unterscheidung von Stadtkreuzungen (Ampel / Vorfahrt)	(Schröder, 2012)
Keine permanenten Informationen in selbstbeherrschten Situationen	(Reif, 2010)
Berücksichtigung von Fahrerfahrung, Fahrstil und Fahrertyp	(Winner, 2012)
Intuitive Verständlichkeit von Informationen	(DIN EN ISO 15005)
Priorisierte Darstellung von Informationen	(DIN EN ISO 15005)
Berücksichtigung von hoher Verkehrsdichte	(Schartner, 2013)
Berücksichtigung von wechselnden Lichtverhältnissen	(Schartner, 2013)
Berücksichtigung hohe Frequenz von Hinweisen und Manövern	(Schartner, 2013)
Verknüpfung von Überwachung durch Fahrer und FAS	(Ehmans et al., 2003)
Verknüpfung des Anzeigeorts mit dem Meldungsinhalt	(Schartner, 2013)
Berücksichtigung des „Warndilemmas“ bei der Umsetzung	(Winner et al., 2015)
Anzeigen nahe des Blickzentrums für eine geringe Ablenkung	Eigene
Bindung des Großteils der Aufmerksamkeit auf Fahraufgabe	(DIN EN ISO 15005)
Anzeige an für Metaebenen der Fahraufgabe entsprechender Position	(Raubitschek, 2008)
Anwendung der ergonomischen Gestaltgesetze	(Bubb et al., 2015)
Zeitliche und inhaltliche Abstimmung der Informationen aufeinander	(Reif, 2010)
Einschätzbarkeit der Gefährlichkeit der Situation durch Warnung	(Thoma, 2010)
Fahrerinformation so spät wie möglich und so früh wie nötig	(Naujoks, Grattenthaler, & Neukum, 2012)
Vermeidung von Warntönen bei Fahrerinformation	(Naujoks et al., 2012)
Keine Detailinformationen im peripheren Sichtfeld	(Naujoks et al., 2012)
Vermeidung von Informationen in kritischen Situationen	(Muigg et al., 2008)
Vermeidung der Bloßstellung des Fahrers bei Nichtbeachten	(Winner, 2012)
Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit	(VDI/VDE 3850-3)
Erwartungskonformität, Individualisierbarkeit, Lernförderlichkeit	(VDI/VDE 3850-3)

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Anforderungen an den urbaner Raum / Szenarien / Allg. Warnungen	Quelle
Geringe visuelle Beanspruchung	Eigene
Klare Lokalisierbarkeit von Informationen	Eigene
Vermeidung von Redundanzen	Eigene
Vermeidung von Mehrfachbelegung von Darstellungsart	Eigene
Gezielter Einsatz von Gelb und Rot als Warnfarben	(DIN EN ISO 2575)
Gezielte Steuerung des Fixationspunktes	(Burghardt, 2009)
Herstellung Zusammenhang von Infos auf untersch. Komponenten	(Burghardt, 2009)
Berücksichtigung schnellerer Fixation dynamischer Objekte	(Kobiela, 2011)
Orientierung an vorhandenen genormten Grafiken bei Symbolen	(DIN EN ISO 2575)
Form der Symbole entsprechend ihrer Bedeutung (Verbot etc.)	(VDI/VDE 3850-1)

Tabelle 4: Auflistung der allgemeinen quantitativen Anforderungen bei der Darstellung von Informationen und Warnungen

Anforderungen an den urbaner Raum / Szenarien / Allg. Warnungen	Quelle
Bereich um Sichtstrahl für periphere Informationen: 25° vert. / 35° horiz.	(Wittmann et al., 2006)
Zeitlicher Abstand zwischen zwei Warnungen: ≥ 3 s	(Thoma, 2010)
Zeitpunkt für effektive Fahrerinformation: ≥ 1 s / optimal 2-3 s	(Naujoks et al., 2012)
Warnkaskade: Noteingriff $< 0,9$ s Akutwarnung 0,9-1,5 s Warnung 1,5-2,5 s	Angelehnt an Naujoks et al. (2012) und Thoma (2010)

Quantitative Anforderungen

Die systemergonomischen quantitativen Anforderungen an die Darstellung von Warnungen im Allgemeinen beschränken sich auf Präsentationszeitpunkte, -zeiträume und den Abstand vom Sichtstrahl. Alle gefundenen Anforderungen sind mit den jeweiligen Quellen in Tabelle 4 aufgelistet.

4.2 Systemergonomische Anforderungen an die MMI-Komponenten

Durch die technischen Gegebenheiten der jeweiligen Komponenten sowie deren Modalität, Position und Ausprägung ergeben sich auch hier wichtige Anforderungen zur Darstellung von Informationen, die es gilt umzusetzen, um eine optimale Unterstützung des Fahrers zu gewährleisten. Ähnlich der Auflistung zu Meldungen im Allgemeinen wird hier

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

wieder zwischen qualitativen und quantitativen Anforderungen unterschieden und mit der Quelle ergänzt. Ziel soll es sein, mithilfe dieser gesammelten Informationen einen ersten Konzeptentwurf für das multimodale Anzeigekonzept zu entwerfen.

4.2.1 Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Head-Up Displays

Schartner (2013) untersuchte die präferierten Einsatzgebiete für die Darstellung auf dem Head-Up Display. Dabei unterschied er nach dem Ziel der jeweiligen Meldung für den Fahrer. Die beste Eignung fand sich dabei für Handlungsanweisungen, dynamische Informationen sowie für aufmerksamkeitslenkende Hinweise und Warnungen.

Für grundsätzliche Inhalte gilt wie zuvor erwähnt die Vermeidung der Redundanz identischer Darstellungen. Aufgrund der kleinen Anzeigefläche und der Darstellung im direkten Sichtfeld des Fahrers sollten zeitkritische und die aktuelle Situation betreffende Meldungen mit einem geringeren Detailgrad als im Kombiinstrument dargestellt werden (Weber, 2005). Die Informationen auf dem HUD sollten speziell bei kritischen Szenarien gezielt dafür genutzt werden, die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Straßenszene zu richten und dort zu binden (Abel et al., 2005). Eine Möglichkeit dies umzusetzen, erreicht man durch sogenanntes „Fading“ beim Wechsel von Symbolen und Text (Miličić, 2010). Fading definiert sich dabei als animiertes Ein- und Ausblenden von Inhalten über die Manipulation der Deckkraft. Im Gegensatz dazu sollte aus Konsistenzgründen auf Animationen durch horizontales und/oder vertikales Verschieben verzichtet werden (Raubitschek, 2008). Nicht benötigte Inhalte sollten im Head-Up Display im Gegensatz zum Kombiinstrument ausgeblendet werden, um die Anzeigen auf das Nötigste zu reduzieren (Miličić, 2010).

Quantitativ gelten für alle Displays definierte Standards, die für eine optimale Lesbarkeit Zeichenhöhen (DIN EN ISO 15008), Anzeigedauern oder die maximale Anzahl von Farben definieren (Raubitschek, 2008).

Qualitative Anforderungen

In Tabelle 5 sind alle gefundenen systemergonomischen qualitativen Anforderungen und Empfehlungen für die Darstellung von Informationen auf dem Head-Up Display sowie deren Ursprung aufgelistet und übersichtlich sortiert. Einige beruhen dabei auf Untersuchungen und Studien über die Eignung von Anzeigehalten für einen bestimmten Zweck, während andere auf technische Gründe bzw. Grenzen zurückzuführen sind.

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Tabelle 5: Gesammelte qualitative Empfehlungen bei der Darstellung von Informationen im Head-Up Display mit der jeweiligen Quelle

Anforderungen an das Head-Up Display	Quelle
Vermeidung der Redundanz von HUD und Kombiinstrument	Eigene
Geeignet für: Pop-ups, Icons und dynamische Informationen	(Schartner, 2013)
Detailgrad HUD < Kombiinstrument	(Weber, 2005)
Generische Anzeigen für geringere visuelle Beanspruchung	Eigene
Keine Überdeckung der Fahrszene durch HUD	(Winner, 2012)
HUD ersetzt nicht das Kombiinstrument (sondern es ergänzt)	(Reif, 2010)
Vermeidung der Überladung mit Inhalten	(Reif, 2010)
Bevorzugt für zeitkritische, situative und dynamische Informationen	(Weber, 2005)
Darstellung sicherheitsrelevanter Informationen	(Winner, 2012)
Darstellung direkt fahrrelevanter Informationen	(Abel et al., 2005)
Anpassung der Helligkeit an Hintergrundbeleuchtung	(Abel et al., 2005)
Berücksichtigen der kürzeren Reaktionszeiten	(Liu & Wen, 2004)
Beachtung der Effekte: „Shrink“, „Cognitive Capture“, „Novelty“, „Information Clutter“ und „Perceptual Tunneling“	(Liu, 2003)
Eignung für: Geschwindigkeitsinformationen, Verkehrszeichen, Bewusstsein über Geschwindigkeit, Reaktionszeiten auf Warnungen	(Liu & Wen, 2004)
Klar strukturierte Aufteilung durch begrenzten Platz	(Weber, 2005)
Geringe Komplexität der Anzeige	(DIN EN ISO 15005)
Keine Anzeige statischer Kontroll-/Statusleuchten	(Weber, 2005)
Beschränkung der Informationen auf das Notwendigste	(Weber, 2005)
Vermeidung der Farbe Blau	(Raubitschek, 2008)
Nutzung von Ein- und Ausblenden (Fading) für Wechsel von Symbolen	(Miličić, 2010)
Vermeidung von Animationen	(Raubitschek, 2008)
Vermeidung von Überdeckung / Überlappung	(Miličić, 2010)
Gezielte Ausblendung nicht relevanter Inhalte	(Miličić, 2010)
Begrenzung des textuellen Anteils der Anzeige auf Minimum	(Miličić, 2010)
Gezielte Aufmerksamkeitslenkung durch Warnungen im HUD	(Reif, 2010)

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Tabelle 6: Überblick der gefundenen quantitativen Anforderungen zur optimalen Darstellung verwendeter Anzeigen und Informationen im Head-Up Display

Anforderungen an das Head-Up Display	Quelle
Minimale Zeichenhöhe für Fahrer: 10,47 mm (= 12')	(DIN EN ISO 15008)
Optimale Zeichenhöhe für Fahrer: 17,45 mm (= 20')	(DIN EN ISO 15008)
Anzeigedauer von Verkehrszeichen: ≥ 5 Sekunden	(Liu, 2003)
Begrenzung der Blickabwendungszeiten: < 2 Sekunden	(Liu & Wen, 2004)
Strukturierung der Anzeigebereiche entsprechend Sichtstrahl: 2°	(Weber, 2005)
Maximale Anzahl verwendeter Farben: 4	(Raubitschek, 2008)
Leuchtdichte des HUDs: ≥ 17.000 cd/m ²	(Raubitschek, 2008)

Quantitative Anforderungen

Die systemergonomischen quantitativen Anforderungen bei der Darstellung von Informationen im HUD vereinen genormte Displayanforderungen wie Schriftgrößen, Leuchtdichten und verwendete Farben, aber auch zeitabhängige Richtlinien über Verweildauern von Anzeigen und maximale Blickabwendungszeiten. Tabelle 6 gibt einen groben Überblick über die gefundenen relevanten Anforderungen, die für das Interaktionskonzept als wichtig erachtet wurden.

4.2.2 Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Kombiinstrument

Einige der systemergonomische Anforderungen bei der Darstellung von Anzeigehalten begründen sich aus den technischen Voraussetzungen des Kombiinstrumentes, da es grundsätzlich ein hochauflösendes Display ist und man somit vorhandene Normen übernehmen kann (DIN EN ISO 15005; DIN EN ISO 15008). Dazu gehören speziell die Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme betreffenden Spezifikationen (Burghardt, 2009). Schartner (2013) untersuchte die Eignung für die Darstellung spezifischer Informationsarten auf dem Kombiinstrument. Die größte Eignung empfahl er für detaillierte Informationen, Zustandsinformation, Statusanzeigen und Situationshinweise. Aber auch zur Aufmerksamkeitslenkung zeigt es im Vergleich zu anderen Displaypositionen positive Eigenschaften.

Aufgrund der längeren Blickabwendungszeiten beim Ablesen von Informationen auf dem Kombiinstrument im Straßenverkehr im Vergleich mit dem HUD (Wittmann et al., 2006) sollte es vermieden werden, die Aufmerksamkeit des Fahrers zu lange zu binden (Abel et al., 2005). Die Berücksichtigung dieser Forderung impliziert eine schnelle und

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

einfache Ablesbarkeit der Informationen und eine intuitive und bedarfsorientierte Darstellung, bei welcher der Fahrer benötigte Informationen „on demand“ abrufen kann, wenn es das Verkehrsgeschehen erlaubt. Um dies zu ermöglichen, ist zwar ein höherer Detailgrad der dargestellten Informationen als im HUD möglich, aber auch hier sollte auf nicht relevante Meldungen verzichtet werden (Bellotti et al., 2004). Es muss ein Kompromiss gefunden werden, ob Informationen in Abhängigkeit des Szenarios generisch im HUD ausreichen oder eine zusätzliche Erklärung im Kombiinstrument notwendig ist (Burghardt, 2009).

Weiterhin sind auch bei der visuellen Darstellung von Informationen auf dieser Komponente die Anwendung der Gestaltgesetze zu beachten (Bubb et al., 2015), da die Problematik des fehlenden Bezugs vom Ort der Darstellung einer Warnung zur kritischen Situation besonders stark ausgeprägt ist. Eine andere Möglichkeit, um diesem Aspekt entgegen zu wirken, stellt die gezielte Verwendung von Farben zur Darstellung dar, um die Aufmerksamkeit in eine gewisse Richtung anzustoßen (Bellotti et al., 2004). Andere Anforderungen stellen sich auch an die Lokalisierbarkeit der Inhalte im Kombiinstrument. So sollte mit Rücksicht auf die längeren Akkommodationsdauern und die verbaute Position im Fahrzeug gewährleistet werden, dass eine feste und konsistente Einteilung der Anzeigehalte auf gewisse Bereiche unbedingt erfolgt (Abel et al., 2005; Burghardt, 2009).

Qualitative Anforderungen

Auch für die Darstellung von Informationen im Kombiinstrument sind alle gefundenen und relevanten Anforderungen in Tabelle 7 aufgelistet, kurz beschrieben und mit der zugehörigen Quelle ergänzt. Aufgrund der technischen Eigenschaft der Komponente als Display, ergeben sich einige Überschneidungen mit den Empfehlungen zur Darstellung im Head-Up Display.

Tabelle 7: Übersicht gefundener qualitativer Anforderungen zur optimalen Gestaltung und Auslegung von Informationen im Kombiinstrument als Teil eines multi-modalen Gesamtkonzeptes

Anforderungen an das Kombiinstrument	Quelle
Darstellung der Regelobjekte (bspw. Ampel, Fahrzeug) vor Egofahrzeug	Eigene
Darstellung des Egofahrzeugs mittig in Anzeige	(Bubb et al., 2015)
Keine Darstellung von Statusinformationen im zentralen Bereich	(Abel et al., 2005)
Farben Rot und Gelb für Warnungen vorbehalten	(DIN EN ISO 2575)
Intuitive Gestaltung der Inhalte	(Burghardt, 2009)
Beachtung der längeren Blickabwendungszeiten im Vergleich zum HUD	(Abel et al., 2005)
Darstellung von fahrrelevanten Informationen	(Winner, 2012)

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Anforderungen an das Kombiinstrument	Quelle
Kombiinstrument kein Ersatz für Mittelkonsolendisplay	(Winner, 2012)
Vermeidung des Wechsels von Positionen der Anzeigehalte	(DIN EN ISO 15005)
Beachten des fehlenden Bezugs einer Warnung	(Burghardt, 2009)
Nutzung vorteilhafter analoger Darstellung von Geschwindigkeit / DZM	(Burghardt, 2009)
Ständige Darstellung der Geschwindigkeit	(Burghardt, 2009)
Aufteilung der Anzeigefläche in feste Bereiche (Konsistenz)	(DIN EN ISO 15005)
Abstimmung der Inhalte mit den HUD-Inhalten (integrativer Ansatz)	(Burghardt, 2009)
Beschränkung der angezeigten Informationsmenge auf Optimum	(Bellotti et al., 2004)
Schnelle Ablesbarkeit der Anzeigen	(Bellotti et al., 2004)
Gezielter Einsatz von Farben zur Aufmerksamkeitslenkung	(Bellotti et al., 2004)
Farbwahl entsprechend ergonomisch sinnvoller Kombinationen	(Bellotti et al., 2004)
Differenzierbarkeit zwischen Hinweisen und Warnungen	(Bellotti et al., 2004)
Verwendung limitierter und fester Anzahl Symbole (generischer Ansatz)	(Bellotti et al., 2004)
Berücksichtigung begrenzter Displaygröße des Kombiinstrumentes	(Bellotti et al., 2004)

Tabelle 8: Gesammelte Darstellung gefundener quantitativer Anforderungen für das Kombiinstrument mit Berücksichtigung der Relevanz für das hier gewählte Ziel eines neuen Anzeigeconzeptes

Anforderungen an das Kombiinstrument	Quelle
Minimale Zeichenhöhe (bei 1,2 m Abstand): 4,19 mm (= 12')	(DIN EN ISO 15008)
Optimale Zeichenhöhe (bei 1,2 m Abstand): 6,98 mm (= 20')	(DIN EN ISO 15008)
Beachtung der Dauer des Akkommodationsprozesses: 0,3 – 0,5 s	(Reif, 2010)
Darstellung angepasst auf eingesetzte Displaygröße: 10" – 14"	(Winner, 2012)
Vorgabe Drehzahlmesser/Tachometer (Zeiger): 270° / s	(Burghardt, 2009)
Berücksichtigung der besten Sehschärfe: Radius 9 cm	(Burghardt, 2009)
Anteil nutzbarer Anzeigefläche (neben Rundinstrumente.): 1/3	(Burghardt, 2009)
Leuchtdichtekontrast: $\geq 3:1$ (Tag), $\geq 2:1$ (Sonne), $\geq 5:1$ (Nacht)	(DIN EN ISO 15008)
Minimaler Wortabstand: Breite Buchstabe „o“	(DIN EN ISO 15008)
Minimale Pixelmatrix für Symbole: 32 px x 32 px	(DIN EN ISO 15008)

Quantitative Anforderungen

Bei den systemergonomischen quantitativen Anforderungen gibt es ebenfalls große Gemeinsamkeiten zur Darstellung im Head-Up Display, da auch hier gängige Normen und Darstellungsregeln angewendet werden sollten. In Tabelle 8 sind die wichtigsten und relevanten Empfehlungen zusammengefasst.

4.2.3 Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an das Aktive Gaspedal

Das Haupteinsatzgebiet von Feedback an den Fahrer über das Aktive Gaspedal sollte bei kontinuierlichen Informationen (bspw. auf ein Regelobjekt) und Handlungsanweisungen in innovativer und intuitiver Weise sein (Schartner, 2013). Die Handlungsempfehlung erfolgt dabei am Ort der Ausführung (Zell et al., 2010) durch einen Gegendruck oder eine Druckschwelle, wobei auf Vibration bewusst verzichtet wird (Lange et al., 2008). Weitere sinnvolle Einsatzgebiete sind die Darstellung von Abstands- und Geschwindigkeitshaltungen.

Mit Rücksicht auf das Wiener Übereinkommen (Winner, 2012) sollte jederzeit gewährleistet sein, dass die Überstimbarkeit des aktiven Gaspedals durch den Fahrer problemlos möglich ist (Thierfelder, 2007). Dadurch behält der Fahrer jederzeit die Kontrolle über das Fahrzeug.

Da die Anzahl der unterscheidbaren Feedbackdarstellungen begrenzt ist und die Unterscheidbarkeit zwischen spezifischen Hinweisen zu jeder Zeit gewährleistet werden sollte, wird es für maximal zwei Signale (Gegendruck und Druckschwelle) eingesetzt werden.

Tabelle 9: Übersicht relevanter qualitativer Anforderungen für die Darstellung von Informationen im urbanen Verkehr an das Aktive Gaspedal

Anforderungen an das Aktive Gaspedal	Quelle
Vermeidung von Vibration zur Informationsübermittlung	Eigene
Realisieren eines Schaltpunkthinweises durch Doppelticken	(Lange et al., 2010)
Einsatz eines variablen Druckpunktes zur Geschwindigkeitshaltung	(Lange et al., 2008)
Einsatz eines Druckpunktes zur Abstandshaltung	(Lange et al., 2008)
Ständige Überstimbarkeit des Druckpunktes durch Fahrer	(Lange et al., 2008)
Keine notwendige zusätzliche visuelle Erklärung je nach Szenario	(Lange et al., 2008)
Nutzung des Potenzials zur reduzierten Blickabwendung	(Lange et al., 2008)
Nutzung des höheren subjektiven Sicherheitsgefühls	(Lange et al., 2008)
Keine Bloßstellung des Fahrers durch diskrete Information	(Zell et al., 2010)
Ort des Feedbacks entspricht Medium zur Handlung	(Zell et al., 2010)

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Tabelle 10: Gefundene quantitative Anforderungen an das Aktive Gaspedal für den urbanen Verkehr

Anforderungen an das Aktive Gaspedal	Quelle
Maximale Anzahl von Signalen: 2 (Gegendruck / Druckpunkt)	Eigene
Maximale Anzahl Eskalationsstufen: 1	Eigene

Qualitative Anforderungen

Der Großteil der systemergonomischen Anforderungen wurde durch Lange et al. (2008) beforscht und zusammengetragen. Primäre Empfehlungen sind dabei sowohl die Art der Darstellung und das Handlungsziel. Die wichtigsten sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Quantitative Anforderungen

Die quantitativen Empfehlungen (siehe Tabelle 10) beschränken sich auf die Anzahl der verwendbaren Signale sowie deren Eskalationsstufen, um eine Unterscheidbarkeit zu gewährleisten.

4.3 Weitere Anforderungen bei der Darstellung von Informationen an den Fahrer im urbanen Raum durch Evaluation

Ein Teil der vorangegangenen systemergonomischen Anforderungen zur Darstellung von Informationen hat ihren Ursprung in Untersuchungen im Szenario der Autobahn- und Überlandstraßen. Einige können problemlos in den urbanen Kontext übertragen werden. Bei anderen ist eine zusätzliche Evaluation für das Szenario Stadt erforderlich. Da vor allem die verschiedenen Kategorien des Informationsinhaltes und dem präferierten Ort der Darstellung betroffen sind, wurden diese klassifiziert und beschrieben. Mit Hilfe der Daten von Schartner (2013) wurde die in Tabelle 11 zu findende Übersicht erarbeitet.

Die dort dargestellten Kategorien lassen sich unabhängig vom Anzeigzeitpunkt aufstellen und beschreiben den Umfang und die Komplexität der an den Fahrer übermittelten Informationen. Handlungsanweisungen beschreiben konkret die vom Fahrer geforderte Reaktion auf ein bestimmtes Ereignis. Die Darstellung entlastet den Fahrer durch relativ geringe erforderliche kognitive Interpretationsleistung. Typische Beispiele dafür sind Navigationsanweisungen oder eine Bremsaufforderung. Während der Großteil der Warnungen handlungsorientiert erfolgen sollte, gibt es einige spezifische Szenarien, in welchen auch andere Informationsinhalte sinnvoll sind.

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Tabelle 11: Kategorisierung nach Informationsinhalt inkl. Definitionsbeschreibung und Beispieldarstellung (übersetzt aus Götze et al., 2014)

Kategorie	Beschreibung
Handlungsanweisung	Konkrete Darstellung der geforderten Reaktion z.B. Bremsaufforderung, Navigationsanweisung
Situationshinweis	Spezifischer Warnhinweis mit Angabe von Art oder Ort z.B. Spurwechselwarnung
Aufmerksamkeitslenkung	Allgemeine Aufmerksamkeitserhöhung oder unspezifischer Hinweis auf Gefahrensituationen z.B. Warntöne
Zustandsinformation	Darstellung des Fahrzeugzustandes z.B. Verfügbarkeit- und Bereitschaftsanzeige
Detailinformation	Zahlenwerte oder Textinhalte z.B. Navigationsanweisungen, Geschwindigkeitsanzeige

Bei den Situationshinweisen wird dem Fahrer selber überlassen, wie er auf die angezeigte Meldung reagiert, da u.a. gar keine Handlung erforderlich ist. Der Warnhinweis enthält spezifische Informationen mit Angabe von Art und Ort des Grundes. Das kann beim geplanten Fahrstreifenwechsel die Information über ein Fahrzeug im toten Winkel des Fahrers sein, aber auch die Lokalisierung eines Einsatzfahrzeuges. Die Kategorie der Aufmerksamkeitslenkung weist in ihrer Darstellung hingegen recht generisch auf eine kritische Situation hin. Hier wird dem Fahrer keine spezifische Maßnahme zur Vermeidung der Situation vorgegeben und die Art der Reaktion (bspw. ausweichen oder bremsen) bleibt ihm selber überlassen. Die Darstellung erfolgt zusätzlich zum visuellen Feedback an den Fahrer meist durch Warntöne und kann ergänzend zu den beiden vorangegangenen Kategorien erfolgen. Verfügbarkeits- oder Bereitschaftsanzeigen sind in der Kategorie der Zustandsinformationen zu finden. Dazu gehören typische Statusanzeigen, welche meist im Kombiinstrument dargestellt werden und den Fahrzeug- und Systemzustand beschreiben. Die letzte Kategorie beinhaltet Detailinformationen. Diese zeigen Zahlenwerte oder Textinhalte wie beispielsweise erweiterte Navigationsanweisungen oder die Geschwindigkeitsanzeige. Auf Grundlage der von Schartner (2013) erstellten Bewertungsmatrix wurde ein Simulatorversuch durchgeführt (Götze & Bengler, 2015), welcher sowohl die Eignung als auch die subjektive Bewertung (u.a. Workload) der genannten Darstellungskategorien für die visuelle Darstellung auf den Bildschirmen der Komponenten des Head-Up Displays und Kombiinstrumentes ergänzend zur Literatur evaluiert.

4.3.1 Methodik

Der Versuch fand im statischen Fahrsimulator mit 180° Sicht auf die Verkehrsumgebung statt (vgl. Kapitel 6.2.2). Dieser hat zusätzlich eine Projektion für beide Seitenspiegel sowie den Rückspiegel. Die Darstellung der HUD Inhalte erfolgte ebenfalls durch eine Projektion, um den Abstand zum virtuellen Bild für den Fahrer bestmöglich zu simulieren. Als Simulationssoftware stand SILAB⁵ in der Version 4.0 zur Verfügung. Die durchfahrenen Szenarien können zu 80% als eine urbane Umgebung und zu 20% außerorts charakterisiert werden. Die Nutzung der letzteren Szenarien sollten vor allem der im Szenario Stadtverkehr besonders häufig auftretenden Simulatorkrankheit vorbeugen. Jeder Proband durchfuhr in permutierter Reihenfolge nach einer 10-minütigen Trainingssession jeweils zwei unterschiedliche Streckenabschnitte (ca. 20 min) mit einer der beiden oben genannten Komponenten (HUD oder Kombiinstrument) zur Darstellung von visuellen Empfehlungen an den Fahrer. Die gewählte Information wurde stets an derselben Position im Head-Up Display oder Kombiinstrument angezeigt. Neben diesen Informationen war außerdem dauerhaft die aktuelle Geschwindigkeit sichtbar. Insgesamt wurden pro Durchgang drei spezifische Szenarien integriert, welche Meldungen passen zu den in Tabelle 11 beschriebenen Warnkategorien Handlungsanweisung, Situationshinweis oder Aufmerksamkeitslenkung beinhalteten. Weitere Details zum Versuchsaufbau und der Ausgestaltung der Szenarien sowie der dargestellten Symbole in den jeweiligen Displays sind in Götze und Bengler (2015) zu finden.

Neben den gängigen objektiven Fahrdaten, wie der TLC oder Reaktionszeiten auf die angezeigten Warnungen, wurden zur Bewertung des Workloads der NASA-rTLX (Hart & Staveland, 1988) in der ungewichteten Version sowie ein freier Fragebogen herangezogen.

4.3.2 Kernergebnisse

Am Versuch nahmen 32 Probanden (MW = 26 Jahre) mit mindestens 5 Jahren Fahrerfahrung und ohne visuelle Einschränkungen teil. Zur Analyse der Daten wurden statistische t-tests durchgeführt.

Die Reaktionszeit (RT) wurde dabei von der ersten Einblendung des Warnsymbols bis zur erstmaligen bewussten Betätigung des Bremspedals (>10%) gemessen. Reaktionszeiten kleiner als 200 ms sowie über 2.000 ms wurden nicht berücksichtigt, da die schnelleren RT keine bewussten Reaktionen auf den präsentierten Stimulus waren und bei größeren RT die

⁵ Fahrsimulation und SILAB: <http://www.wivw.de/en/silab/>

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

kritische TTC zum Hindernis bereits überschritten war. Für beide Versuchsstrecken und die jeweilige genutzte Komponente zur Darstellung der Warnung wurde die mittlere RT bestimmt. Dabei wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der RT_{HUD} ($M = 1.002,6$ ms; $SD = 296.9$) und der $RT_{\text{Kombiinstrument}}$ ($M = 1072.1$ ms; $SD = 408.4$) gefunden ($t(29) = -1.597$; $p = .121$). Für die einzelnen Warnkategorien bei der Darstellungsart gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten in Abhängigkeit vom Anzeigort.

Betrachtet man die Standardabweichung des Abstandes zur Fahrstreifenmitte (distance to lane center) als Maß der Qualität der manuellen Fahraufgabe in lateraler Richtung (Peters, Hult, Sjöberg, & Nijmeijer, 2016), so ergab sich für den Unterschied zwischen der Nutzung des HUD für Informationen ($M = 0.34$ m) und der Nutzung des Kombiinstrumentes ($M = 0.35$ m) kein statistisch signifikanter Unterschied.

Die Unterschiede zeigten sich in den subjektiv abgefragten Daten. Beim Blick auf den globalen NASA-rTLX Score findet man eine signifikante Differenz ($t(31) = 2.873$, $p = .007$) zwischen dem subjektiven Workload bei der Fahrt mit Unterstützung durch das Head-Up Displays ($M = 28.8$) und der Fahrt mit Nutzung des Kombiinstrumentes ($M = 34.2$). Betrachtet man zusätzlich die sechs einzelnen Kategorien (siehe Abbildung 17), so zeigen die physische Anstrengung, die Frustration sowie die Leistung Effekte auf den Workload. Da die einzelnen Items des NASA-rTLX Scores aber nicht einzeln betrachtet werden sollten, ist hier keine eindeutige Aussage möglich.

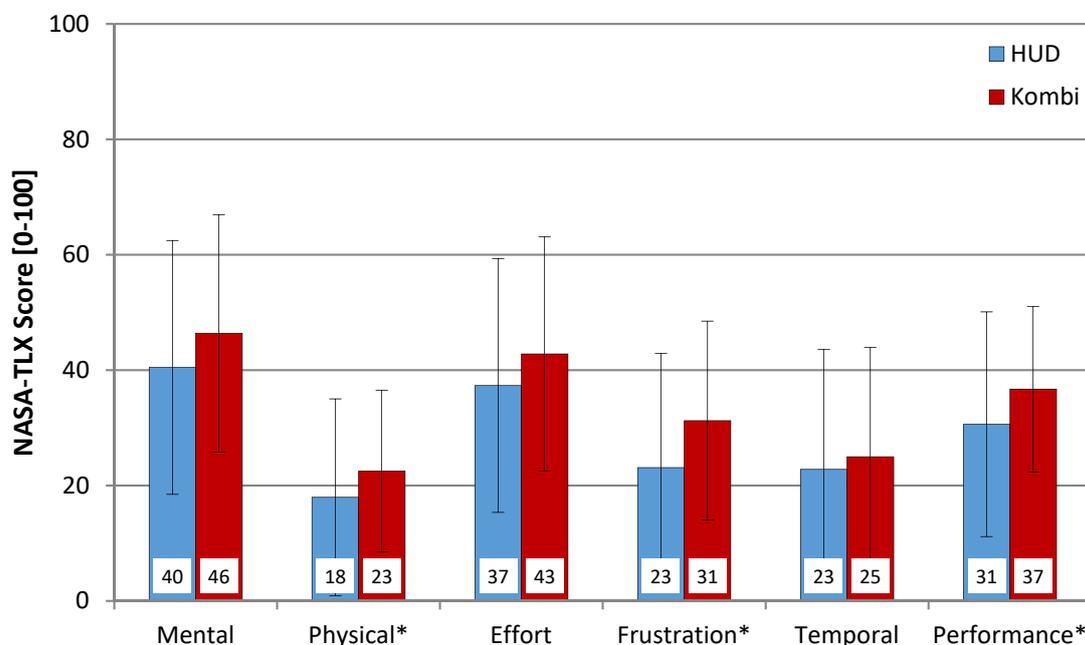


Abbildung 17: Der NASA-TLX Score für die sechs einzelnen Kategorien inkl. Standardabweichung ohne Gewichtung der einzelnen Items (Götze & Bengler, 2015).

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

Abschließend wurden den Probanden diverse Zustandsinformationen der einzelnen Fahrzeugsysteme (bspw. Tankanzeige, Uhrzeit, aktives ACC) im Head-Up Display und Kombiinstrument präsentiert und auf einer 5-Punkte Likert-Skala bewertet. Dabei fanden sich deutliche Unterschiede darin, wie störend die Probanden die Anzeigen im spezifischen Display empfanden. Die Darstellung im HUD ($M = 4.5$) wurde dabei signifikant störender bewertet als die Präsentation im Kombiinstrument ($M = 2.3$) für diese Art der Informationen ($t(31) = 9.827, p < .001$).

4.3.3 Diskussion

Ziel des Versuches war es, die in der Literatur gefundenen Darstellungsinhalte von Informationen zu klassifizieren und für die unterschiedlichen Darstellungsorte zu evaluieren. Dabei wurden neben objektiven Leistungsdaten auch die subjektive Beanspruchung sowie das subjektive Störpotenzial der präsentierten Informationen auf den jeweiligen Displays im Szenario des urbanen Raums untersucht. Während sich die Reaktionszeiten nur zwischen den einzelnen Darstellungsarten aber nicht der Displayposition unterschieden, was u.U. auf die gewählten Szenarien zurückgeführt werden kann, zeigten sich in den subjektiven Daten signifikante Unterschiede. Probanden hatten bei der Nutzung des Head-Up Displays für Informationen einen geringeren Workload im Vergleich zur Darstellung im Kombiinstrument. Dies zeigt, dass die genannten Informationen im HUD einfacher verarbeitet werden konnten. Gleichzeitig sollte aber die geringere Anzeigefläche und die permanente Verfügbarkeit im Sichtfeld des Fahrers berücksichtigt werden. Im Versuch wurden nur wenige gleichzeitig präsentierte Informationen für den Fahrer zur Verfügung gestellt. Bei zusätzlichen Fahrerassistenzsystemen und einer höheren Informationsdichte sollten die dargestellten Inhalte im HUD zwingend limitiert und vereinfacht werden. Zusätzlich sind dauerhaft angezeigte Zustandsinformationen unbedingt im Kombiinstrument anzuzeigen. Lediglich Zustandsänderungen können zeitlich begrenzt im HUD dargestellt werden. Alle Ergebnisse sind im Detail in Götze und Bengler (2015) zu finden.

4.4 Zusammenfassung

Viele der systemergonomischen Anforderungen an die oben genannten Komponenten sowie an die Darstellung von Informationen wurden bereits in der Literatur untersucht und definiert. Ein Großteil davon kann für die komplexen Eigenschaften des urbanen Verkehrs übertragen werden. Durch den abschließenden Versuch wurden zudem weitere unklare Bedarfe klassifiziert und für die Nutzung im urbanen Kontext bestätigt. Zusammenfassend ergeben sich aus diesen Punkten folgende erste Spezifikationen, die es bei der Umsetzung eines ersten Konzeptentwurfes zu beachten gilt (Tabelle 12-14). Die Tabellen 12-14 enthalten

Ableitung der systemergonomischen Anforderungen an den urbanen Verkehr

die wichtigsten Empfehlungen zur Gestaltung von Informationen mit den betreffenden Komponenten. Aufgrund der Übersichtlichkeit sind diese stark verkürzt beschrieben.

Tabelle 12: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen im Kombiinstrument

Kombiinstrument	<p><u>Inhalt</u> Anzeige von regelnden Systemen, Regelobjekten, Detailinformationen, Fahrzeugstatus</p> <p><u>Darstellungsempfehlungen</u> FAS Informationen in zentraler Position generisch dargestellt Ego-Fahrzeug mit Regelobjekten davor und mittig angeordnet Textuelle Information am oberen Rand und eher selten Bereiche links/rechts bleiben unverändert für Geschwindigkeit und DZM Statusanzeigen im unteren Bereich für Verfügbar/Aktiv/Aus Pop-Ups nur bei kritischen Warnungen im zentralen Bereich</p>
------------------------	--

Tabelle 13: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen im Head-Up Display

Head-Up Display	<p><u>Inhalt</u> Fahrrelevante Anzeigen (Warnungen, Fahrzeuginformationen) sowie Anzeige von dynamischen Systemen und Regelobjekten</p> <p><u>Darstellungsempfehlungen</u> Keine Redundanz von Anzeigen (reduzierte Darstellungsart) Vornehmlich Icons und Symbole Nicht benötigte Inhalte werden ausgeblendet Clustern der Anzeige in 3 Bereiche zur besseren Verortung</p>
------------------------	--

Tabelle 14: Generische Kriterien und systemergonomische Anforderungen für den ersten Entwurf zur optimalen Darstellung von Informationen durch das Aktive Gaspedal

Aktives Gaspedal	<p><u>Inhalt</u> Kontinuierliche Information zur Routenoptimierung, Handlungsaufforderungen</p> <p><u>Darstellungsempfehlungen</u> Gegendruck für Geschwindigkeitsreduktion Druckpunkt für Geschwindigkeitshaltung Keine Vibration, keine Sperrung, kein Doppelticken</p>
-------------------------	---

5 Kennwerte zur Evaluation der MMI-Konzepte

Zur Evaluierung des Gesamtkonzeptes ist eine Definition der Bewertungskriterien erforderlich. Anschließend müssen objektive und subjektive Messdaten präzisiert werden, welche diese Kriterien beschreiben und bewerten. Durch einen iterativen Prozess kann das Konzept so verbessert und auch mit möglichen Nachfolgeuntersuchungen verglichen werden.

Die Bewertung erfolgt anhand der zuvor genannten drei Spezifikationen. Die Wichtigste stellt dabei die *sichere* Fahrt im urbanen Verkehr dar. Dazu gehören neben der reinen Unfallvermeidung auch die Voraussicht auf mögliche Gefahrensituationen sowie die Vermeidung von Vollbremsungen oder unkontrollierter Manöver. Weiterhin sollte dem Fahrer eine möglichst *komfortable und stressfreie* Fahrweise ermöglicht werden. Neben einem erhöhten Workload durch die Darstellung von Informationen im MMI sind hier vor allem ständige Geschwindigkeitsanpassungen des Fahrers oder lange Standzeiten zu vermeiden. Das letzte Kriterium beschreibt eine *effiziente* Fahrweise. Dazu gehören neben eigenen CO₂- und kraftstoffreduzierten Fahrten auch Merkmale, die den Gesamtfahrfluss in der Stadt positiv beeinflussen (bspw. der Durchsatz von Fahrzeugen an Kreuzungen oder die Homogenität des Geschwindigkeitsprofils der Probanden).

5.1 Sicheres Fahren

Zur Bewertung einer sicheren und unfallvermeidenden Fahrweise wurden die folgenden Metriken in den späteren Simulatorversuchen betrachtet, die in Tabelle 15 dargestellt und beschrieben sind. Dazu gehörten neben den gängigen Kenndaten zur Bewertung von MMI bekannt aus psychologischen Versuchen wie Reaktionszeiten und Genauigkeiten beim Ablesen, auch fahrzeugspezifische Daten wie die Time-to-Collision (TTC) oder die Unfallhäufigkeit. Zusätzlich wurden auch Fahrdaten über eine längere Zeitspanne betrachtet. Beispielhaft dafür ist u.a. der Zeitanteil der Geschwindigkeitsüberschreitungen über die komplette Versuchsdauer. Alle diese Metriken sollen eine sichere Fahrweise zum einen für den Fahrer, aber natürlich auch für andere (schwächere) Verkehrsteilnehmer charakterisieren. Zusätzlich zu den objektiven Kennwerten wurden durchgängig auch subjektive Befragungen berücksichtigt, bei denen die Probanden ihre Fahrweise und den Sicherheitsgewinn selber einschätzen sollten.

Mit Hilfe dieser Kenndaten soll es am Ende möglich sein, den Effekt des neuen Interaktionskonzepts hinsichtlich der *sicheren* Fahrt im urbanen Verkehr zu bewerten. Durch die vorherige Festlegung und Definition dieser Metriken wird außerdem eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Versuchen sowie möglichen Folgeversuchen angestrebt.

Kennwerte zur Evaluation der MMI-Konzepte

Tabelle 15: Die verwendeten Metriken zur Bewertung der Sicherheitserhöhung des Gesamtkonzeptes

Reaktionszeit	<p>Zeit bis der Fahrer auf einen Stimulus durch eine Reaktion (Bremsen, Ausweichen, Blick) reagiert. Dies ist unabhängig vom Ort des Stimulus und kann sowohl außerhalb des Ego-Fahrzeuges (bspw. durch einen anderen Verkehrsteilnehmer) oder innerhalb des Fahrzeuges (bspw. Anzeige im Kombiinstrument) erfolgen.</p> <p>Kürzere Reaktionszeiten stellen meist ein Maß für eine hohe Sicherheit dar.</p>
Genauigkeit	<p>Die Genauigkeit beschreibt die Anzahl korrekter Reaktionen oder Antworten auf verschiedene Stimuli und stellt das Gegenteil der Fehlerrate dar. Sie kann maximal 100% betragen und wird meist im Zusammenhang mit der Reaktionszeit gemessen.</p> <p>Eine hohe Genauigkeit und eine geringe Fehlerrate beschreiben dabei eine gute Sicherheit durch das Gesamtkonzept.</p>
Time-To-Collision	<p>Die TTC beschreibt den zeitlichen Abstand (meist in Sekunden) zu einem Objekt in der Trajektorie des Ego-Fahrzeuges und stellt die verbleibende Zeitspanne bei gleichbleibender Geschwindigkeit dar, bis das Fahrzeug mit dem Hindernis kollidiert.</p> <p>Hohe TTC Werte gehen dabei mit einer sicheren Fahrweise einher.</p>
Abstand	<p>Der minimale Abstand (in m) zu einem Objekt ist sehr ähnlich zur TTC. In einigen Szenarien stellt dieser aber das bessere Maß dar, bspw. beim Folgen eines Vorderfahrzeuges bei gleicher Geschwindigkeit oder beim Anfahren an eine LSA mit wartenden Fahrzeugen.</p> <p>Auch hier stellen hohe Abstände eine sicherere Fahrweise dar.</p>
Unfallhäufigkeit	<p>Die Unfallhäufigkeit beschreibt die Kollisionen mit statischen oder dynamischen Objekten und ist ein gängiges Maß zur Bewertung von aktiven Fahrerassistenzsystemen, kann aber auch bei Empfehlungen durch das MMI eine Aussage zur Wirksamkeit des Interaktionskonzeptes treffen.</p>
Geschwindigkeitsüberschreitungen	<p>Die Geschwindigkeitsüberschreitungen berechnen den Zeitanteil, bei dem die maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit um einen bestimmten Wert überschritten wird. Sie deutet zum einen auf eine riskante Fahrweise hin, wodurch die Sicherheit verringert wird und zeigt zum anderen Probleme bei der Geschwindigkeitshaltung auf, welche ebenfalls negative Effekte auf den Fahrer haben.</p>
Geschwindigkeit beim Einfahren in eine Engstelle	<p>Eine geringere Geschwindigkeit in kritischen Szenarien, wie bspw. in Engstellen, ist ein gutes Maß dafür, dass der Fahrer die Situation rechtzeitig erkennt und ihre Kritikalität korrekt eingeschätzt hat. Es ist teilweise schwierig den Grenzwert für eine geringe und gute Geschwindigkeit und einer zu langsamen und verkehrsbehindernden Geschwindigkeit zu definieren.</p>

5.2 Komfortables Fahren

Für die Bewertung einer *komfortablen und stressfreien* Fahrweise wurden neben den objektiven Fahrdaten auch wieder subjektive Metriken herangezogen. Eine Übersicht der verwendeten Daten ist in Tabelle 16 beschrieben.

Tabelle 16: *Verwendete objektive und subjektive Metriken zur Bewertung einer komfortablen und stressfreien Fahrt*

NASA-TLX	<p>Der NASA-TLX Score hat sich als Verfahren zur subjektiven Erhebung von Stress bzw. Workload in diversen Gebieten durchgesetzt (Hart & Staveland, 1988). Bewertet wird auf sechs Subskalen zwischen 0 und 100.</p> <p>Umso höher der Gesamtwert ist, desto gestresster fühlt sich ein Proband während einer spezifischen Aufgabe.</p>
System Usability Scale	<p>Die System Usability Scale (Bangor, Kortum, & Miller, 2008) dient in erster Linie dazu, die Gebrauchstauglichkeit zuverlässig und schnell zu bewerten. Dabei wird das System am Ende mit einem Wert zwischen 0 und 100 evaluiert. Als Anhaltspunkte gibt es spezifische Stufen, die bspw. ab 73 Punkten einen „guten“ Wert und ab 85 Punkten einen „exzellenten“ Wert bescheinigen.</p> <p>Ein hoher Usability-Wert korreliert mit einer guten Unterstützung des Fahrers.</p>
Blickdaten	<p>Anhand von Blickdaten können Blickabwendungszeiten und allgemein die Ablenkung von der primären Fahraufgabe gemessen und beschrieben werden. Die Ergebnisse geben nicht nur Aufschluss über eine komfortable Fahrweise, sondern geben auch Rückschlüsse auf das sichere Fahren.</p> <p>Aufgrund von Überlagerungen der Ebene in der sich das virtuelle Bild des Head-Up Displays befindet und der Ebene der Szenerie ist es unmöglich Blickzuwendungen einwandfrei zuzuordnen. Die Daten wurden daher rein qualitativ genutzt.</p>
Spurhaltegüte	<p>Bei den Metriken zur Spurhaltegüte kann man zwischen Lenkmaßen und Spurhaltemaßen unterscheiden. Spurhaltemaße beziehen sich dabei auf die Position des Fahrzeugs innerhalb der Fahrbahn. Eine der bekanntesten Messgrößen ist die Standardabweichung der Lateralen Position (SDLP).</p> <p>Sie bietet laut Knappe et al. (2006) ein gutes Maß für die Ablenkung des Fahrers.</p>
Varianz des Geschwindigkeitsverlaufes	<p>Die Varianz des Geschwindigkeitsverlaufes über die Zeit gibt Aufschluss darüber, wie groß die Anstrengung des Fahrers ist, die vorgegebene Richtgeschwindigkeit zu halten. Bei einer geringen SD für das Probandenkollektiv ist eine komfortable Geschwindigkeitshaltung möglich.</p>
Freie Fragen	<p>Über freie Fragebögen wurden der Komfort und die Belastung durch den Probanden subjektiv bewertet, um eine Aussage über die Anzeige Konzepte möglich zu machen.</p>

5.3 Effizientes Fahren

Eine *effiziente* Fahrweise wird neben reinen Verbrauchsinformationen u.a. auch durch den Geschwindigkeitsverlauf bzw. die Geschwindigkeitsvarianz beschrieben. Die hier genutzten Metriken zur Evaluierung des Gesamtkonzeptes sind in Tabelle 17 dargestellt. Die gewählten Daten beziehen sich u.a. auf Standzeiten vor Lichtsignalanlagen, Geschwindigkeitsverläufe sowie ebenfalls wieder subjektive Befragungen.

Das grundlegende Ziel, die Fahrweise des Einzelnen effizient zu gestalten, wird zudem durch das globale Bestreben zur Optimierung von vielbefahrenen Knotenpunkten und den Durchsatz an kritischen Kreuzungen ergänzt, um die Gesamtheit der Verkehrsteilnehmer im urbanen Verkehr effizient zu gestalten. Eine gute Metrik dafür ist u.a. eine geringe Geschwindigkeitsvarianz eines Probandenkollektivs, wodurch die Verkehrsteilnehmer besser prognostiziert werden können.

Tabelle 17: Beschreibung aller Metriken zur Beurteilung einer effizienten Fahrweise

<p>Standzeiten</p>	<p>Die Stand- oder Haltezeiten beschreiben die effektiven Verweildauern im Stillstand vor Kreuzungen oder Lichtsignalanlagen wodurch eine erneute Beschleunigung auf die Zielgeschwindigkeit erforderlich ist. Dies führt zu einem höheren Kraftstoffverbrauch sowie zu geringeren Durchsatzmengen des restlichen Verkehrs an Kreuzungen.</p> <p>Höhere Zeiten beschreiben dabei eine schlechtere Effizienz.</p>
<p>Geschwindigkeitsverlust</p>	<p>Der mittlere Geschwindigkeitsverlust ist ein gutes Maß zum Beschreiben der effizienten Fahrweise. Durch häufige Veränderungen der Beschleunigungen (negativ und positiv) ist ein deutlich erhöhter Kraftstoff- und CO₂-Verbrauch messbar. Dies geschieht vor allem durch eine schlechte Vorausschau beim Fahren, wodurch die Sollgeschwindigkeit häufig kurzfristig angepasst werden muss.</p>
<p>Geschwindigkeitsvarianz</p>	<p>Eine geringe Geschwindigkeitsvarianz des Probandenkollektivs beschreibt zum einen positive Effekte auf die effiziente Fahrweise und zum anderen zeigt sie eine gute Prognostizierbarkeit der Fahrzeuge im Gesamtverkehr. Dadurch lässt sich nicht nur die Effizienz des Einzelnen steigern, sondern auch Knotenpunkte und Durchsatzmengen an LSA optimieren.</p> <p>Je geringer die Geschwindigkeitsvarianz ist, desto besser ist die effiziente Fahrweise.</p>
<p>Freie Fragen</p>	<p>Da in der Simulation keine direkten Verbrauchswerte ermittelt werden konnten, stellen neben den vorher genannten objektiven Daten auch freie Fragen ein gutes Maß zum Beschreiben der effizienten Fahrt dar. Da die Fragestellungen in den Versuchen variieren, sind diese in den jeweiligen Kapiteln hinterlegt.</p>

6 Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

In diesem Kapitel werden die einzelnen iterativen Schritte zum finalen handlungsorientierten und integrativen MMI-Gesamtkonzept beschrieben. Aus den zuvor ermittelten systemergonomischen qualitativen und quantitativen Anforderungen wurde dabei ein erster theoretischer Konzeptentwurf umgesetzt (Kapitel 6.1). Dieser wurde im ersten von fünf weiteren Experimenten im Simulator implementiert und erstmalig evaluiert (Kapitel 6.2). Zur Verbesserung der Darstellung im Head-Up Display wurde anschließend eine Studie im Realfahrzeug durchgeführt (Kapitel 6.3). Mit Hilfe dieser Ergebnisse und der Erweiterung des Konzeptes um Empfehlungen zusätzlicher Fahrerassistenzsysteme erfolgte darauf jeweils eine Untersuchung des aktuellen Entwurfes in Szenarien mit Unterstützung des Fahrers in Längs- und ein Versuch mit Unterstützung durch das MMI in Querrichtung (Kapitel 6.4). Im letzten Versuch (Kapitel 6.5) wurde das Gesamtkonzept nach der Integration aller zuvor gewonnenen Erkenntnisse in seiner Gesamtheit evaluiert und diskutiert.

6.1 Theoretische Umsetzung eines ersten Konzeptentwurfs

Insgesamt wurden über 200 systemergonomische Anforderungen an das Gesamtkonzept formuliert. Dazu gehörten neben den komponentenspezifischen Empfehlungen zur Informationsdarstellung auch das Szenario des urbanen Raums sowie die Darstellung von Informationen im Allgemeinen. Diese Forderungen sowie aktuelle MMI Konzepte der Automobilhersteller dienten als Rahmenbedingungen für den ersten Entwurf eines generischen Interaktionskonzeptes. Die durch das MMI empfohlene Fahrerhandlung steht dabei zu jedem Zeitpunkt in Form einer strikten Handlungsorientierung der Meldungen im Fokus. Der Fahrer soll dadurch gezielt zu einer sinnvollen Reaktion bewegt werden.

Für den ersten Konzeptentwurf wurden neben der Navigation die folgenden Fahrerassistenzsysteme integriert: Kreuzungsassistent, Geschwindigkeitsassistent, Folge-/Abstandsassistent sowie der Fahrstreifenwechselassistent (vgl. Kapitel 3.1).

6.1.1 Visuelle Umsetzung

Das Head-Up Display wird entsprechend zahlreicher Forderungen nur für die Darstellung von dynamischen und zeitkritischen Inhalten verwendet. Zudem sollen lediglich direkt fahrrelevante Informationen dargestellt und auf Komfortfunktionen verzichtet werden. Weiterhin ist eine abstrakte und vereinfachte Darstellungsart zu wählen, um die zusätzliche visuelle Belastung möglichst gering zu halten. Eine schematische Darstellung des ersten Entwurfs ist Abbildung 18 zu entnehmen.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes



Abbildung 18: Schematische Aufteilung des Head-Up Displays (links) sowie eine beispielhafte Darstellung im Fahrzustand (rechts) (nach Bissbort, 2013)

Wie in den spezifischen Anforderungen definiert, und in einigen aktuellen Automobilherstellersystemen auch genutzt, wird die Anzeigefläche in drei Cluster unterteilt. Lindberg (2012) zeigte, dass Informationen die ein ähnliches Set an Eigenschaften haben bzw. ähnliche Informationsarten enthalten, besser interpretiert werden können, wenn sie logisch gruppiert werden. Dadurch ist eine schnellere und einfache Lokalisierung ähnlicher Informationen möglich sowie die Lernförderlichkeit des Systems gewährleistet (VDI/VDE 3850-3). Der linke Bereich ① wird dabei für Geschwindigkeitsinformationen genutzt. Dazu zählen die aktuell gefahrene Geschwindigkeit, digital im unteren Abschnitt angezeigt, sowie die maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit. Im mittleren Bereich ② ist die schematische Darstellung von Navigationsanweisungen vorgesehen, die neben dem Abstand zum nächsten Manöver nur einfache und detailarme Richtungspfeile enthalten. Hier wurde, wie auch für die aktuelle Geschwindigkeit, die Farbe Grün gewählt, da die Cluster keine kritischen Informationen enthalten. Das rechte Cluster ③ ist für die Empfehlungen der unterschiedlichen Fahrerassistenzsysteme reserviert und stellt den Bereich dar, wo das neue Interaktionskonzept hauptsächlich ansetzt. Hier wird vor allem eine gelbe Darstellung eingesetzt, um eine einfachere Unterscheidung zu den anderen Clustern zu gewährleisten.

Auf dem Kombiinstrument werden auch Informationen in höheren Detailgraden darstellbar sein. Außerdem sollten Informationen im Display auch immer ohne HUD nachvollziehbar und ausreichend dargestellt werden. Grund dafür ist die unterschiedliche Ausstattung der verschiedenen Fahrzeugklassen bei den Automobilherstellern. Das Interaktionskonzept sollte auch in Fahrzeugen des mittleren und Kleinwagensegments einen Mehrwert bieten. Wie auch schon das Head-Up Display zuvor, wird das Display des Kombiinstrumentes in verschiedene Segmente unterteilt, die ähnliche Informationen gruppiert enthalten (vgl. Abbildung 19). An der analogen Darstellung des Geschwindigkeitsmessers ② sowie des Drehzahlmessers ① wird dabei festgehalten (vgl. Bellotti et al., 2004). Die Anordnung dieser beiden Rundinstrumente ist dabei herstellerabhängig und für die weitere Untersuchung nicht relevant.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes



Abbildung 19: Schematische Darstellung des Kombiinstrumentes mit den einzelnen Segmenten (nach Bissbort, 2013)

Auch für die Bereiche ③ und ④ wird es keine spezifische Individualisierung geben. Der obere Bereich bleibt den Fahrtrichtungsanzeigern vorbehalten. Denkbar wäre hier bei späteren, höheren Automatisierungsgraden lediglich eine Änderung der Farbwahl dieser Richtungspfeile, um selbstbestimmte oder durch die Automation ausgelöste Anzeigen unterscheiden zu können. Der untere Bereich ④ wird wie bisher für wichtige Anzeigen konventioneller Fahrzeugkomponenten wie Getriebe oder Motor genutzt und sollte daher nicht überlagert werden. Der verfügbare freiprogrammierbare Raum steht somit vor allem zwischen den klassischen Anzeigen auf den Flächen ⑤, ⑥ und ⑦ bereit. Die Wichtigkeit und Relevanz der angezeigten Inhalte nimmt dabei mit dem Abstand zur Sichtachse des Fahrers ab. Das heißt, dass weniger relevante Informationen unten in Abschnitt ⑥ und ⑦ angezeigt werden und die höher priorisierten Informationen und Warnungen im oberen Bereich ⑤. Zusätzlich wird dieser für textuelle Informationen und Erklärungen zu generischen Head-Up Anzeigen genutzt. Die vier Ecken des Kombiinstrumentes ⑧ können zusätzlich als periphere Informationsanzeige durch eine unterschiedliche Farbwahl genutzt werden. Der Vorteil liegt dabei darin, dass keine Blickabwendung von der Fahrszene notwendig ist, um eine unterschiedliche Kritikalität an den Fahrer zu übermitteln.

6.1.2 Haptische Umsetzung

Beim Aktiven Gaspedal wurde sich bewusst für wenige Darstellungsarten zur Informationsübermittlung an den Fahrer entschieden. Hauptziel ist stets eine bestimmte Zielgeschwindigkeit mit dem Fahrzeug zu erreichen bzw. beizubehalten. Dazu wird in unterschiedlichen Härtegraden für den Fahrer ein Gegendruck am Pedal aufgebaut, der ihn dazu auffordert die Pedalneigung und damit auch die Geschwindigkeit zu reduzieren. Ist diese Zielgeschwindigkeit erreicht, wird ein Druckpunkt im Pedal aktiviert, der durch ein Beibehalten dieser Neigung des Gaspedals eine optimale Geschwindigkeitshaltung garantiert. Für den Fahrer ist es jederzeit möglich sowohl den Gegendruck als auch den Druckpunkt zu übersteuern. Das Aktive Gaspedal stellt, wie auch die visuellen Informationen, lediglich eine Empfehlung für den Fahrer dar.

6.1.3 Umsetzungsbeispiele

Die Umsetzung des Gesamtkonzeptes soll beispielhaft an einem Kreuzungsszenario mit vorausgehender Folgefahrt gezeigt werden (vgl. Tabelle 18 und Abbildung 20), um die verschiedenen Inhalte und Zeitpunkte der Darstellung im MMI-Gesamtkonzept besser verstehen zu können. Der Fahrer soll hier zum einen bei einer effizienten und verbrauchsoptimierten Fahrt unterstützt und zum anderen bei der Kreuzungsdurchfahrt entlastet und abgesichert werden. Das Szenario sieht dabei eine Folgefahrt des Egofahrzeuges zu einem vorausfahrenden Fahrzeug vor. Dieses Vorderfahrzeug stellt dabei das Objekt dar, auf welches das System seine Handlungsempfehlungen auslegt und an den Fahrer weitergibt. Dieses Objekt wird anschließend durch eine Kreuzung bzw. Lichtsignalanlage ersetzt, um einen optimalen Durchfluss durch die Kreuzung zu gewährleisten und Beschleunigungsschwankungen sowie Standzeiten möglichst gering zu halten.

Tabelle 18: Beispielhaftes Szenario für das Interaktionskonzept mit den drei Komponenten und den jeweiligen Darstellungsinhalten (nach Bissbort, 2013)

	Systemzustand	Systemaktivität		
Fahrer	① kann sich über Verfügbarkeit informieren	② soll aktuelle Systemaktionen verstehen	③ soll zukünftige Systemaktionen antizipieren	④ geht nach Szenario zur Normalfahrt über
HUD	Aktuelle Geschwindigkeit dauerhaft Navigation dauerhaft	Systemstatus Symbol: „Folgemodus“ Systemstatus Symbol: „Beschleunigen“	Systemstatus Symbol: „Kreuzungsmodus“ Systemstatus Symbol: „Verzögern“	Aktuelle Geschwindigkeit dauerhaft Navigation dauerhaft
Kombi	Systemstatus Symbol „Assistenz verfügbar“	Systemstatus Symbol & Text „Folgemodus“	Systemstatus Symbol & Text „Kreuzungsmodus“	-
AG	-	Handlungsanweisung Verringerter Druck „Folgemodus“	Handlungsanweisung Gegendruck „Kreuzungsmodus“	-

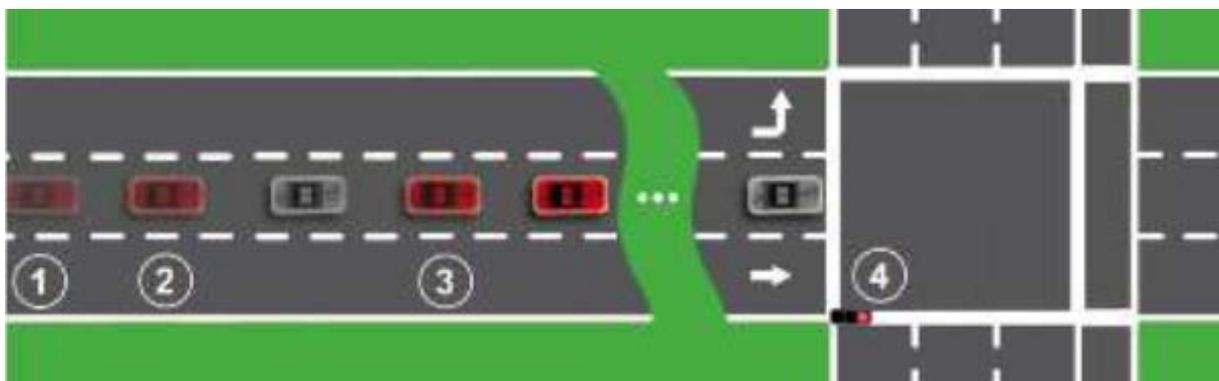


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Umsetzungsbeispiels in den jeweiligen Stufen des Szenarios (nach Bissbort, 2013)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

In Tabelle 19 werden die einzelnen Phasen des Szenarios näher beschrieben und zusätzlich die jeweiligen Anzeigen in HUD und Kombiinstrument visualisiert.

Tabelle 19: Darstellung und Beschreibung der unterschiedlichen Phasen des Beispielszenarios inklusive der jeweiligen visuellen und haptischen Rückmeldungen für den Fahrer

	<p>In der Phase ① des Szenarios trifft das Egofahrzeug auf ein vorausfahrendes Fahrzeug. Im <i>Kombiinstrument</i> wird die Verfügbarkeit des Folgeassistenten angezeigt. Das <i>Head-Up Display</i> zeigt die aktuelle und die erlaubte Geschwindigkeit sowie die Navigationshinweise an. Das <i>Aktive Gaspedal</i> ist hier noch nicht aktiv.</p>
	<p>Nach der Aktivierung des Folgeassistenten in Phase ② wird dies in der Farbe Grün in verkleinerter Form im <i>Kombiinstrument</i> angezeigt, ergänzt um die textuelle Bezeichnung des FAS. Das <i>Head-Up Symbol</i> enthält zusätzlich die Handlungsanweisung zum Beschleunigen. Am <i>Aktiven Gaspedal</i> wird der Druck zum Betätigen reduziert und damit die Aufforderung zum Beschleunigen übermittelt.</p>
	<p>Das System erkennt in Phase ③ die Lichtsignalanlage mit dem Signal „Rot“. Um einen kompletten Stillstand vor der LSA zu verhindern, muss die aktuelle Geschwindigkeit reduziert werden. Im <i>Kombiinstrument</i> ist jetzt das Statussymbol des Kreuzungsassistenten aktiv. Im <i>HUD</i> ändert sich das „Regelobjekt“ auf ein Kreuzungssymbol mit „Verzögerungspfeil“. Gleichzeitig baut das <i>Aktive Gaspedal</i> einen Gegendruck auf, der eine Verzögerung empfiehlt.</p>
	<p>In der letzten Phase ④ ist nur noch die Verkehrszeichenerkennung aktiv und wird neben der aktuellen Geschwindigkeit sowie Navigation im <i>Head-Up Display</i> angezeigt. Das <i>Kombiinstrument</i> beinhaltet im freiprogrammierbaren mittleren Bereich gar keine Information mehr. Auch über das <i>Aktive Gaspedal</i> erfolgt keine Empfehlung.</p>

6.2 Experiment 1: Weiterentwicklung und Evaluation des MMI-Konzeptes zur Unterstützung des Fahrers in Längsrichtung im urbanen Verkehr

Das in Kapitel 6.1 vorgestellte Interaktionskonzept soll nun im Fahrsimulator implementiert und evaluiert werden. Aus technischen Gründen ist eine teilweise Anpassung des Entwurfs erforderlich. Dies betrifft u.a. minimale Änderungen in der Farbwahl der Darstellung, einigen Positionen im Display und Anzeigedauern. Der Konzeptentwurf fungiert dabei als Rahmenbedingung und wurde bestmöglich integriert. In diesem ersten Versuch werden lediglich Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung des Fahrers in Längsrichtung betrachtet. Es handelt sich weiterhin um handlungsempfehlende Systeme, die dem Nutzer Anweisungen zu einer verbesserten Fahrweise vorgeben, aber jederzeit ignoriert werden können. Da die Versuchszeit sowie Probandenzahl limitiert sind und gleichzeitig eine realitätsnahe Fahrumgebung entworfen werden soll, ist die Anzahl der bewertbaren Szenarien beschränkt, um Artefakte und Nebeneffekte zu vermeiden.

6.2.1 Mensch-Maschine-Interface

Das Gesamtkonzept umfasst die Komponenten Head-Up Display, Kombiinstrument sowie das Aktive Gaspedal. Die Darstellung im HUD wurde wie im vorangegangenen Konzept in drei Cluster eingeteilt. Zusätzlich zur farbigen Darstellung wird eine monochrome Variante evaluiert, um mögliche Vorteile (bspw. in der Reaktionszeit) durch spezifische Farben bei der Darstellung im HUD und Kombiinstrument zu untersuchen. Beide Varianten sind beispielhaft in Abbildung 21 zu sehen.

Für die FAS-Informationen, dargestellt im Display des Kombiinstrumentes, wird weiterhin der verfügbare Freiraum zwischen den beiden Rundinstrumenten genutzt. Zusätzlich wird es ergänzend zu den bisherigen generischen Anzeigen, die über das jeweilige erkannte Objekt (bspw. LSA) und das aktive System informieren, einen grünen Pfeil im Geschwindigkeitsrundinstrument geben (vgl. Abbildung 22), der die aktuelle Zielgeschwindigkeit für die optimale Fahrweise übermittelt.

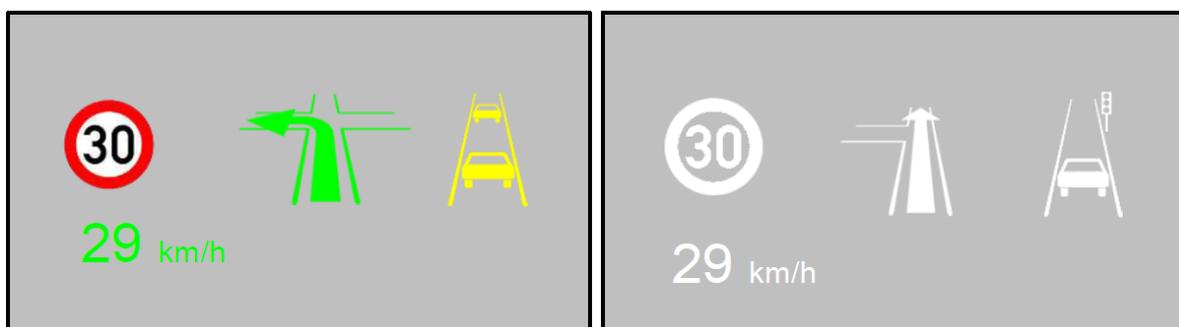


Abbildung 21: Einteilung der einzelnen Cluster im HUD in der mehrfarbigen Ausführung (links) und der monochromen Version (rechts) (nach Ruff, 2014)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes



Abbildung 22: Die unterschiedlichen Darstellungen im Kombiinstrument der verschiedenen Systeme. Anzeige des Grüne-Welle-Assistenten (links), Folgeassistenten (Mitte) und beider Systeme gleichzeitig aktiv (rechts) (aus Götze, Ruff, & Bengler, 2015)

Dieser visuelle Hinweis (kleiner grüner Pfeil, der auf die Zielgeschwindigkeit deutet) zum Verzögern oder Beschleunigen war im Konzeptentwurf nur in der Darstellung im Head-Up Display enthalten. Um den visuellen Load zu reduzieren, ist dieser nun ins Kombiinstrument verschoben. Dadurch ist es dem Fahrer möglich diese Information *on-demand* abzurufen, wenn die haptische Rückmeldung über das Aktive Gaspedal nicht ausreicht. Neben dem Gegendruck gibt es durch das Aktive Gaspedal zusätzlich die Informationsübermittlung durch eine Druckschwelle, um eine bestimmte Geschwindigkeit beizubehalten. Die vier Hauptsysteme zur Unterstützung des Fahrers in Längsrichtung, die im Versuch integriert wurden, sind der Geschwindigkeitsassistent, der Grüne-Welle-Assistent, ein Abstands- bzw. Folgeassistent sowie die Verkehrszeichenerkennung für Geschwindigkeitsgebote. Szenarien, die eine Unterstützung des Fahrers durch die genannten Systeme benötigen, treten häufig im städtischen Verkehr auf. Die unterschiedlichen visuellen Ausprägungen im Display des Kombiinstruments sind in Abbildung 22 dargestellt. Falls mehrere Systeme gleichzeitig aktiv sind, beinhaltet die Darstellung beide erkannten Objekte, die Grundlage der Empfehlung sind. Die grüne Symbolik wird durch den Namen der aktiven Assistenz im unteren Teil des Kombiinstruments ergänzt.

Zusätzlich wurde neben den empfehlenden FAS ein Warnassistent mit Warnkaskade und Notbremsassistenten verwendet (vgl. Abbildung 23). Da inhaltlich die Strategie der Handlungsempfehlung im Vordergrund steht, wird dieser nur verkürzt behandelt. Detaillierte Ergebnisse dazu können Götze et al. (2015) und Ruff (2014) entnommen werden.

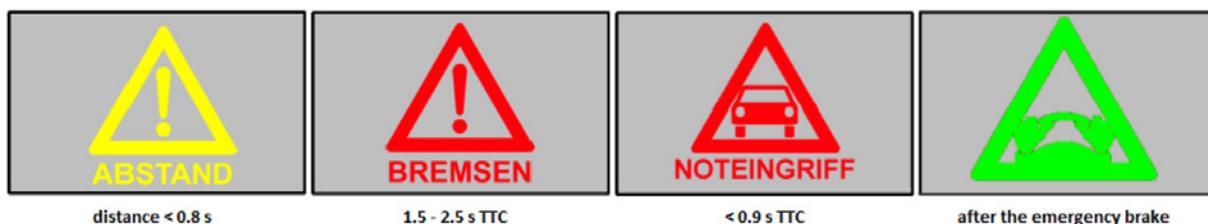


Abbildung 23: Darstellung der verschiedenen HUD Anzeigen des Warnassistenten bei den jeweiligen TTC Zeiten der Warn-Kaskade (Götze et al., 2015)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Für die Definitionen der einzelnen Fahrerassistenzsysteme sei auf Kapitel 3.1 verwiesen. Die Wirkweise im vorliegenden Interaktionskonzept gestaltet sich dabei wie folgt:

- Geschwindigkeitsassistent
 - Anzeige des Geschwindigkeitsschildes im HUD dauerhaft
 - Haptisches Feedback durch das aktive Gaspedal
 - Beim Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit um >5 km/h wird im Kombiinstrument „Geschwindigkeitsbegrenzung beachten!“ in gelber Schrift eingeblendet
- Grüne-Welle-Assistent
 - Bei Aktivierung des FAS temporäres, gelbes Symbol im HUD für 3 s
 - Gleichzeitig dauerhafte Einblendung eines grünen Symbols mit Bezeichnung im Kombiinstrument für die aktive Dauer des Systems
 - Grüner Pfeil im Geschwindigkeitsmesser im Kombiinstrument
 - Haptisches Feedback durch das aktive Gaspedal
- Abstands- bzw. Folgeassistent
 - Beim Erkennen eines Vorderfahrzeugs erfolgt Aktivierung
 - Gelbes Symbol im HUD für eine Dauer von 3 s
 - Dauerhafte Einblendung des grünen Symbols bis Deaktivierung
 - Haptisches Feedback durch aktives Gaspedal
 - Optimaler Abstand: 1,2 s
- Warnassistent
 - Darstellung eines Pop-Ups im HUD bei unterschiedlichen TTC
 - Einblendung in der gleichen Farbe im Kombiinstrument

6.2.2 Fahr Simulatorumgebung

Die Versuchsreihen fanden im statischen 180° Fahr Simulator des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München statt. Die Basis bildet im Simulationsraum ein BMW 6er Cabriolet (Typ E64). Zur Darstellung der Fahr Szenarien sowie Umwelt agieren insgesamt drei Projektionsflächen vorn und drei weitere hinten, die für die jeweiligen Spiegel des Fahrzeugs fungieren. Über einen zusätzlichen Projektor wird das Head-Up Display auf die Leinwand vorm Fahrzeug abgebildet, um ein realitätsnahes Bild zu projizieren. Die Anordnung der einzelnen Leinwände ist Abbildung 24 zu entnehmen.

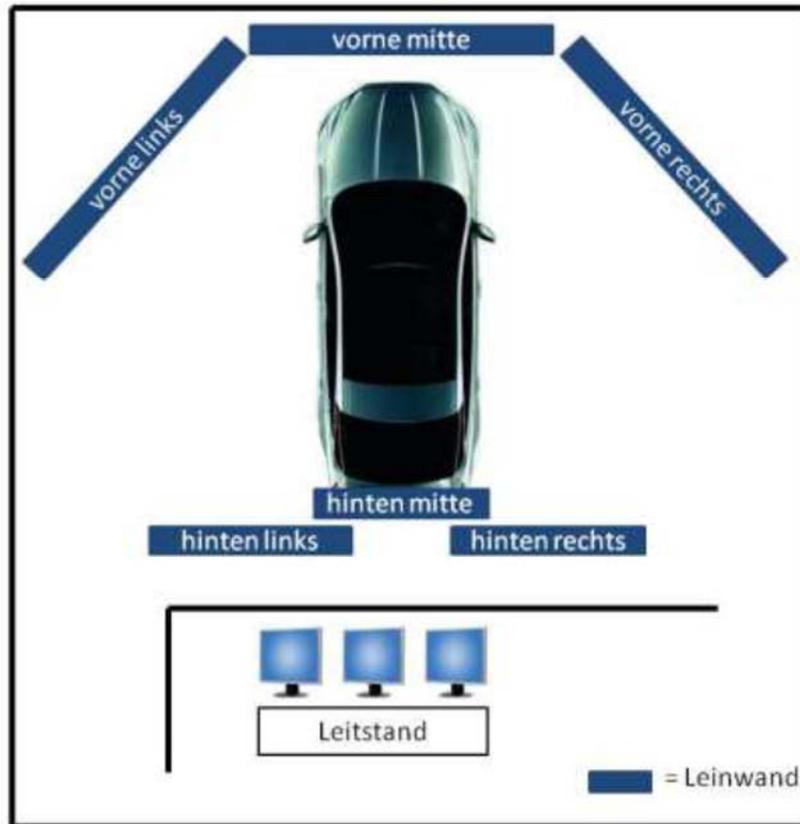


Abbildung 24: Aufbau des statischen Fahrsimulators am Lehrstuhl für Ergonomie inkl. der jeweiligen Projektionsleinwände sowie des Leitstandes (Bilddatenbank am Lehrstuhl für Ergonomie)

Die Leinwände vorne links und vorne rechts sind um jeweils 120° abgewinkelt, wodurch sich für den Fahrer ein 180° Sichtfeld für die Fahrszenarie ergibt. Dies ist besonders für Fahrversuche in städtischen Szenarien wichtig, da hier viele Kreuzungen und Fahrbahnüberquerungen durch schwächere Verkehrsteilnehmer auftreten. Von der Verwendung einer einfachen Sitzkiste ist hier abzuraten.

Das Fahrzeug selber ist ortsfest und es werden keinerlei Beschleunigungen an den Fahrer übertragen. Jedes visuelle Nicken, Gieren oder Wanken erfolgt allein durch die Simulationssoftware. Des Weiteren werden Fahrgeräusche über ein Lautsprechersystem simuliert. Es wird für alle Versuche ein Automatikgetriebe verwendet, welches sich wie ein gewöhnliches Fahrzeug bedienen lässt.

Als Software wird die Simulationssoftware SILAB 4.0 (und für spätere Versuche 5.0) des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften verwendet (WIVW, 2017). Diese sorgt für die Darstellung der Strecke, Verkehrsteilnehmer, Szenarien, Umwelt sowie sämtlicher weiterer visueller Anzeigen und haptischer Rückmeldungen.

6.2.3 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Für den Versuch führen alle Probanden zwei Versuchsteile durch, bei denen sie jeweils Strecken mit unterschiedlichen Szenarien durchfahren. Eine der Strecken wird komplett mit dem oben genannten Interaktionskonzept und dem visuellen sowie haptischen Feedback auf den drei Komponenten durchgeführt. Für den anderen Teil erfolgt eine Fahrt ohne das neue MMI-Konzept sowie ohne Fahrerassistenzsysteme. Das bedeutet, dass im Kombiinstrument lediglich die beiden Rundinstrumente vorhanden sind, im Head-Up Display nur die aktuelle Geschwindigkeit sowie eine Navigationsanzeige visualisiert werden und das Aktive Gaspedal als gewöhnliches Pedal ohne Änderung der Kräfte fungiert. Die Reihenfolge der beiden Strecken sowie der Nutzung des Gesamtkonzeptes werden über alle Probanden permutiert. Die farbige und monochrome Version des MMI wird nach jedem Probanden gewechselt und hat sonst keine Auswirkungen auf die Versuchsdurchführung. Zusätzlich gibt es für alle Probanden die gleiche Übungsstrecke, auf welcher sie sich einfahren konnten, um Trainingseffekte zu reduzieren. Die beiden Strecken sind ähnlich aufgebaut, unterscheiden sich aber soweit, dass keine Wiedererkennungseffekte von Szenarien auftreten. Grundsätzlich wird von einem Parkplatz gestartet und die Fahrt endet auf selbigem. Zu Beginn werden neben einem verkehrsberuhigten Bereich auch zwei Lichtsignalanlagen durchfahren, bei denen das Interaktionskonzept eine Reduzierung der Geschwindigkeit vorgibt. Diese Anfangsszenarien werden nicht ausgewertet und dienen dazu, den Fahrer mit dem jeweiligen Versuchsteil und Interaktionskonzept vertraut zu machen. Diese werden bei beiden Strecken von unterschiedlichen urbanen Streckenabschnitten gefolgt. Dazu gehören u.a. unterschiedliche Geschwindigkeitszonen, Lichtsignalanlagen, Kreuzungen, Fußgängerüberwege, Vorderfahrzeuge und freie Fahrten sowie jeweils eine Gefahrensituation für den Notbremsassistenten. Die Gesamtdauer einer Strecke ist auf etwa 15 Minuten ausgelegt. Neben den objektiven Fahrdaten, die durch die Simulationsumgebung aufgezeichnet werden, erfolgt die Abfrage subjektiver Metriken. Dazu gehören neben dem NASA-TLX Fragebogen, der den subjektiv empfundenen Workload der Probanden nach jedem Versuchsteil messen soll, auch ein demographischer Fragebogen, ein spezifischer eigener Fragebogen nach jedem Versuchsteil sowie ein Abschlussfragebogen.

6.2.4 Hypothesen

Die Hypothesen stellen im Wesentlichen den Unterschied zwischen der Fahrt mit und der Fahrt ohne das neue Interaktionskonzept heraus. Dazu werden die folgenden Fragestellungen formuliert und am Ende bewertet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird nur die H1 Hypothese beschrieben. Weitere für diese Arbeit weniger relevante Hypothesen wurden von Götze et al. (2015) und Ruff (2014) untersucht.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

- I. Die Nutzung des Interaktionskonzepts für Empfehlungen hat einen reduzierenden Effekt auf den Zeitanteil, in dem mehr als 5 km/h zu schnell gefahren wird.
- II. Die Standzeiten des Fahrers vor Lichtsignalanlagen bei rotem Signal verkürzen sich durch die Empfehlungen des Interaktionskonzeptes.
- III. Das Feedback an den Fahrer über die Druckschwelle des Aktiven Gaspedals beeinflusst den Fahrer, so dass er seinen gewählten Abstand zum Vorderfahrzeug ändert.
- IV. Die Reaktionszeit beim Bremsen verkürzt sich bei Nutzung des Warnassistenten des Interaktionskonzeptes.
- V. Das Blickverhalten der Probanden ändert sich durch die Nutzung des Interaktionskonzeptes.
- VI. Die farbige und monochrome Darstellung des Inhalts im Head-Up Display hat Auswirkungen auf die Reaktionszeiten der Probanden.
- VII. Die subjektive Beanspruchung unterscheidet sich zwischen der Baseline und der Fahrt mit Interaktionskonzept nicht.

6.2.5 Ergebnisse

Für den Vergleich zwischen streckenbezogener Daten, die von einem Teil der Probanden mit Interaktionskonzept und von einem Teil ohne zusätzliches Konzept durchfahren werden, wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben angewandt. Die Normalverteilung wurde anhand eines Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Sollte diese verletzt sein, konnte bei gleich großen Stichprobenumfängen trotzdem ein t-Test durchgeführt werden, da er dann robust reagiert (Bortz & Döring, 2006). Bei ungleichen Stichprobenumfängen wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Bei Stichproben aus demselben Probandenkollektiv mit Unterscheidung der Versuchsbedingungen wurde ein t-Test für verbundene Stichproben genutzt.

Probandenkollektiv

Am Versuch nahmen 43 Probanden teil. Aufgrund von Simulatorübelkeit mussten 5 Probanden bereits nach der Probefahrt ihre Teilnahme abbrechen. Diese Personen wurden für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt. Die restlichen 38 Versuchsteilnehmer waren zwischen 20 und 53 Jahren alt mit einem Mittelwert von 27,4 Jahren (SD = 5,2 Jahre). Vier der Probanden waren weiblich. Bei der Erfahrung mit dem Simulator gaben 20 der Teilnehmer an, dass dies die erste Fahrt sei, während 16 weitere Personen berichteten, das erste Mal ein Head-Up Display zu nutzen.

Geschwindigkeitsverläufe

Für die Bewertung der Geschwindigkeitsüberschreitungen wurde für beide Strecken jeweils der prozentuale Anteil der Überschreitungen um mindestens 5 km/h aufgezeichnet. Dabei ergaben sich für Strecke 1 die Werte von $MW_{\text{Base1}} = 12,4\%$ und $MW_{\text{MMI1}} = 2,3\%$. Dies stellt einen signifikanten Unterschied dar; $t(18.663) = -3.261$; $p = .004$.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 20: Prozentualer Zeitanteil an Geschwindigkeitsüberschreitungen pro Strecke von mindestens 5 km/h mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept

	Strecke 1		Strecke 2	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI
Mittelwert	12,4%	2,3%	10,9%	2,1%
SD	13,0%	2,2%	7,1%	3,0%
t-Test	$t_1(21.421) = -4.854; p < .001$		$t_2(21.421) = -4.854; p < .001$	

Bei Strecke 2 betrug der prozentuale Anteil an Überschreitungen $MW_{\text{Base}2} = 10,9\%$ bzw. für die Fahrt mit Interaktionskonzept $MW_{\text{MMI}2} = 2,1\%$, was ebenfalls einen signifikanten Unterschied darstellt; $t(21.421) = -4.854, p < .001$. Alle Werte sowie die Standardabweichung können Tabelle 20 entnommen werden.

Quantitativ treten Geschwindigkeitsüberschreitungen mit Interaktionskonzept nur sehr selten auf. Meist wird die Geschwindigkeit bei Beschleunigungsvorgängen kurzzeitig überschritten und dann aufgrund des visuellen Feedbacks sowie des Gegendrucks im Gaspedal reguliert. Lediglich sechs Probanden fahren mit MMI Unterstützung in mehr als 5% der Strecke mindestens 5 km/h zu schnell.

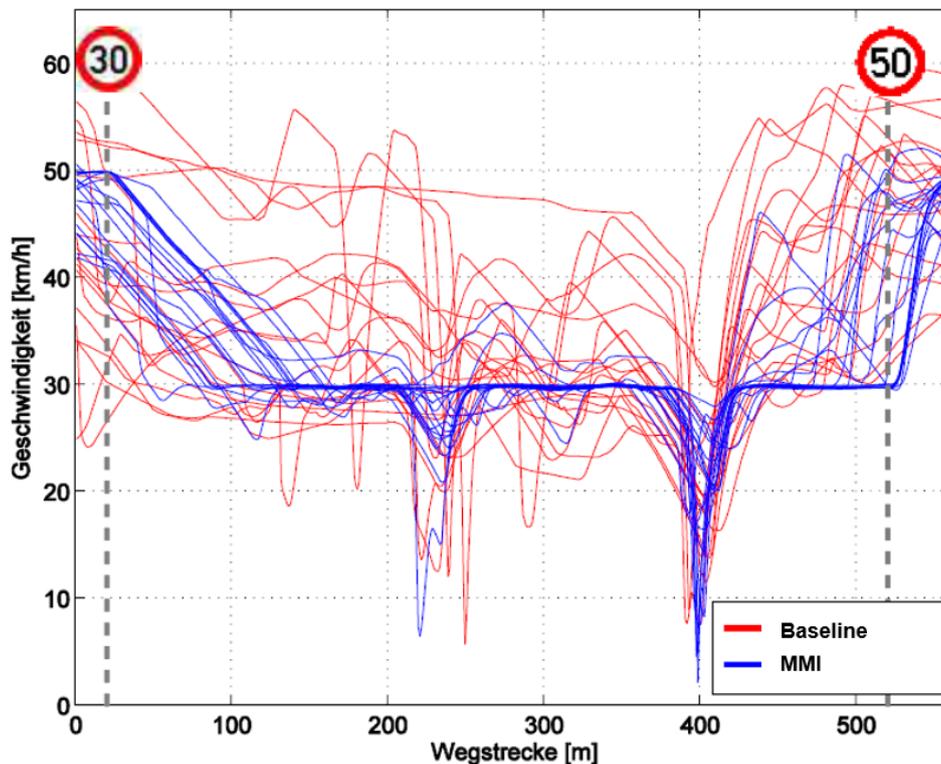


Abbildung 25: Individuelle Geschwindigkeitsverläufe der einzelnen Probanden in einer 30er Zone mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Betrachtet man die Geschwindigkeitsverläufe der Baseline- sowie Interaktionskonzeptfahrt in einer 30er Zone, so ergaben sich Verläufe wie auf Abbildung 25 beispielhaft zu sehen. Sie zeigt einen kurzen Streckenabschnitt von knapp 500 m auf der bei ca. 220 m eine Vorfahrtsstraße und bei 400 m eine Abbiegung vorkommt. Sehr gut zu erkennen, sind die deutlich höheren Geschwindigkeiten der Baseline in der gesamten Zone, aber vor allem nach dem Abbiegen gegen Ende. Der Verlauf der Geschwindigkeit durch Empfehlungen des Interaktionskonzepts ist sehr homogen, wodurch für den Stadtverkehr zusätzlich eine bessere Prädiktion der Fahrzeuge und Durchsätze an Knotenpunkten erreicht wird. Hier fällt außerdem auf, dass die Empfehlung des Aktiven Gaspedals sehr gut angenommen wurde. Der Großteil der Probanden folgte dieser Geschwindigkeitsempfehlung.

Beschleunigungen und Standzeiten vor LSA

Für die Bewertung der Beschleunigungen und Standzeiten vor Lichtsignalanlagen wurden im Folgenden verschiedene Szenarien mit Anfahrt auf diese betrachtet. Abbildung 26 zeigt eine Fahrt mit freier Sicht aus großer Entfernung auf die Lichtsignalanlage. Zum Zeitpunkt 0 s wird die Empfehlung des Interaktionskonzepts aktiv. Nach 27 s startete der Umschaltvorgang der LSA auf „Grün“, welcher nach weiteren 2 s abgeschlossen war.

Betrachtet man den Verlauf der mittleren Geschwindigkeiten der Probanden mit Empfehlung des Interaktionskonzepts, so fällt auf, dass diese fast ausschließlich ihr Fahrzeug bis ca. 40 km/h ausrollen ließen, um so mit der durch das MMI empfohlenen Geschwindigkeit auf die LSA zuzufahren. Im Gegensatz dazu behalten die Fahrer der Baseline ihre aktuelle Geschwindigkeit bei und bremsen vorm Erreichen der LSA stark ab bis fast in den Stillstand.

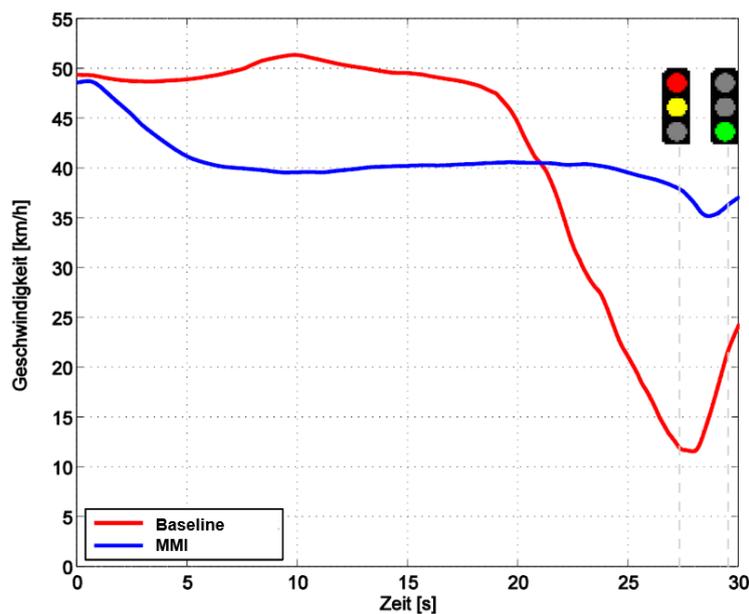


Abbildung 26: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Anfahrt (ca. 400m) auf eine Lichtsignalanlage mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Ruff, 2014)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 21: Mittlerer Geschwindigkeitsverlust bei der Anfahrt auf eine Lichtsignalanlage mit Empfehlungen des MMI und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015)

	Baseline	MMI
Mittelwert	39,41 km/h	14,82 km/h
SD	17,8 km/h	5,2 km/h
t-Test	t(20.388) = 5,6; p < .001	

Vergleicht man den mittleren Geschwindigkeitsverlust bei der Zufahrt auf die Kreuzung, findet man einen signifikanten Unterschied; $t(20.388) = 5,6$; $p < .001$. Die einzelnen Mittelwerte und Standardabweichungen sind der Tabelle 21 zu entnehmen.

Bei den kumulierten Standzeiten vor Lichtsignalanlagen gibt es mehrere Faktoren, die darauf einen Einfluss haben. Zum einen hängt es von der aktuellen Ampelphase ab und zum anderen beeinflussen andere Verkehrsteilnehmer (wie Vorderfahrzeuge) den eigenen Fahrtverlauf. Für die Strecke 1 (mit neun LSA) zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Fahrten mit und ohne Empfehlungen des MMI, während auf Strecke 2 (mit sieben LSA) ein Unterschied gefunden werden konnte; $t(31) = 2,919$; $p = .006$. Die kumulierte Standzeit für die Baseline-Fahrt (MW = 7,4 s) war dabei deutlich höher als die Fahrt mit Interaktionskonzept (MW = 1,2 s). Alle Werte können Tabelle 22 entnommen werden.

Abstandshaltung zu Vorderfahrzeugen

Zur Überprüfung des mittleren Abstandes zum Vorderfahrzeug wurden unterschiedliche Szenarien betrachtet, in denen das MMI mit Abstandsempfehlungen aktiv war oder die gleichen Szenarien ohne Rückmeldung des MMI durchfahren wurden. Analysiert man den Verlauf des Abstandes bei der Anfahrt auf ein langsameres Vorderfahrzeug, so sind kaum Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zu erkennen. Ein großer Teil der Probanden berichtete einen zu geringen Abstand als Empfehlung des Interaktionskonzeptes, wodurch sich beide Versuchsteile zwischen 2,0 und 2,2 m einpegelten (vgl. Abbildung 27).

Tabelle 22: Kumulierte Standzeiten vor LSA für beide Streckenabschnitte (Götze et al., 2015)

	Strecke 1		Strecke 2	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI
Mittelwert	7,68 s	5,80 s	7,35 s	2,67 s
SD	1,59 s	1,02 s	1,19 s	1,06 s
t-Test	$t_1(31) = 1,009$; $p = .321$		$t_2(31) = 2,919$; $p = .006$	

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

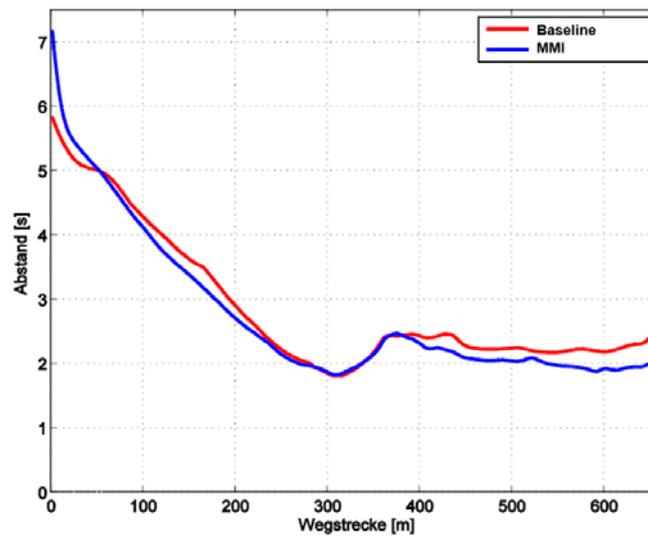


Abbildung 27: Zeitlicher Abstand zum Vorderfahrzeug während einer Folgefahrt mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (aus Ruff, 2014)

Reaktionszeiten des Fahrers auf Bremsempfehlungen

Beide Versuchsteile hatten jeweils zwei Szenarien implementiert, die durch Verdeckung oder unvorhergesehene Manöver des Fremdverkehrs eine kritische Situation ($TTC < 2,5$ s) für den Fahrer provozieren und dadurch den Warnassistenten auslösen. Diese Szenarien umfassten typische Stadtmanöver. Nachfolgend sind die einzelnen Abschnitte kurz beschrieben und in Abbildung 28 visualisiert:

- Szenario 1: Folgefahrt mit plötzlichem Bremsen des Vorderfahrzeugs an einer schlecht einsehbaren Kreuzung durch Verdeckung
- Szenario 2: Plötzlicher Ausparker von rechts mit aktivem Fahrtrichtungsanzeiger
- Szenario 3: Folgefahrt mit plötzlichem Bremsen des Vorderfahrzeugs durch Parkwunsch und freie Parklücke
- Szenario 4: Plötzlicher Ausparker von links mit Verdeckung



Abbildung 28: Visuelle Darstellung der einzelnen Gefahrensituationen für beide Strecken mit typischen urbanen Szenarien, die zu kritischen Interaktionen mit Fremdverkehr führen können

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 23: Reaktionszeiten auf Meldungen im Warnassistenten bei den jeweiligen Szenarien mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Götze et al., 2015)

MW (SD)	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Baseline	1,04 s (\pm 0,15)	1,37 s (\pm 0,24)	1,46 s (\pm 0,43)	1,68 s (\pm 0,25)
MMI	1,06 s (\pm 0,23)	1,32 s (\pm 0,28)	1,32 s (\pm 0,23)	1,69 s (\pm 0,11)

Tabelle 24: Reaktionszeiten auf Bremsempfehlungen im Head-Up Display bei mehrfarbiger und monochromer Darstellung des Interaktionskonzeptes

MW (SD)	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Mehrfarbig	1,06 s (\pm 0,14)	1,44 s (\pm 0,23)	1,24 s (\pm 0,14)	1,72 s (\pm 0,13)
Monochrom	1,06 s (\pm 0,31)	1,24 s (\pm 0,24)	1,38 s (\pm 0,28)	1,66 s (\pm 0,07)

Für die jeweiligen Szenarien wurden die Reaktionszeiten auf die Meldungen des Warnassistenten im MMI gemessen. Für die Baseline erfolgte ebenfalls eine einfache visuelle Warnung im gleichen Abstand (in Metern) zur Gefahrensituation. Die RT berechnet sich vom Zeitpunkt der ersten Warnmeldung bis zur Betätigung des Bremspedals (bewusste Bremsung; ab >10% Pedalneigung). Reaktionszeiten kleiner als 200 ms sowie Zeiten größer als 1,5 s wurden erneut nicht berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3.2). Betrachtet man die Ergebnisse zu den einzelnen Szenarien in Tabelle 23 so fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Baseline-Fahrt und der Fahrt mit Interaktionskonzept bzgl. der Reaktionszeiten.

Vergleich der mehrfarbigen und monochromen Variante

Bei der Untersuchung des systemergonomischen Effektes auf den Fahrer der mehrfarbigen und monochromen Darstellung der Informationen des Interaktionskonzeptes im Head-Up Display wurden ebenfalls die Reaktionszeiten auf die Warnungen in den einzelnen kritischen Szenarien zum Vergleich herangezogen. Tabelle 24 zeigt die gemessenen Zeiten bei der Fahrt mit den jeweiligen Farbvarianten des MMI. Vergleicht man die Reaktionszeiten ist kein signifikanter Unterschied zu finden.

Blickdaten

Für die Betrachtung der Blickdaten wurde die Zeitspanne vom Zeitpunkt des Losfahrens des Fahrers auf dem Parkplatz bis zum Abstellen des Fahrzeuges am Ende der Strecke betrachtet. Da es mit aktueller Technik unmöglich ist, Blicke auf das Head-Up Display von Blicken auf die Fahrscene zu unterscheiden, da diese aufgrund der Projektion in der gleichen Ebene und zum Teil an gleicher Position dargestellt werden, geben diese Daten lediglich eine Tendenz für die Blickverteilung mit und ohne MMI wieder.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

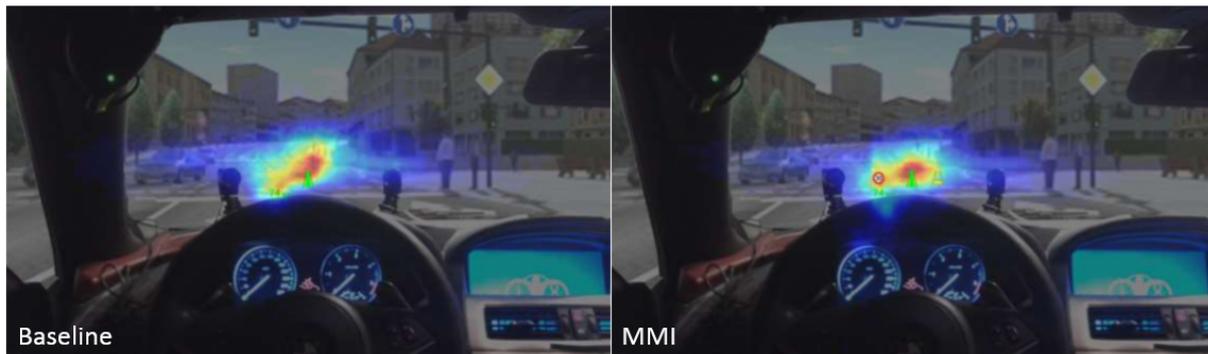


Abbildung 29: Visualisierung der Blickverteilung mit Hilfe einer Heatmap für die Durchgänge mit (MMI) und ohne (Baseline) Interaktionskonzept (Ruff, 2014)

Dies führt außerdem dazu, dass in den folgenden Versuchen auf Eye-Tracking verzichtet wurde, da die Ergebnisse hier keinen weiteren Mehrwert liefern können. Über die Heatmap, in Abbildung 29, lassen sich trotzdem einige qualitative Unterschiede in der Blickverteilung der beiden Durchgänge erkennen.

Subjektive Beanspruchung (NASA-TLX)

Mit Hilfe des NASA-rTLX (Bittner, Byers, Hill, Zaklad, & Christ, 1989) Fragebogens wurde die unterschiedliche subjektive Beanspruchung bei der Fahrt mit beiden Konzepten verglichen. Die Darstellung in Abbildung 30 zeigt den Overall Workload Index (OWI) für die Beanspruchung (links) sowie die Bewertung der einzelnen Sub-Skalen (rechts). Dabei gibt es keinen Unterschied zwischen der Baseline (MW = 37,4) und der Fahrt mit Interaktionskonzept (MW = 34,9). Betrachtet man die einzelnen Sub-Skalen genauer, so findet sich vor allem bei der physischen Anstrengung eine größere Differenz. Bei allen anderen Untergruppen ist kein Unterschied zwischen den beiden Durchgängen zu finden. Da die einzelnen Items des Fragebogens aber teilweise Wechselwirkungen zu anderen Items haben, kann hier keine spezifische Aussage getroffen werden.

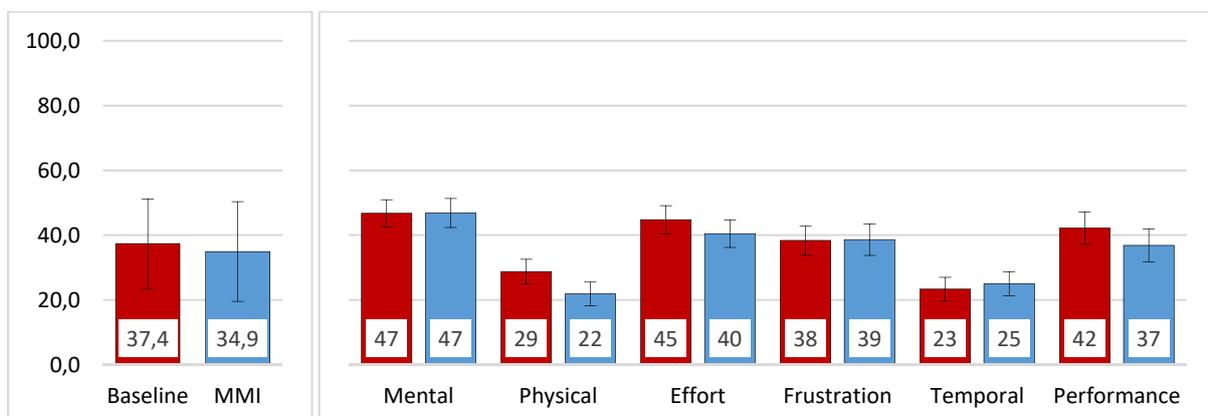


Abbildung 30: Subjektive Beanspruchung der einzelnen Fahrten mit Gesamtwert (und Standardabweichung) des NASA-rTLX (links) sowie der Bewertung der Sub-Skalen (rechts)

6.2.6 Zusammenfassung

Die gefundenen Ergebnisse bestätigen einen Großteil der formulierten Hypothesen. Für die Geschwindigkeitshaltung und Vermeidung von Geschwindigkeitsüberschreitungen zeigen die Empfehlungen des Interaktionskonzepts, vor allem durch die Integration des Aktiven Gaspedals, ein hohes Potential. Auch bei Szenarien mit Lichtsignalanlagen wurde ein positiver Effekt festgestellt, wodurch sich ein homogener Geschwindigkeitsverlauf über die Probanden zeigte und Standzeiten vor LSA reduziert werden konnten. Keinen nachweisbaren Einfluss hatten die Empfehlungen des Konzepts auf den Abstand zu Vorderfahrzeugen bei Folgefahrten. Dies hing vermutlich mit den unterschiedlich präferierten Abständen der jeweiligen Probanden zusammen. Diese berichteten gegenteilige bevorzugte Distanzen zum vorausfahrenden Fahrzeug. Während einigen der vom Aktiven Gaspedal empfohlene Abstand zu gering ausfiel, avisierten andere eine deutlich größere Lücke an, wodurch sich zwischen den beiden Fahrten keine Unterschiede zeigten. Ähnliche Ergebnisse konnte man bei den Reaktionszeiten aufgrund von Warnsituationen beobachten. Gründe hierfür sind vor allem in den Szenarien selber und der technischen Umsetzbarkeit zu finden. So war es in den meisten Fällen für den Probanden möglich, beim aufmerksamen Fahren, die Gefahrenquelle schon deutlich vor der Warnmeldung wahrzunehmen, da hier technisch zur Auslösung der Warnung erst eine Überschneidung der Trajektorien erforderlich ist. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Reaktionszeiten auf Meldungen im Head-Up Display haben zudem auch Auswirkungen auf die Bewertung der farbigen und monochromen Darstellungsart. Die Hypothese kann hier nicht zufriedenstellend beantwortet werden und sollte in einem weiteren Versuch Berücksichtigung finden, da die Methodik zur Beantwortung dieser Hypothese u.U. nicht die richtige war.

Vergleicht man die beiden Konzepte (MMI und sehr vereinfachtes Konzept für die Baseline) würde man eine deutliche Erhöhung der subjektiven Beanspruchung für die Probanden durch die Vielzahl zusätzlicher dargestellter Informationen erwarten. Der NASA-rTLX zeigte hier aber keine signifikanten Unterschiede im Gesamtwert.

Insgesamt zeigten sich durch die erste Evaluation des neuen Interaktionskonzeptes mögliche Potenziale und Vorteile in unterschiedlichen Bereichen für den Fahrer. Es war den Probanden dadurch möglich, effizienter und stressfreier zu fahren. Eine Verbesserung der Reaktionszeiten auf dargestellte Warnungen vor kritischen Ereignissen zur Erhöhung der Sicherheit konnte hier nicht nachgewiesen werden, was vermutlich der Wahl der Szenarien zuzuschreiben ist. Dies sollte in einem weiteren Versuch überprüft werden. Trotz der Vorteile zeigte das Konzept Verbesserungspotential in einigen Bereichen. Um den angestrebten Eigenschaften eines handlungsorientierten und integrativen Konzeptes gerecht zu werden, ist

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

zudem die Integration von zusätzlichen Empfehlungen durch weitere Fahrerassistenzsysteme notwendig, da erst hier die Wirksamkeit schlussendlich nachgewiesen werden kann. Zusätzliche sollte der Aspekt der Usability nicht außer Acht gelassen werden und diesbezüglich Daten erhoben werden, um das System weiter zu verbessern. Der Versuch zeigte dennoch sehr schön, dass der iterative Prozess der Implementierung des Interaktionskonzeptes in den Fahrsimulator mit den unterschiedlichen visuellen Darstellungen und Anzeigezeitpunkten sowie der Integration des Aktiven Gaspedals funktioniert und als Methode zur Evaluation des MMI geeignet ist.

6.3 Experiment 2: Umsetzung und Evaluation eines handlungszentrierten Head-Up Display Konzeptes

Die erste Evaluation des handlungszentrierten Interaktionskonzeptes (vgl. Kapitel 6.2) im urbanen Raum bescheinigte großes Potential zur Unterstützung des Fahrers. Die Ergebnisse zeigten, dass die Darstellung im Head-Up Display vom Fahrer für jegliche Art von dynamischen, zeitkritischen und sicherheitsrelevanten Informationen präferiert wird. In den bisherigen Versuchen konnten wenige Aussagen zu Absicherungskriterien getroffen werden, die sowohl die Ablesbarkeit von den Displays aber auch die Reaktionszeit sowie die korrekte Reaktion auf präsentierte Informationen bewerten. Eine zusätzliche Anforderung entstand durch die handlungszentrierte Darstellung und Erweiterbarkeit des Konzeptes.

Zu diesem Zweck sollte im nachfolgenden Versuch ein konventionelles Darstellungsdesign auf dem HUD, mit der Clusterung der Informationen in drei Bereiche (wie in aktuellen Serienfahrzeugen genutzt), mit einem handlungszentrierten Interaktionskonzept, bei dem die aktuell wichtigen Informationen immer im Zentrum des Displays präsentiert werden, verglichen werden. Gleichzeitig stand weiterhin der Vergleich der mehrfarbigen Darstellung mit einer monochromen Version aus. Der nachfolgende Versuch sollte die Effekte der unterschiedlichen Positionen der Darstellung der Informationen im Display sowie die Auswirkungen der dargestellten Informationsmenge auf die Leistung des Fahrers untersuchen.



Abbildung 31: Darstellung des neues HUD Konzeptes nach der ersten Entwurfsphase aufbauend auf der Ring-Metapher. Toter-Winkel-Assistent (links) und alle Systeme aktiv (rechts).

6.3.1 Mensch-Maschine-Interface

In einer ersten Phase entstand das in Abbildung 31 gezeigte Design für das Konzept des HUDs, welches versuchte, auf der Ring- bzw. Schutzschild-Metapher aufzubauen (vgl. van Gijssel, 2013). Dabei wird das Ego-Fahrzeug im Zentrum der Anzeige von einem Kreis umgeben, welcher bei Annäherung an Hindernisse in den Warnfarben Gelb und Rot im entsprechenden Segment aufleuchtet. Der Vorteil hierbei ist, dass die Anzeige unabhängig vom aktiven Assistenzsystem die Information über zu geringe Abstände des Ego-Fahrzeugs zu (statischen oder dynamischen) Hindernissen generisch für den Fahrer präsentiert. In der ersten generierten Version der Darstellung wurden zudem die Informationen zur Navigation strikt von restlichen Anzeigehalten auf dem Head-Up Display (räumlich) getrennt.

Das beschriebene Konzept wurde anschließend in einer Expertenrunde diskutiert. Dabei zeigten sich folgende Hauptprobleme des in Abbildung 31 gezeigten Konzeptes, die eine zweite Phase der Überarbeitung notwendig machten:

- Ego-Fahrzeug sehr klein und komplett dargestellt
- Schriftgrößen relativ gering und dadurch schwer ablesbar
- Navigationsempfehlungen getrennt von restlicher Anzeige
- Überladung der Anzeige bei mehreren aktiven FAS (vgl. Abbildung 31 rechts)
- Erkannte Objekte (bspw. LSA oder Vorderfahrzeug) nicht einheitlich positioniert
- Erweiterbarkeit nicht gewährleistet durch hohe Informationsdichte der Darstellung

Die beschriebenen Anmerkungen wurden für die folgende Entwurfsphase berücksichtigt und das finale MMI-Konzept für den nachstehenden Versuch entworfen. Die Schriftgrößen wurden erhöht, um die Lesbarkeit zu verbessern. Das Ego-Fahrzeug wird nur noch abgeschnitten dargestellt, um den Detailgrad weiter zu reduzieren, da sich Empfehlungen, die im HUD dargestellt werden, auf laterale und in Fahrtrichtung befindende Szenarien beschränken.

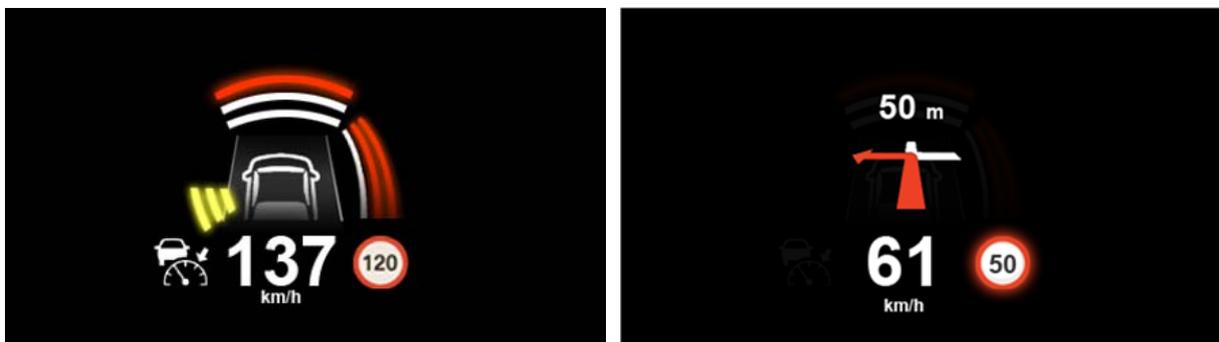


Abbildung 32: Finale Darstellung des neuen Head-Up Konzeptes nach der zweiten Entwurfsphase. Die Anzeige bei allen aktiven Systemen (links) und bei aktiver Navigation (rechts).



Abbildung 33: Aktuelle Head-Up Konzepte und ihre typische Aufteilung in drei Cluster; eine vereinfachte beispielhafte Version links von Breisinger (2007) sowie die Konzeptdarstellung (rechts)

Durch die FAS erkannte Objekte, auf die der Fahrer selbstständig regeln sollte (bspw. LSA), werden jetzt vor dem Fahrzeug-Symbol im HUD dargestellt und das unabhängig von der Art des Objektes (statisch oder dynamisch). Die Navigationsanweisungen wurde ebenfalls in die Anzeige integriert (vgl. Abbildung 32 rechts) und überlagern, wenn aktiv, das dargestellte Ego-Fahrzeug in der Mitte der Anzeige. Die Ergebnisse basieren zum Teil auf den beiden Bachelorarbeiten von Schweiger (2015) und Eisner (2015) und können dort im Detail nachgelesen werden.

Um eine passende Baseline zu finden, mit der das neue handlungszentrierte Konzept verglichen werden sollte, wurden zum Zeitpunkt des Versuches aktuelle Head-Up Display Anzeigeconzepte deutscher Automobilhersteller betrachtet (vgl. auch Kapitel 3.3). Auffällig dabei ist die große Ähnlichkeit der Hersteller bei der Anordnung der einzelnen Informationskategorien. Alle betrachteten Konzepte (bspw. von BMW, Audi, VW, Daimler) wiesen eine Clusterung der Informationen im Display in drei Bereiche auf. Dazu gehörten ein Bereich für Navigationsanweisungen, geschwindigkeitsbezogene Informationen sowie Fahrerassistenzinformationen. Die gleichen Erkenntnisse (Clusterung in Themenbereiche) fand Breisinger (2007), der daraufhin eine vereinfachte Version dieser typischen Darstellung postulierte, die im Weiteren als Vergleichskonzept genutzt werden soll. Diese Darstellungsart mit Beispielen sowie die Konzeptdarstellung sind in Abbildung 33 zu sehen.

6.3.2 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Der Versuch fand in einem BMW X5 Versuchsfahrzeug mit ansteuerbarem Head-Up Display statt, der auch schon in den Versuchen von Miličić (2010) verwendet wurde. Das Serien-HUD hatte eine Auflösung von 480x240 px auf einer Größe von etwa 20x10 cm. Technisch waren nur die Farben Rot, Gelb und Orange möglich. Als Versuchsumgebung wurde eine Tiefgarage gewählt, da es hier zum einen möglich war größere Bereiche abzusperren und den Aufbau vor Veränderung zu schützen und zum anderen die Lichtverhältnisse kontrolliert zu halten. Die Durchführung war somit unabhängig vom

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Wetter und bspw. direkter Sonneneinstrahlung auf dem Head-Up Display. Das Fahrzeug wurde ca. 4,50 m vor einer Leinwand abgestellt, was dem 85th Perzentil der Länge eines Kompaktwagens von 2010 (Schuster, Sattler, & Hoffmann, 2011) entspricht und dadurch den Abstand bei einer Folgefahrt in der Stadt bei geringer Geschwindigkeit simuliert.

Abbildung 34 zeigt außerdem alle weiteren Aufbauten und Abmessungen der Versuchsumgebung. Weitere Bestandteile des Aufbaus waren ein einfaches Tastenfeld mit vier Richtungspfeilen im Fahrzeug auf der Armlehne der Fahrertür sowie ein Joystick in der Mittelkonsole. Über eine Leuchtdichtemessung wurde zu jederzeit gewährleistet, dass sich die Probanden im photopischen Sehen (Tagsehen) befanden ($>3 \text{ cd/m}^2$). Eine weitere Übersicht des Aufbaus sowie der Bedienelemente können Abbildung 35 entnommen werden.

Die Untersuchung war in zwei Teilversuche unterteilt. Zum einen wurde die Okklusionstechnik angewendet (DIN EN ISO 16673). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass diese Technik eine valide, zuverlässige und geeignete Methode zur Bewertung von verschiedenen Design-Konzepten auch im Fahrzeugkontext ist (Baumann, Keinath, Krems, & Bengler, 2004; Gelau, Henning, & Krems, 2009; van der Horst, 2004; Noy, Lemoine, Klachan, & Burns, 2004). Okklusion wird oft als universelles Werkzeug zur Messung der Reaktionszeit und Genauigkeit beim Ablesen von MMI Displays genutzt. Die Methode beurteilt dabei u.a. die visuelle Beanspruchung einer Aufgabe. Die unabhängigen Variablen sind hierbei die Anzeigedauern des jeweiligen Stimulus sowie die Pausenzeiten zwischen den einzelnen Stimuli (Baumann et al., 2004). In diesem Versuch wurde keine Shutterbrille verwendet, sondern die Anzeigezeiten auf dem Display wurden limitiert.

Der andere Versuchsteil bestand aus zwei parallelen Aufgaben. Die Hauptaufgabe stellte eine kontinuierliche Trackingaufgabe (Continuous Tracking Task - CTT) dar, während die Nebenaufgabe eine Entscheidungs-Reaktionszeit-Aufgabe (Choice - Reaction Time - CRT) (Yellott, 1971) umfasste (vgl. Abbildung 36).

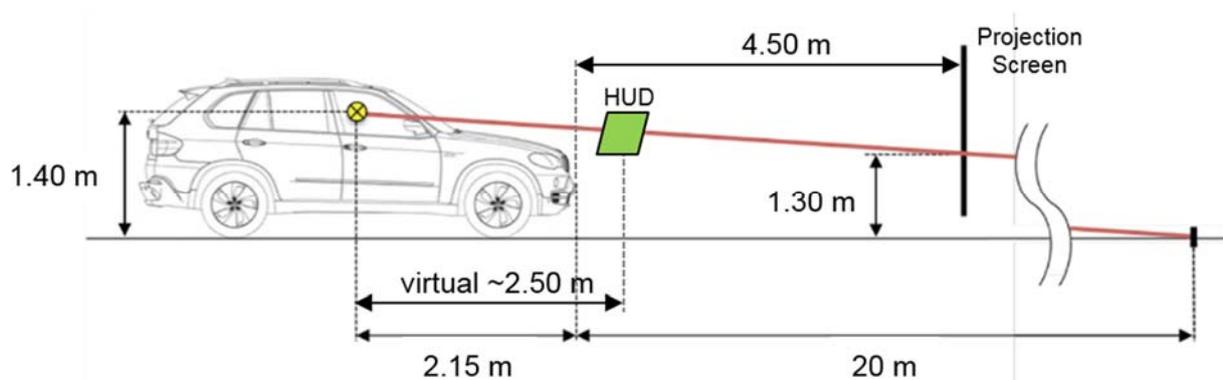


Abbildung 34: Aufbau und Abmessungen (inkl. virtueller Abstände) der Versuchsumgebung zwischen dem Fahrzeug, dem Head-Up Display sowie der Leinwand (Götze, Schweiger, Eisner, & Bengler, 2016)



Abbildung 35: Versuchsfahrzeug positioniert vor der Projektionsfläche (links); das Tastenfeld zur Steuerung der CRT auf der Armlehne der Fahrertür (unten rechts) und der Joystick in der Mittelkonsole zur Steuerung der CTT (unten links); beispielhafte Darstellung der CTT (oben)

Die CTT (Eichinger, 2011) simuliert eine Fahrzeugführung durch eine zweidimensionale Folgeaufgabe, bei der ein Fadenkreuz zufällig in X- und Y-Richtung regelt (Abbildung 35 oben). Der Nutzer muss das Fadenkreuz mithilfe des Joysticks zur Mitte der Fläche bewegen, da es sich sonst immer weiter den Rändern nähert. Bei der CRT können die Anzeigzeit, Zeitintervalle zwischen den Anzeigen und der Anzeiginhalt als unabhängige Variable verändert werden. Für die Versuchspersonen kommt es bei der Aufgabenerfüllung zu einem „Speed-Accuracy Tradeoff“ (vgl. Wickelgren, 1977), bei dem die Probanden sich zwischen einer hohen Genauigkeit bei der Ausführung der korrekten Reaktionen und der Ausführungszeit entscheiden müssen. Dadurch eignet sich diese Methode sehr gut für den Vergleich unterschiedlicher Designkonzepte, da mehrere Dimensionen der Aufgabenerfüllung betrachtet werden.

Stimuli

Einige der verwendeten Stimuli in der monochromen Version sind in Abbildung 36 zu sehen. Die dargestellten Informationen der Nebenaufgabe im HUD waren dabei in drei unterschiedliche Kategorien unterteilt, die jeweils andere Reaktionen des Probanden erforderten. Für die angezeigte „Geschwindigkeit“-Kategorie war für die richtige Reaktion das Ablesen der aktuellen Geschwindigkeit sowie der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erforderlich. Es musste hier vom Probanden entschieden werden, ob man sich über oder unter der erlaubten maximalen Geschwindigkeit befindet und diese Antwort über das Tastenfeld eingeben. Für die Kategorie der „Navigation“ waren wieder zwei abzulesende Informationen erforderlich. Zum einen wurde nach der Richtung des Pfeiles gefragt und zum anderen nach dem Abstand zur nächsten Navigationshandlung. Für die letzte Kategorie der „Warnung“ war die Art der Reaktion nicht entscheidend. Hier ging es nur um eine schnelle Reaktionszeit,

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

sobald die Information präsentiert wurde. Von der Zeichen- und Symbolgröße gab es zwischen den einzelnen Konzepten kleinere Abweichungen. Unabhängig davon wurde stets die in der ISO 15008 erforderliche Mindestgröße von $0,2^\circ$ erfüllt. Wie bereits vorher erwähnt, gab es von beiden Versionen auch farbige Varianten (vgl. u.a. Abbildung 32), mit der die Einflüsse der Farbe der Darstellung auf Ablesezeit und Genauigkeit beim Ablesen untersucht werden sollten. Insgesamt wurden bei der CRT Aufgabe fünf unterschiedliche Stimuli mit jeweils zwei Varianten verwendet. Diese wurden den Probanden in acht Durchgängen auf dem HUD präsentiert, so dass man pro Proband und Anzeigedesign auf 80 präsentierte Stimuli kommt. Die Anzeigzeit betrug 1500 ms in denen die Versuchsperson reagieren musste, bevor dieser Stimuli als „Miss“ gewertet wurde. Zwischen den einzelnen Stimuli variierte die Zeit zwischen 3000, 5000 oder 7000 ms.

Für die Okklusionsaufgabe wurden dieselben zuvor genannten Kategorien und Stimuli verwendet. Lediglich die Kategorie der „Warnung“ entfiel, da im Versuchsteil mit Okklusion keine Reaktionszeiten, sondern nur richtige oder falsche Antworten gemessen werden sollten. Bei der Okklusionsaufgabe gab es drei verschiedene Stimuli in vier Variationen, die in drei Durchgängen pro Konzeptentwurf präsentiert wurden. Dies ergab eine Gesamtanzahl von 36 Stimuli pro Proband und Konzept. Den Versuchspersonen wurde zuerst die Frage zum angezeigten Stimulus für 3000 ms auf der Leinwand vorm Fahrzeug präsentiert. Anschließend erschien für 2000 ms ein Fixationskreuz erneut auf der Leinwand. Hierauf folgte der Stimulus für 200, 250 oder 300 ms im Head-Up Display. Die anfängliche Frage wurde jetzt wiederholt angezeigt und der Proband hatte Zeit zum Antworten. Der Ablauf ist in Abbildung 37 dargestellt.

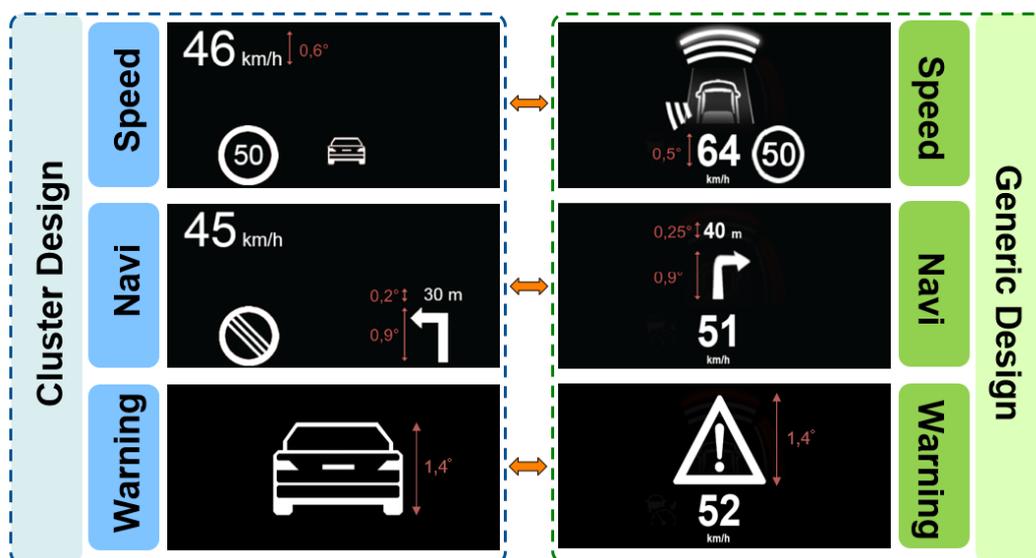


Abbildung 36: Beispiele der verwendeten Stimuli in den unterschiedlichen Kategorien für das jeweilige Designkonzept. Die linke Variante beruht auf einer Version von Breisinger (2007). Die generische bzw. handlungszentrierte Version (rechts) verfolgt einen neuen Ansatz.

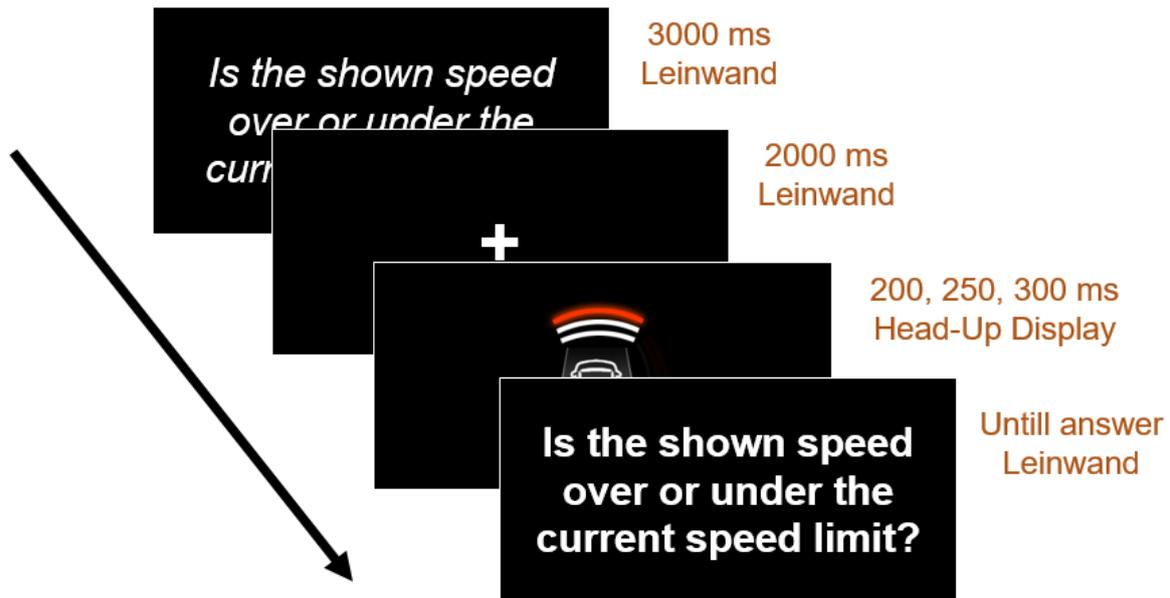


Abbildung 37: Zeitlicher Ablauf der Okklusionsaufgabe mit den einzelnen Anzeigzeiten und Darstellungsorten für die Aufgabe

6.3.3 Hypothesen

Bei diesem Versuch sollen Ablesegenauigkeit und Reaktionszeit mithilfe der Okklusion und CRT zwischen zwei Anzeigekonzepten für das Head-Up Display untersucht werden. Es wird wieder nur die H1 Hypothese formuliert. Weitere Hypothesen, die hier nicht dargestellt wurden, sind in den Arbeiten von Schweiger (2015), Eisner (2015) und Götze et al. (2016) zu finden.

- I. Durch das generische Anzeigekonzept erhöht sich die mittlere Genauigkeit beim Ablesen der auf dem HUD dargestellten Informationen bei der CRT.
- II. Die mittlere Reaktionszeit der CRT ist auf Informationen im HUD beim generischen Anzeigekonzept schneller.
- III. Bei der Okklusionsaufgabe erhöht sich unter Okklusionsbedingungen die mittlere Ablesegenauigkeit der angezeigten Informationen im handlungszentrierten Designkonzept im Vergleich zum Baseline-Anzeigekonzept.
- IV. Die subjektiv bewertete Usability (PSSUQ) ist für das generische und handlungszentrierte Konzept besser als die des Baseline-Konzepts (mit dem Cluster-Design).

6.3.4 Ergebnisse

Zum Überprüfen der Hypothesen wurden wieder t-Tests durchgeführt. Da im Versuch alle Probanden jedes der beiden Designkonzepte erlebt haben, wird ein t-Test für abhängige Stichproben verwendet. Die Daten lassen sich so paarweise vergleichen (Kuckartz, Rädiker, Ebert, & Schehl, 2013). Alle Daten waren dabei normalverteilt.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Probandenkollektiv

An dem Versuch nahmen insgesamt 35 Probanden (11 Frauen, 20 Männer, 4 Vorversuchspersonen) teil. Vier der Probanden durchliefen nur einen Vorversuch, um verschiedene Parameter wie Anzeigedauern und Versuchsabläufe zu verfeinern. Diese werden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Bei einem Probanden kam es zudem zu technischen Problemen bei der Okklusionsaufgabe. Daher wird der genannte Proband nur für die Auswertung der CRT Aufgabe berücksichtigt. Die Versuchspersonen waren zwischen 18 und 52 Jahren alt ($M = 27,1$ Jahre; $SD = 9,6$). Alle Probanden bestanden den vorangegangenen Visustest ($M = 0,9$ visus), um mögliche Artefakte durch Sehschwächen auszuschließen.

Choice Reaction Time Task

Die mittlere Genauigkeit wurde für 31 Probanden über alle drei Stimuli-Kategorien berechnet. Die Genauigkeit wurde dabei unabhängig von der Reaktionszeit der Antwort gewertet, sofern der Proband in den 1500 ms reagierte. Die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 25 aufgelistet. Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden; $t(30) = 1.6911$, $p = .101$. Deskriptiv ist die Genauigkeit beim neuen Designkonzept 2 % höher und die Standardabweichung geringer. Dies lässt die Vermutung zu, dass bei einer größeren Stichprobe Unterschiede gefunden werden könnten.

Tabelle 25: Mittlere Antwortgenauigkeit für die beiden Designkonzepte bei der CRT Aufgabe.

	Cluster Designkonzept (Baseline)	Generisches Designkonzept
Mittelwert	89,24 %	91,37 %
SD	7,1 %	5,5 %
t-Test	$t(30) = 1.6911$; $p = .101$	

Tabelle 26: Mittlere Reaktionszeiten für die beiden Designkonzepte bei der CRT Aufgabe.

	Cluster Designkonzept (Baseline)	Generisches Designkonzept
Mittelwert	954,9 ms	907,9 ms
SD	69,7 ms	64,9 ms
t-Test	$t(30) = 6.5071$; $p < .001$	

Tabelle 27: Mittlere Genauigkeit (und Standardabweichung) der Reaktionen für alle drei Kategorien des Anzeigehaltes für die Choice-Reaction-Time Aufgabe.

	Geschwindigkeit	Navigation	Warnung
Cluster (Baseline)	80,1 % (14,7)	95,3 % (6,5)	95,8 % (7,2)
Generisch	82,3 % (12,0)	96,2 % (4,2)	98,4 % (6,8)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Weiterhin wurden die Reaktionszeiten auf die dargestellten Stimuli für alle Probanden und Kategorien berechnet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 26 zu finden. Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Designkonzepten in Bezug auf die Reaktionszeiten gefunden. Reaktionen erfolgten signifikant schneller mit dem generischen Designkonzept; $t(30) = 6.5071$, $p < .001$. Zusätzlich wurde die Genauigkeit für die drei individuellen Kategorien berechnet, um mögliche darstellungsspezifische Unterschiede zu finden. Dafür wurde eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Mauchly's Test zeigte eine eventuelle Verletzung der Sphärizität; $X^2(2) = 6.591$, $p = .037$. Die Freiheitsgrade wurden daraufhin korrigiert mithilfe von Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .831$). Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kategorien. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 27 zu finden.

Anschließend wurden auch die Reaktionszeiten für die einzelnen Kategorien berechnet. Auch hier erfolgte wieder eine ANOVA mit Messwiederholung. Die Sphärizität war hier nicht verletzt (Mauchly's Test). Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Anzeigedesigns auf die Reaktionszeiten für die drei Kategorien; $F(1, 30) = 45.495$, $p < .001$. Durch das Ergebnis waren weitere Untersuchungen für jede einzelne Kategorie mit t-Test erforderlich. Die Ergebnisse wurden mithilfe von Holm-Bonferroni korrigiert (Holm, 1979). Alle Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Abbildung 38 zu finden. Es wurde ein signifikanter Unterschied für die Kategorie „Geschwindigkeit“ gefunden; $t(30) = 4.278$, $p < .001$. Weiterhin wurde auch für die Kategorie „Warnung“ ein signifikanter Unterschied ermittelt; $t(30) = 6.189$, $p < .001$. Für die Kategorie „Navigation“ gab es keinen signifikanten Unterschied. Diese Ergebnisse zeigen einen Geschwindigkeitsvorteil beim Ablesen von Informationen für das generische Designkonzept im Vergleich mit dem älteren Clusterdesign.

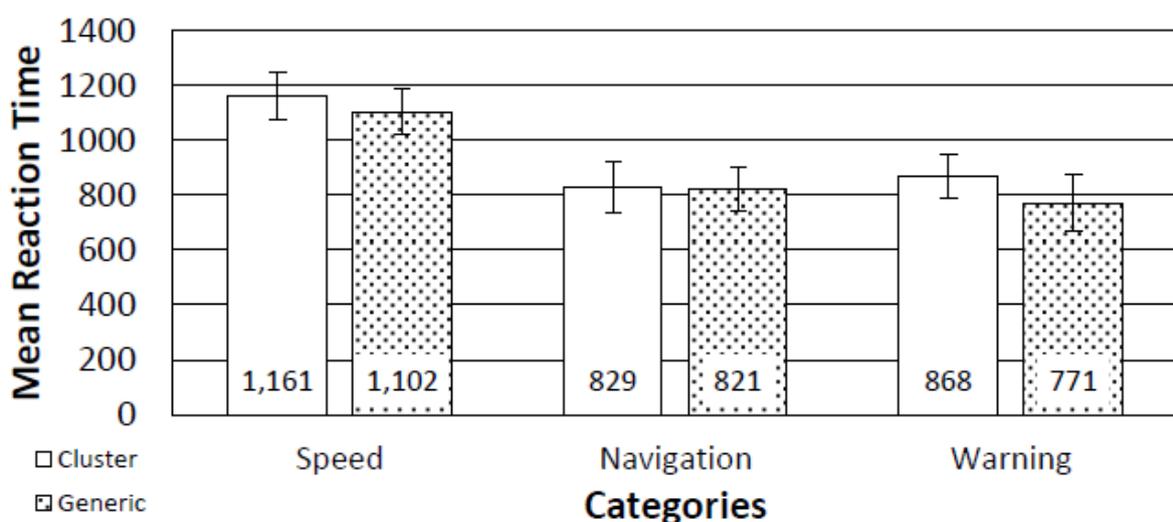


Abbildung 38: Mittlere Reaktionszeiten mit Standardabweichung für die drei Informationskategorien „Geschwindigkeit“, „Navigation“ und „Warnung“ (aus Götze et al., 2016)

Okklusionsaufgabe

Die mittlere Genauigkeit bei den Antworten auf die Okklusionsaufgabe wurde für 30 Versuchspersonen und alle drei Okklusionszeiten berechnet. Keine Antwort oder eine falsche Antwort wurden als Fehler gewertet. Um mögliche Unterschiede zu ermitteln wurde ein t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 28 zu finden. Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

Weiterhin wurde die mittlere Genauigkeit der Antworten bei beiden Designkonzepten für jede der Okklusionszeiten separat berechnet. Eine ANOVA mit Messwiederholung wurde ausgeführt. Mauchly's Test zeigte keine Verletzung der Sphärizität. Es wurden keine signifikanten Effekte gefunden. Alle Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Abbildung 39 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ablesbarkeit von Informationen im Versuch unabhängig vom jeweiligen Designkonzept war. Für die verschiedenen Okklusionszeiten wurde ein signifikanter Haupteffekt gefunden; $F(2, 28) = 10.945, p < .001$. Dieser Effekt ist auch aus vorangegangenen Studien bereits bekannt (vgl. Götze, Conti A.S., Keinath, Said, & Bengler, 2014) und trat unabhängig von den beiden Designkonzepten auf.

Tabelle 28: Mittlere Genauigkeit (und SD) beim Ablesen von Informationen dargestellt mit den beiden Designkonzepten bei der Okklusionsaufgabe.

	Cluster Designkonzept (Baseline)	Generisches Designkonzept
Mittelwert	77,7 %	78,1 %
SD	9,9 %	10,2 %

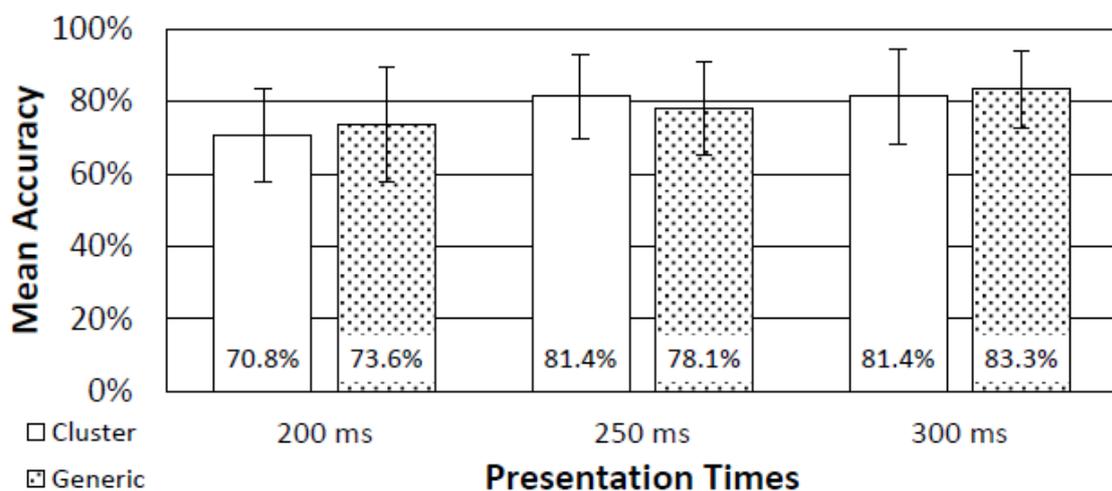


Abbildung 39: Mittlere Genauigkeit und Standardabweichung für die einzelnen Okklusionszeiten beim Ablesen der Informationen für das jeweilige Designkonzept (Götze et al., 2016)

Subjektive Daten

Für den PSSUQ zur Bewertung der Usability wurden die Mittelwerte von allen 19 Fragen für 30 Probanden berechnet. Ein geringerer Wert beschreibt hier eine bessere Usability. Für das Cluster-Design ergab sich ein Ergebnis von 2,33 mit einer Standardabweichung von 0,83. Das neue generische Konzept erzielte insgesamt 2,70 ($\pm 1,23$). Der anschließende t-Test zeigte kein signifikantes Ergebnis; $t(29) = 1.7092$, $p = .0981$. Die Usability wurde deskriptiv für das generische Designkonzept eher schlechter bewertet. Statistisch konnte aber kein Unterschied nachgewiesen werden.

6.3.5 Zusammenfassung

Ziel des Versuches war es, ein neues handlungszentriertes Anzeigekonzept zur Darstellung von Informationen für das Head-Up Display zu testen und mit vorhandenen Serienentwürfen zu vergleichen. Für die Untersuchung wurde eine Choice-Reaction-Time Aufgabe sowie ein Okklusionsversuch verwendet. Diese bewerten die Genauigkeit beim Ablesen von Informationen und die Reaktionszeit mit der dies erfolgt.

Die erste Hypothese postulierte eine höhere Genauigkeit beim Ablesen bei der CRT Aufgabe beim neuen Designkonzept. Dies kann teilweise bestätigt werden. Die Genauigkeit mit dem neuen Konzept war 2 % höher als mit dem Baseline-Konzept. Der Unterschied hier ist aber nicht signifikant und sollte nicht überbewertet werden. Bei den Reaktionszeiten auf dargestellte Informationen hingegen schneidet das neue Anzeigekonzept deutlich besser ab. Die mittleren Reaktionszeiten, unabhängig von den einzelnen Kategorien, sind signifikant schneller beim neuen Konzeptentwurf. In den Kategorien „Geschwindigkeit“ und „Warnung“ wurden ebenfalls signifikante Geschwindigkeitsvorteile beim korrekten Ablesen der Informationen gefunden. Dies ist vermutlich der Zentralisierung der wichtigen Informationen zuzuschreiben, wodurch ein Scannen der benötigten Hinweise obsolet wird. Der Geschwindigkeitsvorteil bei Reaktionen auf die Warnsymbole ist wahrscheinlich der Darstellungsart geschuldet, da das aus dem Straßenverkehr bekannte Warnschild mit Ausrufezeichen eine deutlich höhere Kritikalität signalisiert als ein Fahrzeugsymbol. Betrachtet man die Reaktionszeiten absolut so finden sich für beide Konzeptvarianten korrekte Reaktionen nach einer Zeit im Mittel von knapp unter 1 s auf visuell präsentierte Informationen im HUD während der Durchführung einer Hauptaufgabe. Dies ist für fast alle Empfehlungen von FAS bei der Fahrt im Stadtverkehr ausreichend. Kritischere Szenarien können zusätzlich durch multi-modale Lösungen unterstützt werden, indem bspw. Warntöne die visuellen Informationen ergänzen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Okklusionsaufgabe, fällt auf, dass es zwischen den Konzepten kaum Unterschiede gab. Beide Head-Up Designs zeigten ca. 78 % richtige

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Antworten global über alle drei Okklusionszeiten gemittelt. Das heißt, mit kurzen Blicken auf das HUD, wie das während der Stadtfahrt üblich ist, können unabhängig von den beiden Darstellungsarten gleich gut Informationen abgelesen werden.

Bei der subjektiven Bewertung zeigte sich ein gegenteiliges Bild zu den Ergebnissen der CRT Aufgabe. Obwohl Probanden hier schneller und genauer Informationen mithilfe des handlungszentrierten Konzeptes ablesen, konnte keine bessere Usability nachgewiesen werden. Gründe dafür fanden sich bei der anschließenden qualitativen Befragung. Ein Teil der Probanden berichtete, dass es im Clusterdesign einfacher war Informationen zu lokalisieren, da diese immer einen festen Platz hatten. Andere bemängelten die sehr gepackte und zentralisierte Darstellungsart des generischen Designs, bei der es teilweise schwer war Informationen voneinander zu unterscheiden.

Obwohl die subjektiven Befragungen teilweise den objektiven Messungen widersprechen, so zeigen sie doch, dass das neue Designkonzept zusätzliches Verbesserungspotenzial aufweist und diese Art der Darstellung nicht die finale Lösung sein kann. Beide Konzepte zeigten im Versuch sowohl Vor- als auch Nachteile. Es gilt weiterhin zu berücksichtigen, dass der integrative Charakter und die Erweiterbarkeit des Konzeptes gewährleistet werden sollten. In der Untersuchung war sowohl die Menge der gleichzeitig dargestellten Informationen sowie die Auswahl der präsentierten Informationen begrenzt, was bei der Betrachtung der Ergebnisse zusätzlich beachtet werden sollte. In diesem Versuch konnten zudem in keinem der beiden Versuchsteile Unterschiede zwischen der monochromen Version und der farbigen Darstellung gefunden werden. Unabhängig davon sollte die Farbdarstellung von Informationen trotzdem weiterhin berücksichtigt werden, da mit ihr bei größerem Informationsumfang zum einen die Kodierung von ähnlichen Informationen möglich ist (bspw. alle Navigationshinweise in einer Farbe) und zum anderen eine unterschiedliche Kritikalität visualisiert werden kann (bspw. gelb = Achtung; rot = Gefahr). Das optimale Konzept für Empfehlungen im Head-Up Display ist demnach eine Mischung aus den beiden betrachteten Darstellungsarten. Es sollte u.a. die bewährte Clusterung der Informationen beibehalten werden, um eine Lokalisierung der Informationen zu gewährleisten, aber zusätzlich den zentrierten Charakter der angezeigten Informationen berücksichtigen, der Informationen und Empfehlungen handlungsorientiert aufbereitet unabhängig vom jeweiligen Fahrerassistenzsystem. Sinnvoll ist es daher, eine kombinierte Variante der Head-Up Display Designkonzepte in ein Gesamtkonzept inklusive des MMI des Kombiinstrumentes und des Feedbacks durch das Aktives Gaspedal zu implementieren und die Gebrauchstauglichkeit, gewonnene Sicherheit und Usability des MMI im Simulator weiter iterativ zu bewerten.

6.4 Experiment 3: Ableitung und Evaluation des weiterentwickelten MMI-Konzeptes im statischen Fahrsimulator

Die bisherigen Versuche haben gezeigt, dass in einem generischen Gesamtkonzept Potenzial zur verbesserten Fahrerunterstützung im so komplexen urbanen Raum besteht. Der erste Entwurf brachte gute Erkenntnisse im Simulator (vgl. Kapitel 6.2), zeigte aber auch einige Limitationen des Konzeptes, vor allem für Meldungen im Head-Up Display, auf. Im anschließenden Realversuch (vgl. Kapitel 6.3) wurden neue Ideen umgesetzt und eine generische und handlungszentrierte Variante präsentiert, die deutliche Vorteile bei der Ablesegeschwindigkeit hatte, aber darüber hinaus an Grenzen der Übersichtlichkeit stieß, vor allem mit dem Hintergedanken, dass weitere Empfehlungen neuer FAS an den Fahrer in das Anzeige-Konzept integriert werden sollen. Für die weiterführende Evaluation wurde das System daher um weitere Assistenzsysteme ergänzt, die Darstellungsart im HUD und Kombiinstrument aufgrund der bisherigen Ergebnisse iterativ angepasst und ein Simulatorexperiment implementiert, welches in zwei Teile untergliedert wurde. Im ersten Versuch sollte sich auf FAS die den Fahrer in Längsrichtung unterstützen und im Weiteren auf Handlungsempfehlungen in Querrichtung durch das MMI konzentriert werden. Bei zu vielen gleichzeitig in das Mensch-Maschine-Interface integrierten Systemen ist es schwierig, die objektiven Messdaten und Ergebnisse der Befragung spezifischen Darstellungsinhalten und Präsentationszeitpunkten zuzuordnen. Als nächster Schritt des iterativen Prozesses wird die nächste Evaluationsphase demzufolge aufgeteilt, um Artefakte und andere Nebeneffekte möglichst gering zu halten.

6.4.1 Mensch-Maschine-Interface

Um das Potenzial des erweiterbaren Interaktionskonzeptes optimal zu evaluieren, wurden zusätzliche Assistenzsysteme integriert. Tabelle 29 zeigt die verwendeten Systeme in den beiden Versuchen zur Unterstützung des Fahrers in Längs- und Querrichtung.

Tabelle 29: Implementierte Fahrerassistenzsysteme zur Unterstützung in Längs- und Querrichtung

Querrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Spurverlassenswarner • Engstellenassistent • Kreuzungsassistent • Fahrstreifenwechselassistent
Längsrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Überholassistent • Geschwindigkeitsassistent • Grüne-Welle-Assistent • Warn- und Bremsassistent

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Nach den Ergebnissen aus der ersten und zweiten Evaluationsphase wurden die folgenden Änderungen für das Mensch-Maschine-Interface im HUD abgeleitet:

- Eine erneute leichte Erhöhung der Schriftgröße der Geschwindigkeitsanzeige
- Änderung der vertikalen Position der Geschwindigkeit, um so das Blickfeld des Fahrers näher an den Horizont anzupassen
- Verkehrszeichenerkennung nach unten verlegt, da farbige Symbole, die dynamisch erscheinen, auch peripher sehr gut wahrgenommen werden
- Generische Anzeigevariante für die unterschiedlichen FAS in das mittlere Cluster verschoben, um die handlungszentrierten Informationen in Richtung der Sichtachse des Fahrers darzustellen
- Dadurch eine horizontale Verschiebung der Navigation vom mittleren ins rechte Cluster
- Anpassung einiger Farben und Änderung zur Mehrfarbigkeit des FAS-Clusters
- Ego-Fahrzeug im FAS-Cluster wird, aus vorher genannten Gründen, nur noch angeschnitten auf einem Fahrstreifen dargestellt

Durch diese Änderungen sollte sich die Ablesbarkeit auch bei hohen Informationsdichten auf dem Display sowohl von der Genauigkeit als auch von der Ablesegeschwindigkeit her verbessern. Ein Vorher-Nachher-Vergleich ist in Abbildung 40 dargestellt. Wie in den vorherigen Entwürfen steht die Darstellung der Navigationsempfehlungen außen vor und wird deshalb von der Darstellungsart her beibehalten. Das mittlere Cluster enthält die generischen FAS Informationen. Abbildung 41 zeigt die unterschiedlichen Darstellungsarten. Die Anzeige ist dabei relativ detailarm gehalten und fungiert als ergänzende Erklärung zum Feedback des Aktiven Gaspedals abhängig vom erkannten Objekt (bspw. LSA), welches Änderungen in der Längsdynamik erfordert und über Druckschwellen, Druckpunkte und Gegendruck eine Geschwindigkeitsanpassung empfiehlt. Die obere Reihe zeigt die Empfehlungen in Längsrichtung: Abstandsassistent, Ampelassistent, Geschwindigkeitsassistent sowie eine Warnung des Überholassistenten (von links nach rechts), die im Gegensatz zu den anderen FAS in Rot gestaltet ist, da sie eine kritische und sicherheitsrelevante Situation darstellt. In der unteren Reihe sind die Assistenzsysteme in Querrichtung aufgeführt mit dem Engstellenassistent, Kreuzungsassistent, Spurverlassenswarner und dem Fahrstreifenwechselassistent.

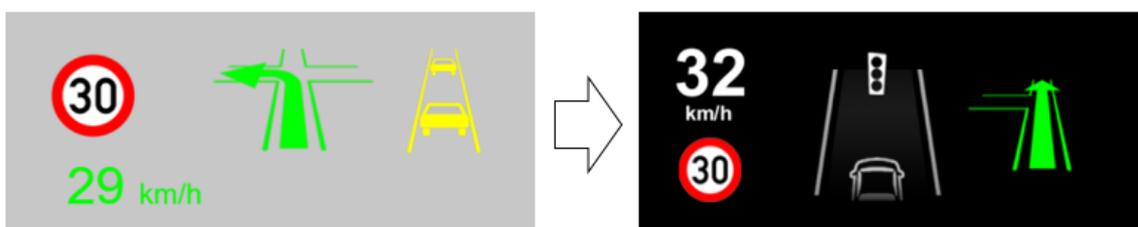


Abbildung 40: Änderungen im Head-Up Display Darstellungskonzept vom ersten Entwurf (links) zur verbesserten Version (rechts) mit generischer FAS Information im Zentrum

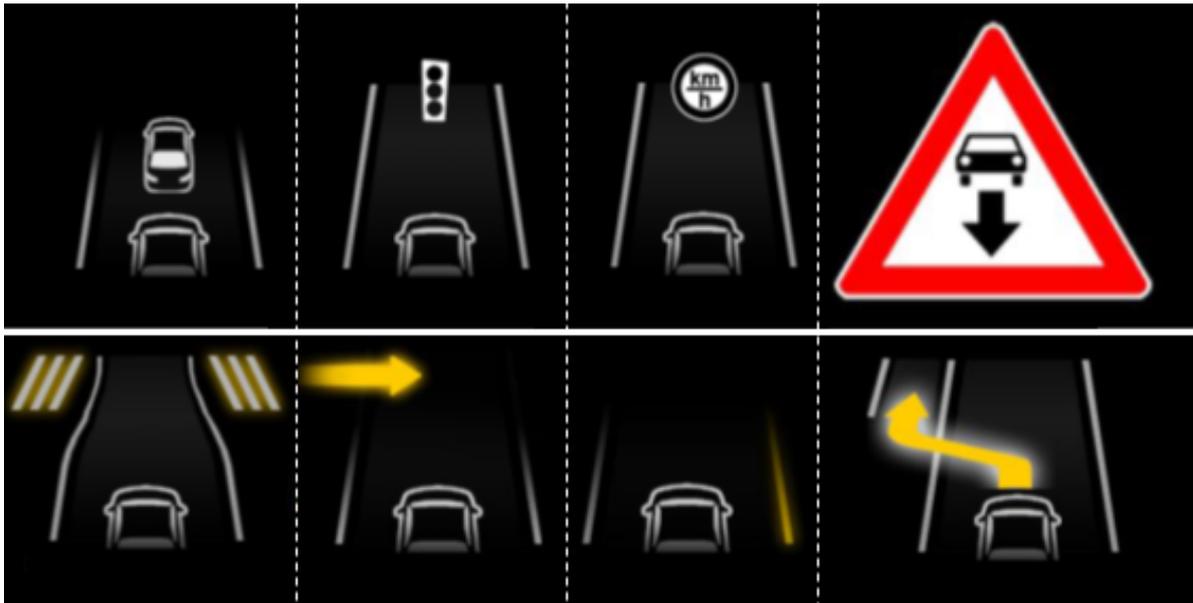


Abbildung 41: Unterschiedliche Darstellungsarten der generischen FAS im mittleren Cluster des Head-Up Displays für Empfehlungen in Längsrichtung (oben) sowie Querrichtung (unten)



Abbildung 42: Beispielhafte Darstellung des Designs im Kombiinstrument mit aktivem Abstandswarner und der Verkehrszeichenerkennung. Im oberen Bereich des Displays können zusätzlich Navigationsempfehlungen eingeblendet werden.

Das MMI des Kombiinstrumentes wurde ebenfalls überarbeitet und der Darstellungsart des Head-Up Displays angepasst. Per Definition (vgl. Anforderung zum Kombiinstrument) sind die hier dargestellten Informationen aber detaillierter und es werden zusätzliche (nicht dynamische) Informationen wie bspw. Statusanzeigen eingeblendet. Die Grunddarstellung ist hierbei wieder das Ego-Fahrzeug (in höherem Detailgrad als im HUD) auf einem Fahrstreifen. Die Darstellung des Fahrzeugs wird ergänzt mit einem äußeren Ring, der Gefahren, die einen Minimalabstand unterschreiten, farblich im jeweiligen Segment hervorhebt. Zusätzlich wird die aktuell erlaubte Höchstgeschwindigkeit dauerhaft im linken Rundinstrument (der Geschwindigkeitsanzeige) dargestellt.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Bei aktivem FAS wird die grundsätzliche Struktur der zentralen Darstellung nicht verändert, sondern betreffend der Empfehlungen an den Fahrer sinnvoll ergänzt, sodass die Bedeutung für den Fahrer intuitiv erkennbar ist. Die Navigationsinformationen werden im oberen Abschnitt zwischen den Fahrtrichtungsanzeigern dargestellt. Abbildung 42 zeigt eine beispielhafte Darstellung für ein erkanntes Vorderfahrzeug, zu dem der Abstand unterschritten wurde. Gleichzeitig wird unabhängig von der eigenen Geschwindigkeit das maximale Geschwindigkeitsgebot von 50 km/h eingeblendet. Im unteren Teil des Displays befinden sich vorhandene aber nicht aktive Statussymbole der FAS (grau) sowie derzeit aktive Systeme (weiß) wie das Aktive Gaspedal.

Die Funktionen hinter den einzelnen Systemen haben sich im Vergleich zu Versuch 1 (Kapitel 6.2.1 und 3.1) nicht oder nur minimal verändert. Detailliert können diese in den Arbeiten von Chen (2015) und Belherazem (2015) nachgelesen werden.

6.4.2 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde wieder im statischen Fahrsimulator (vgl. 6.2.2) durchgeführt. Auch wenn Simulatoren keine reale Abbildung der primären Fahraufgabe darstellen (Arand & Kupke, 1982; Buld & Krüger, 2002), so können sie doch bzgl. der relativen Validität als Plattform zur Versuchsdurchführung herangezogen werden (Negele, 2007), da diese bei geeignetem Versuchsdesign gegeben ist.

Jeder Proband durchfuhr nach einer Einführungsfahrt insgesamt zwei Stadtstrecken (Within-Design) von ca. 15 min, die ähnliche Szenarien in anderer chronologischer Reihenfolge aufwies. Die Reihenfolge der Versuchstrecken wurde dabei für alle Probanden permutiert. Eine der Strecken stellte dabei die Baseline dar, während die andere mit Empfehlungen des integrativen Interaktionskonzeptes durchfahren wurde. Die aktiven Fahrerassistenzsysteme waren auf zwei unterschiedliche Probandenkollektive, abhängig von der Richtung der Empfehlungen im MMI, aufgeteilt. D.h. ein Kollektiv nutzte ein MMI-Konzept mit Empfehlungen in Längsrichtung, während ein anderes Kollektiv von Probanden bei Szenarien in Querrichtung unterstützt wurde. Der Geschwindigkeitsassistent war in beiden Gruppen integriert. Die beiden Strecken pro Kollektiv wiesen außerdem Abweichungen in den Szenarien auf, weshalb die beiden Probandengruppen in der Auswertung unabhängig voneinander betrachtet wurden, da sie weder das gleiche MMI-Konzept nutzten, noch die gleichen Strecken durchfuhren. Die subjektiven Daten aus den Befragungen wurden nach jeder Versuchstrecke erhoben und bezogen sich auf das gerade erlebte MMI. Tabelle 30 zeigt die unterschiedlichen Variationen zum besseren Verständnis. Die Reihenfolge der Durchgänge wurde zusätzlich permutiert.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 30: Matrix der unterschiedlichen Variationen für Strecke, Konzept und Durchgang bei den einzelnen Probandenkollektiven.

	Durchgang 1	Durchgang 2
Proband aus Probandenkollektiv 1 (Studie Querrichtung)	MMI Konzept Querrichtung Strecke A oder B	Baseline ohne Konzept Strecke A oder B
Proband aus Probandenkollektiv 2 (Studie Längsrichtung)	MMI Konzept Längsrichtung Strecke C oder D	Baseline ohne Konzept Strecke C oder D

Weitere Details zu den jeweiligen Strecken, inklusive der Anzahl der einzelnen Szenarien, können für das Interaktionskonzept mit Empfehlungen in Querrichtung der Masterarbeit von Chen (2015) und in Längsrichtung der Diplomarbeit von Belherazem (2015) entnommen werden.

6.4.3 Hypothesen

Die Hypothesen sollten wie schon in der Evaluation des ersten Konzeptentwurfs den Unterschied zwischen der Fahrt mit und der Fahrt ohne Empfehlungen durch das Interaktionskonzept herausstellen. Neben den objektiven Fahrdaten sollten hier erneut auch subjektive Parameter wie die Usability und Beanspruchung gemessen werden. Dazu wurden wiederum die folgenden Fragestellungen formuliert und am Ende bewertet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auch hier nur die H1 Hypothese beschrieben.

- I. Die Geschwindigkeitsempfehlungen des Interaktionskonzepts ermöglichen eine bessere Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit und haben zudem einen reduzierenden Effekt auf den Zeitanteil, in dem mehr als 5 km/h zu schnell gefahren wird.
- II. Mithilfe der Geschwindigkeitsempfehlungen des MMI-Konzeptes werden Geschwindigkeitsvarianzen vor Lichtsignalanlagen verringert und Standzeiten reduziert.
- III. Die Empfehlungen des handlungszentrierten Konzepts haben einen positiven Einfluss auf die Spurhaltequalität der Probanden.
- IV. Die Warnungen und Empfehlungen des Interaktionskonzepts reduzieren die Anzahl an Kollisionen auf der gesamten Strecke.
- V. Bei der Befolgung der Empfehlungen des Interaktionskonzepts werden Gefahrensituationen an Kreuzungen durch Gegen- und Querverkehr reduziert.
- VI. Bei Engstellen reduziert sich durch die Empfehlungen des Interaktionskonzepts die Geschwindigkeit bei der Einfahrt in die kritische Situation.
- VII. Die subjektive Beanspruchung wird trotz zusätzlichem Feedback an den Fahrer durch die Nutzung des integrativen Interaktionskonzepts nicht beeinflusst.
- VIII. Das Interaktionskonzept hat einen positiven Einfluss auf die subjektiv bewertete Usability.

6.4.4 Ergebnisse

Um die Differenzierbarkeit der einzelnen Probandenkollektive bei der Ergebnisdarstellung zu gewährleisten und die Ergebnisse zuordenbar zu machen, werden die Ergebnisse des Versuchs mit Empfehlungen in Längsrichtung (L) und der Versuch mit Handlungsanweisungen in Querrichtung (Q) dementsprechend markiert. Die gezeigten Ergebnisse beziehen sich dann auf das jeweilige Probandenkollektiv (vgl. 6.4.2). Beim Vergleich der einzelnen Fahrten mit und ohne Interaktionskonzept wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Bei einigen Daten sind die Stichprobenumfänge unterschiedlich groß bzw. klein, aufgrund unvorhergesehener Reaktionen der Probanden auf gewisse Szenarien oder fehlenden Daten. In diesen Fällen wurde der U-Test von Mann-Whitney angewendet (Bortz & Schuster, 2010).

Probandenkollektiv

An den Versuchen nahmen $n_Q = 29$ Probanden und $n_L = 30$ Probanden teil. Im Mittel waren die Versuchsteilnehmer 26 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 8 Jahren. Alle hatten den Führerschein für mindestens 5 Jahre und in beiden Fällen hatte knapp die Hälfte bereits Erfahrungen in einem Fahrsimulator und mit der Benutzung eines Head-Up Displays. Bei den Geschlechtern ist eine typische Verteilung für technische Studienrichtungen zu beobachten von ca. 10% weiblichen und 90% männlichen Probanden. Die jährliche Fahrleistung variierte zwischen 500 und 20.000 km pro Jahr, wobei alle Gruppen etwa gleich stark vertreten waren.

Geschwindigkeitsverläufe

Ähnlich der Auswertungen des ersten Simulatorversuches (vgl. 6.2.5) wurden wieder die Zeitanteile der Geschwindigkeitsüberschreitungen von mindestens 5 km/h betrachtet und zwischen der Baseline und der Fahrt mit den Empfehlungen des Interaktionskonzepts verglichen. Für beide Versuche (da der Geschwindigkeitsassistent in beiden Untersuchungen implementiert wurde) konnten signifikante Unterschiede gefunden werden. Wurde die zuvor genannte Unterstützung des Fahrers durch das MMI Gesamtkonzept realisiert, so gab es deutlich weniger Überschreitungen der erlaubten Geschwindigkeit. Tabelle 31 zeigt die Daten aus dem Versuch „Querrichtung“. Im Versuchsteil „Längsrichtung“ wurden ebenfalls signifikante Unterschiede gefunden. Die einzelnen Werte sind in Tabelle 32 zu finden.

Neben den Funktionssicherheitsaspekten wurde das MMI-Konzept im Versuch „Längsrichtung“ auch auf Fehlerrobustheit anhand von falsch ausgegebenen Informationen untersucht. In einer 30er Zone erfolgte dabei ein Nichterkennen dieses reduzierten Bereiches durch die Verkehrszeichenerkennung. Zusätzlich übermittelten das Aktive Gaspedal sowie

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

das Kombiinstrument ebenfalls weiterhin eine Empfehlung der erlaubten Geschwindigkeit von 50 km/h. Die hier erreichte durchschnittliche Geschwindigkeit wurde in diesem Bereich mit der Baseline-Fahrt ohne Geschwindigkeitshinweise verglichen. Tabelle 33 zeigt den Mittelwert für beide Konditionen sowie die ermittelte Standardabweichung. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Fahrt mit Empfehlungen durch das Anzeigekonzept und der Baseline-Fahrt ohne MMI gefunden. Daraus lässt sich schließen, dass eine gewisse Fehlerrobustheit durch das MMI vorhanden ist und eventuell fehlende Informationen oder Fehlinformationen (bspw. über die aktuell erlaubte Höchstgeschwindigkeit) keine negativen Folgen für den Fahrer hatten.

Tabelle 31: Prozentuale Geschwindigkeitsüberschreitungen von mindestens 5 km/h mit und ohne Unterstützung des MMI Gesamtkonzeptes für die beiden Strecken des Versuches „Querrichtung“

Studie Querrichtung	Strecke 1		Strecke 2	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI
Mittelwert	13,3%	3,9%	15,1%	4,8%
SD	9,0%	3,2%	10,6%	4,2%
t-Test	$U_{Q1} = 32; p = .002$		$U_{Q2} = 42; p = .006$	

Tabelle 32: Prozentualer Anteil der Überschreitungen der erlaubten Geschwindigkeit um 5 km/h oder mehr auf der Gesamtstrecke des Versuches mit und ohne MMI Empfehlungen im Teil „Längsrichtung“

Studie Längsrichtung	Gesamtstrecke	
	Baseline	MMI
Mittelwert	10,9%	1,8%
SD	8,2%	1,9%
t-Test	$T_L(58) = 5.959; p < .001$	

Tabelle 33: T-Test der Mittelwertgleichheit der Geschwindigkeiten innerhalb des Fehlfunktionsabschnittes des MMI Konzeptes im Versuch „Längsrichtung“

Studie Längsrichtung	Gesamtstrecke	
	Baseline	MMI
Mittelwert	38,2 km/h	39,3 km/h
SD	6,5 km/h	5,9 km/h
t-Test	$T_L(28) = 0.46; p = .653$	

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Neben den Fahrdaten durch die Simulation wurden zusätzlich Befragungen zum Geschwindigkeitsassistenten aufgenommen. Auf einer Skala von „trifft absolut nicht zu“ (1) bis „trifft absolut zu“ (5) wurden unter anderem Fragen zur zusätzlichen Anforderung, Belastung, Schwierigkeit und Ablenkung ermittelt. Die wichtigsten Erkenntnisse daraus sind, dass die Nutzer ($n_Q=29$) das System sehr positiv (4,8) bezüglich der Unterstützung beim Einhalten der Geschwindigkeit bewerten. Schwieriges Erlernen (1,6), Stress durch das System (1,9), ungenügende Informationen (1,7) oder zusätzliche Ablenkung (2,2) werden von den Probanden nicht bestätigt und zeigen das Potenzial des MMI Konzeptes. Auch die visuellen Umsetzungen im Head-Up Display und Kombiinstrument (von „hilfreich“ (1) bis „störend“ (5)) wurden für Geschwindigkeitsänderungen (1,7) sowie Geschwindigkeitsüberschreitungen (2,5) positiv bewertet (Chen, 2015).

Grüne-Welle-Assistent

Beim den Empfehlungen des Grüne-Welle-Assistenten sollte für Szenarien an einer Kreuzung mit Lichtsignalanlagen zwischen den Spezifikationen mit und ohne wartende Fahrzeuge unterschieden werden, da diese im Versuchsfall nicht über das Anzeigekonzept verfügten, die Schaltzeiten demzufolge nicht kannten und so Auswirkungen auf den Fahrer hatten. Abbildung 43 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe auf einer Strecke von 400 m mit zwei Lichtsignalanlagen ohne Vorderverkehr. Die Verläufe bestätigen die Ergebnisse aus dem ersten Versuch (vgl. 6.2). Die Varianz der Geschwindigkeiten ist mit Unterstützung des MMI Konzeptes deutlich geringer im Vergleich zur Baseline-Fahrt ohne Interaktionskonzept und reduziert demzufolge den Kraftstoffverbrauch und CO_2 -Ausstoß und ermöglicht zudem einen höheren Durchsatz von Fahrzeugen an der Kreuzung.

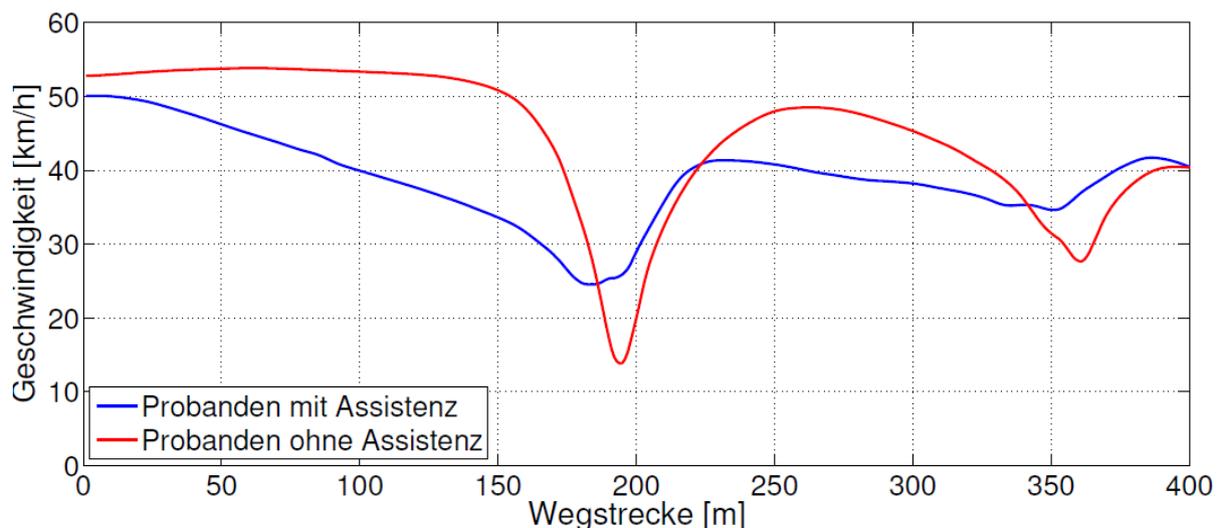


Abbildung 43: Verlauf der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf einer Strecke von 400 m mit zwei Lichtsignalanlagen (bei 200 m und 370 m) ohne wartende Fahrzeuge für den Versuchsteil „Längsrichtung“ (Belherazem, 2015)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 34: Mittlere kumulierte Standzeiten vor Lichtsignalanlagen im Versuchsteil „Längsrichtung“ für Strecke 1 und Strecke 2 für die Fahrten mit und ohne Unterstützung durch das MMI

Studie Längsrichtung	Strecke 1		Strecke 2	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI
Mittelwert	28,60 s	16,36 s	14,32 s	9,16 s
SD	14,97 s	9,73 s	13,18 s	12,20 s
t-Test	$t_{L1}(27) = 2.54; p = .017$		$U_{L2}(26) = 1.08; p = .291$	

Betrachtet man die kumulierten Standzeiten aus dem Versuch „Längsrichtung“, welche bei Reduzierung auf eine Verbesserung der Effizienz und des Verbrauchs hindeuten, zeigten sich signifikante Unterschiede für Streckenteil 1. Bei Strecke 2 traten keine Unterschiede auf. Die exakten Mittelwerte sind in Tabelle 34 zu finden. Ohne die Unterstützung des Interaktionskonzept auf Strecke 1 betrug die mittlere kumulierte Standzeit 28,60 s, während diese mit Empfehlungen zur optimalen Geschwindigkeit bei Annäherung an die LSA mit nur 16,36 s signifikant kürzer ausfiel; $t_{L1}(27) = 2.54, p = .017$. Für die Strecke 2 wurden zwischen der MMI-Fahrt (9,16 s) und der Baseline-Fahrt (14,32 s) keine signifikanten Unterschiede gefunden.

Warn- und Bremsassistent

Zur Bewertung der dargestellten Warnungen des Warn- und Bremsassistenten im Versuch „Längsrichtung“ wurden fünf unterschiedliche Szenarien auf den Strecken definiert, die zwischen plötzlich bremsenden vorausfahrenden Fahrzeugen und plötzlichem Fremdverkehr auf der eigenen Fahrbahn unterschieden werden konnten. Unabhängig vom jeweiligen Szenario konnten für die durchschnittlichen Reaktionszeiten, gemessen zwischen Verzögerungsbeginn des Vorderfahrzeuges und des bewussten Bremsbeginns (>10%) der Probanden, für vier der fünf Szenarien keine Unterschiede festgestellt werden in Abhängigkeit davon, ob der Fahrer zusätzlich durch eine Darstellung im Head-Up Display und Kombiinstrument unterstützt wurde oder nicht. Grund könnte wie schon in vorherigen Untersuchungen sein, dass die Szenarien realitätsnah implementiert wurden und daher teilweise erahnt und Bremsreaktionen noch vor Einblenden des Warnsymbols durchgeführt werden konnten. Trotzdem zeigten sich bei den minimalen TTC-Werten auf kritische Fremdfahrzeuge für zwei der Szenarien signifikant größere Werte durch die Warnungen des MMI Konzeptes (vgl. Belherazem, 2015). Dies könnte auf eine höhere wahrgenommene Dringlichkeit durch den Warnhinweis im Head-Up Display und Kombiinstrument hindeuten, wodurch die Probanden eine größere Verzögerung wählten im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung.

Kreuzungsassistent

Um die Wirksamkeit der Empfehlungen durch den Kreuzungsassistenten im MMI im Versuch „Querrichtung“ zu bewerten, wurden drei kritische Kreuzungsszenarien implementiert. Dabei waren zwei der Szenarien so ausgelegt, dass der Proband mit Querverkehr konfrontiert wurde, der die Vorfahrt missachtete. Im dritten Szenario, in dem der Proband an einer Kreuzung links abbiegen musste, wurde Gegenverkehr mit überhöhter Geschwindigkeit umgesetzt. Bei den genannten Gefahrensituationen durch Querverkehr kam es bei der Fahrt ohne Unterstützung durch das Anzeigeconcept zu 20 Kollisionen, während die Anzahl durch Empfehlungen bzw. Warnungen im MMI auf 6 reduziert werden konnte. Für das Szenario mit Gegenverkehr beim Linksabbiegen traten in keinem der beiden untersuchten Versuchsteile Kollisionen auf.

Betrachtet man zusätzlich die Bewertung der Probanden nach Abschluss der Fahrt zu den Empfehlungen des Kreuzungsassistenten im MMI, so bewerteten diese die dargestellten Informationen als Entlastung, die es ermöglicht, die Gefahren rechtzeitig zu erkennen bei gleichzeitig kaum Ablenkung vom Straßengeschehen und wenig zusätzlicher Belastung.

Engstellenassistent

Zur Bewertung der Darstellung des Engstellenassistenten wurde die Metrik der Geschwindigkeit bei Einfahrt in das kritische Szenario genutzt, da diese ein Maß für die frühzeitige Erkennung der Situation sowie die wahrgenommene Kritikalität darstellt. Hierbei ist eine geringere Geschwindigkeit bei der Einfahrt in die Engstelle positiv zu bewerten. Im vorliegenden Versuch „Querrichtung“ wurden zwei unterschiedliche Szenarien dazu untersucht; eine Engstelle in einer 50 km/h Zone und eine weitere in einer 30 km/h Zone. Für die erstere wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Während in der Baseline-Fahrt eine mittlere Geschwindigkeit bei Eintritt in die Engstelle von 35,9 km/h ($\pm 9,6$) gemessen wurde, zeigte die Variante mit MMI Unterstützung eine Geschwindigkeit von 37,7 km/h ($\pm 10,0$). Bei Betrachtung der Engstelle in der 30er Zone ergaben sich die in Tabelle 35 gezeigten Geschwindigkeiten bei Eintritt in die Engstelle, die einen signifikanten Unterschied aufwiesen. Durch das haptische Feedback des Aktiven Gaspedals an den Fahrer vermittelte das System frühzeitig die Kritikalität der Engstelle und erreichte dadurch einen um 10 km/h verringerten Mittelwert bei gleichzeitig geringerer Standardabweichung. Bei der anschließenden Befragung der Probanden wurde zudem vor allem die verbesserte Erkennung der Gefahrensituation positiv bewertet, während sich der subjektiv bewertete Nutzen der Empfehlungen während der Durchfahrt durch die Engstelle neutral verhielt. Die Probanden wünschten sich hier dynamische Informationen über laterale Abstände des Fahrzeuges zu begrenzenden Objekten.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 35: Vergleich der Geschwindigkeiten bei der Einfahrt in Engstellen in einer 30er Zone mit und ohne Unterstützung des MMI Konzeptes

Studie Querrichtung	Gesamtstrecke	
	Baseline	MMI
Mittelwert	37,92 km/h	27,05 km/h
SD	7,74 km/h	4,91 km/h
t-Test	$T_Q(12) = 3.99; p = .002$	

Weitere getestete FAS

Der im MMI dargestellte Überholassistent lässt keinen weiteren Vergleich zu, da bei allen Probanden und Szenarien insgesamt nur sieben solcher Manöver durchgeführt wurden, wovon keines eine kritische Situation darstellte. Vermutlich erschienen die implementierten Szenarien, in denen Überholvorgänge provoziert werden sollten, den meisten Versuchsteilnehmern zu unsicher, wodurch sie eine langsamere Folgefahrt in Kauf nahmen, bis das jeweilige Vorderfahrzeug abbog. Da die Probanden zudem keine Zeitvorgaben zum Durchfahren der Strecke hatten, ist dies nachvollziehbar.

Ähnliche Resultate zeigten die Empfehlungen des Spurwechselassistenten im MMI. Pro Versuchsfahrt war jeweils nur ein solches Manöver vorgesehen. Da der Assistent und das dazugehörige MMI durch die Betätigung des Fahrriichtungsanzeigers aktiviert wurden und die Mehrheit der Probanden diesen erst betätigten, wenn sie kurz vor Durchführung des Manövers waren und keinerlei Fremdverkehr mehr vorhanden war, erübrigte sich auch hier der Mehrwert der Empfehlungen im MMI-Konzept. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch die anschließenden Befragungen zu den Darstellungsinhalten des Assistenten.

Auch der letzte implementierte Assistent, der eine Warnung beim Verlassen des Fahrstreifens im MMI anzeigte, konnte keinen Mehrwert zur Fahrleistung beisteuern. Der Nutzen in der Stadt war in den gefahrenen Szenarien zu gering und wurde auch von den Probanden neutral bewertet.

Fahrerbeanspruchung

Auch hier wurden in den jeweiligen Versuchsteilen wieder die subjektiven Beanspruchungen für die Fahrt mit MMI Konzept und die der Baseline-Fahrt mit Hilfe des NASA-TLX ermittelt. Die Gesamtwerte der Versuchsfahrt mit Unterstützung des Probanden in Längsrichtung, der Versuch mit Empfehlungen in Querrichtung, sowie die jeweiligen Baselines der beiden Versuche ohne MMI Unterstützung sind in Tabelle 36 dargestellt. Statistisch ergaben sich für beide Versuche keine signifikanten Unterschiede zwischen den

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

einzelnen Durchgängen. Dies zeigt sehr gut, dass mit Hilfe des MMI-Konzeptes trotz der verschiedenen zusätzlichen Informationen eine erhöhte Beanspruchung des Fahrers vermieden werden konnte und damit die Gefahr zusätzlicher Belastung durch die Vielzahl der visuell und haptisch dargestellten FAS unbegründet bleibt.

Usability Bewertung

Die Usability wurde anhand des Fragebogens zur System Usability Scale (Bangor et al., 2008) ermittelt. Er dient in erster Linie dazu, die Gebrauchstauglichkeit zuverlässig und schnell zu bewerten. Dabei berechnet sich für das System am Ende ein Wert zwischen 0 und 100. Als Anhaltspunkte gibt es spezifische Stufen, die bspw. ab 73 Punkten einen guten Wert und ab 85 Punkten einen exzellenten Wert bescheinigen. Weitere Stufen können der Abbildung 44 entnommen werden. Interessanterweise wurden in beiden Versuchen unabhängig von der getesteten MMI Variante (mit empfehlenden FAS in lateraler oder longitudinaler Richtung) beide MMI Systeme im Mittel mit 78 Punkten bewertet (ein Mittelwerte von 78,0 für den Versuch „Querführung“ getestet im Rahmen der MA von Chen (2015) und ein Mittelwert von 77,9 für den Versuch „Längsrichtung“ getestet zusammen mit Belherazem (2015)).

Tabelle 36: Subjektiv empfundene Beanspruchung ermittelt durch den NASA-TLX Overall Workload Index für beide Versuchsteile jeweils mit Vergleich der MMI Variante und der zugehörigen Baseline

	Studie Längsrichtung		Studie Querrichtung	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI
Mittelwert	34,20	31,60	33,16	31,70
SD	14,00	15,00	11,66	12,89
t-Test	$t_{1(28)} = 0.707; p = .485$		$U_{Q(29)} = 1.23; p = .254$	

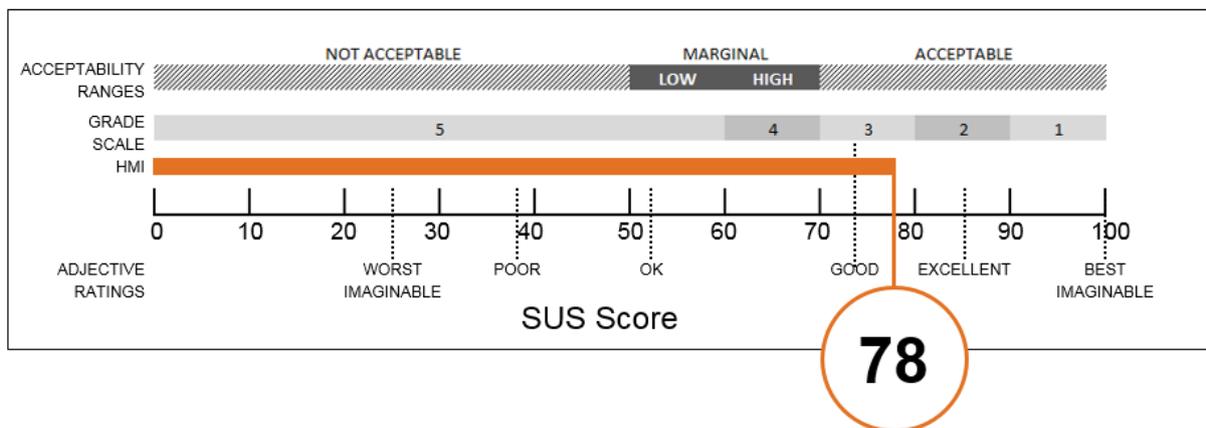


Abbildung 44: Ergebnis des SUS-Fragebogens mit vergleichenden Noten- und Akzeptanzskalen nach Bangor et al. (2008). Das untersuchte Konzept erreichte im Versuch 78 Punkte.

6.4.5 Zusammenfassung

Das ursprüngliche Konzept wurde um weitere Darstellungen verschiedener Assistenzsysteme erweitert und im MMI umgesetzt. Dabei standen weiterhin der handlungsorientierte und integrative Charakter der Anzeige im Vordergrund, der die tatsächlich notwendigen Informationen nutzerzentriert für den Fahrer aufbereitet und ihn bei der primären Fahraufgabe unterstützen soll. Durch die zusätzlichen Anzeigen sollte aber neben der situativen Unterstützung für den Fahrer eine zusätzliche kognitive und visuelle Belastung unbedingt vermieden werden. Der leicht erhöhte Workload der Baseline (vgl. Tabelle 36) in beiden Fällen zeigte aber sehr gut, dass mit Hilfe des neuen Anzeige-Konzeptes eine Unterstützung erreicht wurde und damit die Gefahr zusätzlicher Belastung durch die Vielzahl der visuell und haptisch dargestellten FAS unbegründet blieb. Des Weiteren deuten die sehr ähnlichen Werte des NASA-rTLX bei den beiden getesteten MMI Varianten auf die Homogenität der Darstellung des Gesamtkonzeptes bzgl. der vom Fahrer erforderlichen visuellen und kognitiven Leistung hin unabhängig von den integrierten Assistenzsystemen (vgl. longitudinale/laterale Systeme). Dies ist ein Hinweis auf eine erfolgreiche Umsetzung des generischen Charakters des MMI und bestätigt die vorher getätigte Hypothese zur subjektiven Beanspruchung.

Ausgehend von den weiteren postulierten Fragestellungen konnte auch hier wieder unabhängig von der Strecke ein positiv signifikanter Effekt auf die Geschwindigkeits(ein)haltung durch Empfehlungen des MMI Konzeptes erreicht werden. Zusätzlich zu diesen Ergebnissen berichteten die Probanden vom großen Nutzen und der Einfachheit des Feedbacks durch das Aktive Gaspedal. Ohne Blickabwendung konnten die Informationen zur Reduktion oder Haltung der aktuellen Geschwindigkeit an den Fahrer mit geringstem kognitivem Aufwand übermittelt werden. Auch die Hypothese zur Reduktion von Standzeiten vor Lichtsignalanlagen durch Informationen des MMI sowie einem positiven Effekt auf die Geschwindigkeitsvarianzen konnte bestätigt werden. Probanden standen im Mittel 5 – 12 s länger vor LSA ohne Unterstützung durch das MMI. Zusätzlich zogen fast alle Probanden ein sehr positives Fazit zur Darstellung der Empfehlungen in Längsrichtung.

Für die postulierte Annahme einer verbesserten Spurhaltequalität durch die Assistenz des Fahrers in Querrichtung muss die vorher aufgestellte Hypothese abgelehnt werden. Im Versuch mit Empfehlungen zur Spurhaltung konnte kein signifikanter Einfluss des MMI Konzeptes im Vergleich zur Baseline-Fahrt gefunden werden. Zwar zeigten sich Tendenzen, diese fielen aber u.a. aufgrund der Szenarien-Gestaltung sowie anderen Einflussgrößen eher gering aus. Der Mehrwert dieser Darstellung für den Fahrer auf die Fahrperformance kann im Szenario Stadt hier nicht bestätigt werden. Hierfür wären weitere Untersuchungen mit

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

mehrspurigen Szenarien mit höherer Verkehrsdichte und Fahrstreifenwechsel-Notwendigkeit erforderlich. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich für die visuelle Umsetzung des Warn- und Bremsassistenten. Die Anzahl der Kollisionen konnte zwar deskriptiv leicht reduziert werden, ist aber hinsichtlich der sehr geringen Gesamtanzahl in den Versuchskonditionen nicht aussagekräftig genug, um die Hypothese zu bestätigen. Betrachtet man ausschließlich Gefahrensituationen bzw. Kollisionen im Kreuzungsbereich, bei dem die Probanden mithilfe der Informationen des Kreuzungsassistenten visuell unterstützt wurden, zeigte sich hier eine Reduktion von 20 auf nur noch 6 Kollisionen. Durch das MMI Konzept konnte hier also eine erhebliche Reduktion erreicht werden. Dementsprechend ist die Hypothese zu bestätigen.

Zusätzlich wurde in den vorliegenden Untersuchungen im Nachgang die Usability des Mensch-Maschine-Interfaces mit Hilfe des SUS bewertet, um neben den bekannten objektiven Vorteilen aus diesen und früheren Evaluationen auch die subjektive Gebrauchstauglichkeit des MMI Konzeptes zu quantifizieren. Der SUS Score zeigte mit 78 Punkten im Mittel einen guten Wert und dementsprechend kann auch hier die Hypothese angenommen werden, die dem System eine gute Usability bescheinigt.

Letztendlich bleiben die folgenden Fragestellungen ungeklärt, die mit einem finalen Versuch abschließend abgeprüft werden sollen. Dazu ist es zum einen unbedingt erforderlich, die Gesamtzahl der FAS und dementsprechend ein MMI Gesamtkonzept zu betrachten und zu evaluieren, in welchem alle für das Szenario des urbanen Verkehrs genutzten Systeme zur Unterstützung des Fahrers implementiert werden. Zum anderen waren bisherige Versuche immer auf einen Vergleich mit einer Baseline limitiert, die bis auf die aktuell gefahrene Geschwindigkeit keinerlei Informationen für den Fahrer bereitstellte. Dadurch kann zurecht Kritik an der Evaluierungsmethode erhoben werden, da signifikante Vorteile nicht eindeutig dem MMI zuordenbar sind, auch wenn dies zu jederzeit durch zusätzliche Befragungen versucht wurde zu gewährleisten. Die vorherigen Untersuchungen sollten demzufolge als iterativer Prozess betrachtet werden, bei welchem zwar eine Evaluation der systemergonomischen Darstellung des MMI erfolgte, dieses aber nicht absolut gültig ist. In Experiment 4 sollte daher der Vergleich zwischen zwei Interaktionskonzepten erfolgen, bei denen die hinterlegte Funktion identisch ist und sich einzig und alleine das Anzeigekonzept unterscheidet. Weiterhin waren bisherige Versuche stets ohne Zeitdruck und ohne zusätzliche Beanspruchung des Fahrers (durch weitere externe Faktoren) ausgelegt. Die Ergänzung der Versuchsbedingungen um eine zusätzliche Nebenaufgabe könnte demzufolge weiteren Aufschluss über die Wirksamkeit des Mensch-Maschine-Interfaces unter zeitkritischen oder kognitiv fordernden Bedingungen geben (wie man sie oft im Szenario Stadt antrifft).

6.5 Experiment 4: Evaluation des finalen MMI-Konzeptes

In den vorangegangenen Versuchen wurden nach und nach immer mehr Systeme in das handlungszentrierte Gesamtkonzept integriert und im Szenario des urbanen Raums evaluiert. Ziel dabei war stets die aktuell erforderlichen Informationen handlungsorientiert und zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Ein weiteres wichtiges Ziel umfasste den Anzeigort sowie die Anzeigedauer von Informationen. Durch den integrativen Charakter sollten Redundanzen vermieden werden und die Informationen über die bestmögliche Fahrzeugkomponente abhängig von der Situation an den Fahrer übermittelt werden. Nachdem ein erster Gesamtkonzept-Entwurf in Kapitel 6.2 evaluiert wurde, stand anschließend eine Optimierung der Head-Up Display Anzeigen (vgl. 6.3) im Vordergrund. Um die Erweiterbarkeit und zusätzlich integrierte FAS abzutesten, erfolgte anschließend in Kapitel 6.4 eine getrennte Betrachtung der Unterstützung des Fahrers in Längs- bzw. Querrichtung. Der Vergleich erfolgte stets mit einer Baseline komplett ohne Unterstützung. Da das Kernthema der Arbeit ein MMI-Konzept für das Gesamtsystem betrachtet, werden nun dazu alle umgesetzten FAS für das Szenario Stadt weiter optimiert, erweitert und durch einen Vergleich mit einer reinen Symboldarstellung bei gleichem Funktionsinhalt bewertet. Die Beanspruchung und Usability des MMI-Konzeptes stehen auch hier wieder mit im Vordergrund.

6.5.1 Mensch-Maschine-Interface

Für das Gesamtkonzept werden weiterhin die Komponenten des Head-Up Displays, Kombiinstruments sowie des Aktiven Gaspedals genutzt. Die Detailtiefe folgt dabei dem vorangegangenen Konzept der einfachen Darstellung im HUD, einer detailreichen Version mit Zusatzinformationen im Kombiinstrument sowie einfachen geschwindigkeitsrelevanten Rückmeldungen über das Gaspedal.



Abbildung 45: Beispielfähige Darstellung in den Komponenten im MMI-Konzept mit geclustertem Head-Up Display (oben) sowie dem Bereich zwischen den Rundinstrumenten im Kombiinstrument (rechts)



Abbildung 46: Grunddarstellung des visuellen MMI inkl. der variablen Informationsinhalte sowie dem Darstellungsort. Head-Up Display Inhalte werden mit geringerem Detailgrad und zeitlich begrenzt dargestellt, während die Informationen im Kombiinstrument dauerhaft verfügbar sind.

Da die optimierten Symbol- und Schriftgrößen für die letzte Anzeigevariante positiv evaluiert wurden, erfolgen hier keine weiteren Veränderungen. Am Darstellungsort der einzelnen Elemente wird ebenfalls festgehalten, da sich dieser in den vorherigen Versuchen durch die Wirksamkeit sowie Befragung der Probanden als sehr positiv herausgestellt hat. Ein Beispiel über die Darstellung der visuellen Informationen ist Abbildung 45 zu entnehmen. Außerhalb des zentralen Displays im Kombiinstrument sind nur die Verkehrszeichenerkennung im Geschwindigkeitsmesser sowie die empfohlene Geschwindigkeit (kleiner Pfeil) integriert. Abbildung 46 zeigt die Grunddarstellung des visuellen MMI inkl. der dynamischen Informationen, die situationsbedingt eingeblendet werden.

Die Head-Up Display Darstellung beinhaltet nur die aktuelle Geschwindigkeit im linken Cluster, sofern keines der FAS aktiv ist. Wird ein relevantes Verkehrszeichen erkannt (bspw. Geschwindigkeitsvorgaben) wird dies ebenfalls im linken Cluster im Bereich (1) für 5 s

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

dargestellt sowie dauerhaft (bis das Verkehrszeichen aufgehoben wird) im Kombiinstrument. Im Bereich (2) wird das Ego-Fahrzeug bei aktiver Empfehlung an den Fahrer im HUD und dauerhaft im Kombiinstrument präsentiert. Vor dem Ego-Fahrzeug befinden sich im Bereich (7) erkannte Zielobjekte (bspw. LSA) aufgrund deren eine Empfehlung (z.B. beschleunigen) an den Fahrer übermittelt wird. Sich daraus ergebende Geschwindigkeitsempfehlungen werden mit einem kleinen Pfeil im Bereich (6) im Kombiinstrument visualisiert (und gleichzeitig haptisch mit Hilfe des Aktiven Gaspedals an den Fahrer übermittelt). Der zuvor genannte Ring ist im Bereich (4) dauerhaft verfügbar und ändert beim Unterschreiten bestimmter Abstände zu Objekten dynamisch seine Farbe. Statusinformation, wie bspw. die aktuelle Uhrzeit, der Km-Stand oder verfügbare bzw. aktivierte Systeme, werden im Bereich (5) des Kombiinstrumentes dauerhaft dargestellt. Im letzten Bereich (3) sind Navigationsempfehlungen zu finden, die in geringem Detailgrad visualisiert werden sollten. Diese befinden sich im HUD im rechten Cluster und am oberen Rand des Displays im Kombiinstrument.

Die nachfolgenden Fahrerassistenzsysteme wurden im vorliegenden Versuch implementiert. Ergänzend wurde eine knappe Funktionsbeschreibung sowie die Art der Umsetzung im Mensch-Maschine-Interface beigefügt, die sowohl für das generische MMI-Konzept als auch die Baseline identisch ist:

- Geschwindigkeitsassistent
 - Anzeige der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Änderungen im HUD für 5 s und im Kombiinstrument dauerhaft
 - Aufblinken der Höchstgeschwindigkeit bei Überschreitung um 8 km/h
 - Antizipierende Anpassung des Druckpunktes im AG (nicht in Baseline)
- Verkehrszeichenerkennung
 - Ähnlich wie Geschwindigkeitsassistent
- Grüne-Welle-Assistent
 - Anzeige der Ampelphase beim voraussichtlichen Erreichen der LSA im HUD für 5 s und im Kombiinstrument dauerhaft
 - Zusätzlich kleiner grüner Pfeil (dauerhaft) in Kombiinstrument mit optimaler Geschwindigkeitsempfehlung zum Passieren der LSA
 - Antizipierende Anpassung des Druckpunktes im AG (nicht in Baseline)
 - Anpassung des Zeitabstandes zwischen Umschalten der LSA und dem Passieren auf 3 s
 - Ab 40 m Abstand zur LSA Anzeige der verbleibenden Rot-Phase

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

- Engstellenassistent
 - Anpassung der visuellen Darstellung in HUD und Kombiinstrument im Vergleich zu Kapitel 6.4
 - Darstellung der Engstelle ab 4 s TTC
- Kreuzungsassistent
 - Bewertung der Kritikalität einer Kreuzungssituation nach Mages (2009)
 - Visuelle Darstellung der Gefahrenrichtung in HUD und Kombiinstrument bei Unterschreitung von 3 s TTC
- Abstandswarner mit Notbremsassistent
 - Beibehaltung der Warnkaskade aus Kapitel 6.2 (TTC: 0,9 s > 1,5 s > 2,5 s)

Einige Darstellungen wurden nach den letzten Schlussfolgerungen erweitert bzw. iterativ angepasst. Dazu zählte u.a. die Integration der Ampelschaltung (Farbe) beim voraussichtlichen Passieren der LSA sowie die verbleibende Restzeit für die erkannte Rotphase. Andere Änderungen findet man außerdem bei der Darstellungsart des Engstellenassistenten bzgl. der visuellen Umsetzung und des Zeitpunkts der Darstellung.

Die Priorisierung der angezeigten Informationen erfolgte dabei abhängig von der aktuellen Fahrsituation und nicht nur vom aktiven Assistenzsystem (vgl. Wolf, Zöllner, & Bubb, 2006). Dafür wurden die FAS abhängig von deren Auswirkungen bei nicht befolgen der Empfehlungen in primäre, sekundäre und tertiäre Systeme unterteilt. Der paarweise Vergleich der aktiven FAS ist in Abbildung 47 dargestellt. Durch die generische Darstellungsart gibt es bei vielen Systemen keine Konflikte. Eine Priorisierung war vor allem dann erforderlich, wenn es um sicherheitsrelevante Anzeigen ging, die eine kritische Situation oder Kollision vermeiden sollte. Hier steht immer die Sicherheit des Fahrers im Vordergrund.

		Notbremsassistent	Kreuzungsassistent	Engstellenassistent	Geschwindigkeitsassistent	Ampelassistent
aktives FAS	Notbremsassistent					
	Kreuzungsassistent	↑				
	Engstellenassistent	↑	X			
	Geschwindigkeitsassistent	↑	=	=		
	Ampelassistent	↑	↑	=	←	

Abbildung 47: Priorisierung der aktiven FAS hinsichtlich der Fahrsituation (aus Wallinger, 2016, S. 43)

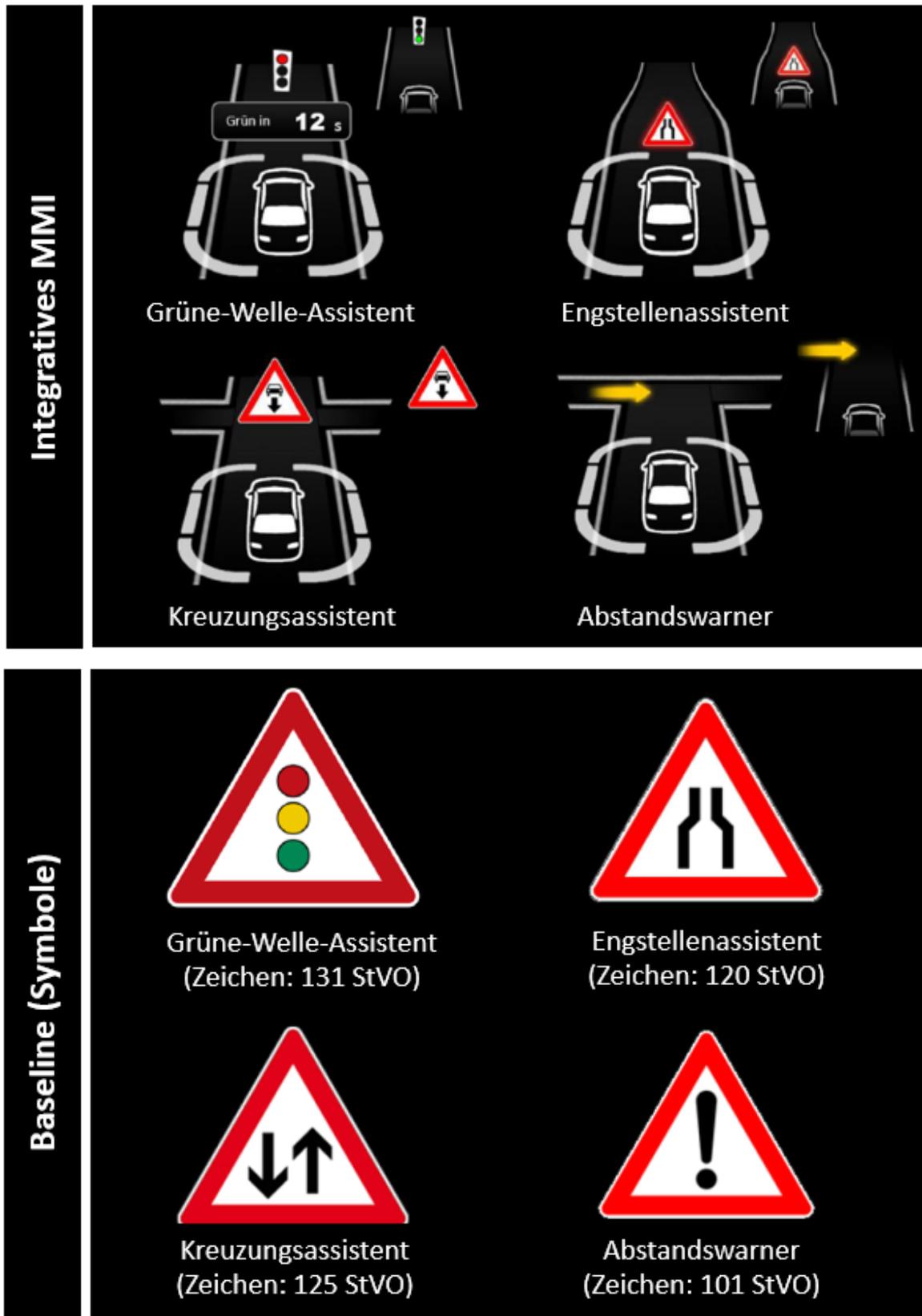


Abbildung 48: Umsetzung des überarbeiteten generischen MMI-Konzeptes (oben) mit der Darstellungsart im Kombiinstrument und jeweils rechts daneben der im HUD; und die Darstellung für die symbol-basierte Baseline sowie die Herkunft der Symbole (unten)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

In Abbildung 48 sollen vergleichend das überarbeitete MMI-Konzept sowie die symbolbasierte Baseline-Version gezeigt werden. Die Icons (unten) sind dabei an standardisierte Symbole aus der Straßenverkehrsordnung (StVO) angelehnt, da diese allen Fahrern bekannt sind und ohne große kognitive Verarbeitungsleistung den jeweiligen Szenarien zugeordnet werden können.

6.5.2 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Auch der letzte Versuch wurde erneut im statischen Simulator des Lehrstuhls für Ergonomie durchgeführt (vgl. Kapitel 6.2.2). Dabei war der Versuch in zwei 15-minütige Versuchskonditionen unterteilt, in denen jeweils das MMI-Konzept und das Baseline-Konzept getestet wurden. Vorab erhielten die Probanden einen demographischen Fragebogen sowie eine Beschreibung des jeweiligen Konzeptes und führten anschließend eine Eingewöhnungsfahrt durch. Um Lern- und Reihenfolgeeffekte zu minimieren, wurden sowohl die beiden unterschiedlichen Strecken sowie die Reihenfolge der genutzten MMI-Konzepte permutiert. Der Gesamtversuch inklusive der abschließenden Fragebögen dauerte etwa eine Stunde. Die Szenarien auf der urbanen Strecke umfassten, wie schon in vorangegangenen Versuchen, unterschiedliche Geschwindigkeitszonen (30 und 50 km/h), einfache und komplexe Kreuzungen, Lichtsignalanlagen, Vorfahrtsstraßen, mehrspurige Straßen sowie andere (u.a. schwächere) Verkehrsteilnehmer.

Um die kognitive Belastung der Versuchsteilnehmer zu erhöhen und dadurch das MMI-Konzept unter Stress zu testen, was im komplexen urbanen Verkehr aufgrund einer Vielzahl von Faktoren vorkommen kann, wurde zusätzlich zur Fahraufgabe eine Nebenaufgabe eingeführt. Als Zusatzaufgabe wurde der Cognitive Task (CoTa) genutzt. Die Aufgabe ist dabei an den *Sternberg Memory Scanning Task* (Sternberg, 1975) angelehnt (Corbin & Marquer, 2009). Ziel ist es sich eine auditiv präsentierte Zahlenfolge zu merken und nach einer Pause von 15 s zu entscheiden, ob eine zusätzlich präsentierte Ziffer in der zuvor gemerkten Zahlenfolge enthalten ist. Die Entscheidung des Probanden wurde durch ein deutliches „ja“ oder „nein“ dem Versuchsleiter mitgeteilt. Eine Auswertung der Nebenaufgabe erfolgte am Ende nicht, da diese lediglich den Zweck der Beanspruchungserhöhung verfolgte.

6.5.3 Hypothesen

Für die Hypothesenformulierung wurde im Weiteren erneut nur die H1 Hypothese berücksichtigt, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die Fragestellungen untersuchten den Unterschied zwischen der Darstellung der Handlungsempfehlungen an den Fahrer mit den jeweils genutzten MMI-Konzepten. Es wurden hier, wie in den vorangegangenen Studien, nur ausgewählte und relevante Hypothesen dargestellt. Alle Fragestellungen im Detail inklusive der H0 Varianten sind in der Arbeit von Wallinger (2016) zu finden.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

- I. Durch die Darstellung der Empfehlungen des generischen Interaktionskonzeptes wird der Zeitanteil an Geschwindigkeitsüberschreitungen gesenkt.
- II. Die kumulierten Standzeiten vor Lichtsignalanlagen reduzieren sich durch die Darstellungsart der Informationen des generischen Konzeptes.
- III. Durch die Umsetzung des neuen MMI-Konzeptes werden durch dargestellte Informationen Unfalltendenzen reduziert und Reaktionszeiten in Notbremssituationen verbessert.
- IV. Die Unfallhäufigkeit durch Längs- und Querverkehr wird durch Warnungen des generischen Interaktionskonzeptes reduziert.
- V. Bei Engstellen reduziert sich die mittlere Geschwindigkeit bei der Durchfahrt aufgrund der Empfehlungen des generischen Anzeige-Konzeptes.
- VI. Die subjektive Beanspruchung ist trotz der erhöhten visuellen Informationsmenge des handlungsorientierten MMI nicht höher als in der Baseline-Fahrt.
- VII. Die Usability für das neue MMI-Konzept ist höher als die des Baseline-Konzeptes.

6.5.4 Ergebnisse

Die nachfolgenden Ergebnisse sollen einen Überblick über die wichtigsten erfassten Metriken und ihre Wechselwirkungen mit dem MMI-Konzept geben. Einige für das Gesamtkonzept weniger relevante Daten werden in gekürzter Form dargestellt. Für eine Übersicht aller ausgewerteter Ergebnisse sei auf die Masterarbeit von Wallinger (2016) verwiesen, da hier weitere Fragestellungen aufbereitet wurden, die für die Bewertung des vorliegenden generischen Anzeige-Konzeptes irrelevant sind.

Probandenkollektiv

Insgesamt nahmen 30 Versuchsteilnehmer an der Studie teil. Durch Anpassungen an der Strecke zur Vermeidung von simulatorkrankheitsbedingten Abbrüchen konnten alle vorliegenden Daten zur Auswertung herangezogen werden. Das Kollektiv bestand aus 7 Frauen und 23 Männern in einem Alter zwischen 19 und 35 Jahren bei einem Mittelwert von 25,3 Jahren ($\pm 4,0$). Im Mittel besaßen die Probanden ihren Führerschein 8,4 Jahre ($\pm 4,1$) und wiesen damit ausreichend Fahrerfahrung auf, um valide Daten zu erhalten. Probanden mit relativ kurzer Besitzdauer des Führerscheines (ca. 2-3 Jahre) mussten eine hohe Jahresfahrleistung nachweisen, um zur Studie zugelassen zu werden.

Geschwindigkeitsverläufe

Zur Bewertung der Leistung der Probanden bei der Geschwindigkeitshaltung gilt nach Lange (2008) u.a. der Zeitanteil der Geschwindigkeitsüberschreitungen. Hierbei zeigen sich vor allem ausgewählte Streckenszenarien als valide. Wie in vorangegangenen Auswertungen wurde eine Überschreitung erneut ab 5 km/h gewertet. Da im Versuch ein Teil mit vorsätzlicher Fehlfunktion vorgesehen war, wurde dieser in der nachfolgenden Bewertung

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

nicht berücksichtigt. Tabelle 37 zeigt die prozentualen Überschreitungen auf beiden gefahrenen Strecken mit Empfehlungen des Icon-Konzept und mit Hinweisen des neuen MMI-Anzeige-Konzeptes. Dabei zeigten sich erneut signifikante Unterschiede zwischen den beiden Anzeige-Konzepten. Auf beiden Strecken fuhren Fahrer, die Empfehlungen vom Symbol-Konzept bekamen, viermal so häufig mindestens 5 km/h über der erlaubten Höchstgeschwindigkeit.

Der Vorteil solcher geschwindigkeitsbezogenen Empfehlungen liegt vor allem in Zonen mit verringerter zulässiger Geschwindigkeit, da Fahrer diese Verkehrszeichen meist übersehen oder durch anschließende andere Szenarien vergessen. Das nachfolgende Beispiel umfasste eine Tempo-30-Zone über ca. 400 m, die bei 100 m eine Kreuzung und bei etwa 300 m eine zusätzliche Engstelle aufwies.

Tabelle 37: Zeitanteile der gemessenen Geschwindigkeitsüberschreitungen auf beiden Strecken bei der Baseline-Fahrt sowie der Fahrt mit generischem MMI-Konzept

Geschwindigkeits- überschreitungen	Strecke 1		Strecke 2	
	Baseline (Symbol)	Neues MMI	Baseline (Symbol)	Neues MMI
Mittelwert	4,13%	1,13%	9,20%	2,27%
SD	4,34%	1,55%	6,14%	2,43%
t-Test	$U_1 = -2.61; p = .009$		$U_2 = -3.52; p < .001$	

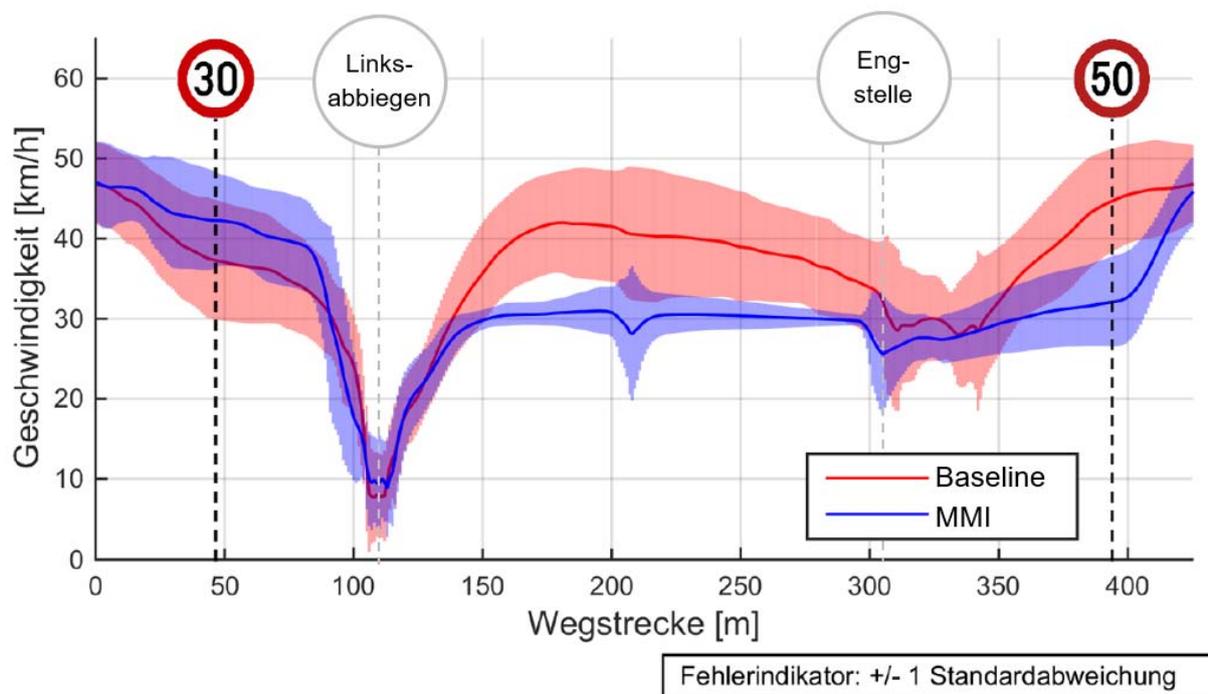


Abbildung 49: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Fahrt durch die 30er Zone mit den beiden Anzeigevarianten der Geschwindigkeitsempfehlungen (angelehnt an Wallinger, 2016)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Abbildung 49 zeigt dabei sehr schön die Geschwindigkeitsverläufe beider Anzeigekonzept-Varianten. Der Mehrwert hier zeigte sich nach dem Abbiegen, wo die mittlere Geschwindigkeit der Baseline-Variante deutlich höher gemessen wurde. Gleichzeitig erlaubte die angepasste Geschwindigkeit durch Empfehlungen des neuen MMI eine Durchfahrt der Engstelle ohne größere Geschwindigkeitsvarianzen, was zusätzlich ein Maß für den verbesserten Kraftstoffverbrauch ist. Ähnliche Verläufe konnten auch schon in den vorherigen Versuchen beobachtet werden und zeigen einen deutlichen Vorteil bei geschwindigkeitsrelevanten Empfehlungen des generischen MMI-Konzeptes.

Abschließend erfolgte noch eine Befragung der Probanden zu den beiden MMI-Varianten. Während beide Systeme als nicht ablenkend, einfach zu erlernend und nicht zusätzlich belastend bewertet wurden, bewerteten die Probanden eine signifikant einfachere Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzungen für das generische Interaktionskonzept.

Grüne-Welle-Assistent

Ziel bei der Empfehlung des Grüne-Welle-Assistenten ist die Unterstützung bei der effizienten und stressfreien Durchfahrt von Kreuzungen mit LSA. Zum ersten Mal in dieser Arbeit wurden sehr unterschiedliche Szenarien konstruiert und unabhängig voneinander ausgewertet, da die Anzahl an Vorderfahrzeugen und die aktuelle Schaltung der LSA erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Anzeigekonzeptes haben. Im vorliegenden Fall wurden eine auf grün schaltende LSA, eine LSA mit Rot-Phase ohne Vorderfahrzeuge sowie eine LSA mit Rot-Phase und wartenden Fahrzeugen implementiert.

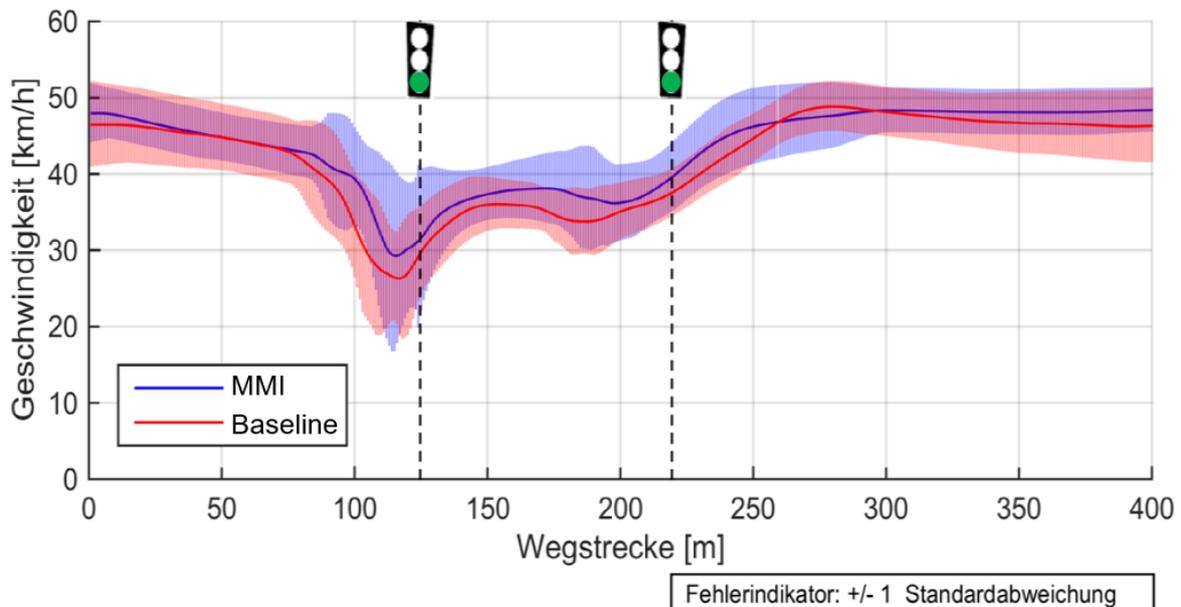


Abbildung 50: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei aufeinanderfolgenden LSA für beide Anzeigekonzepte (angelehnt an Wallinger, 2016)

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

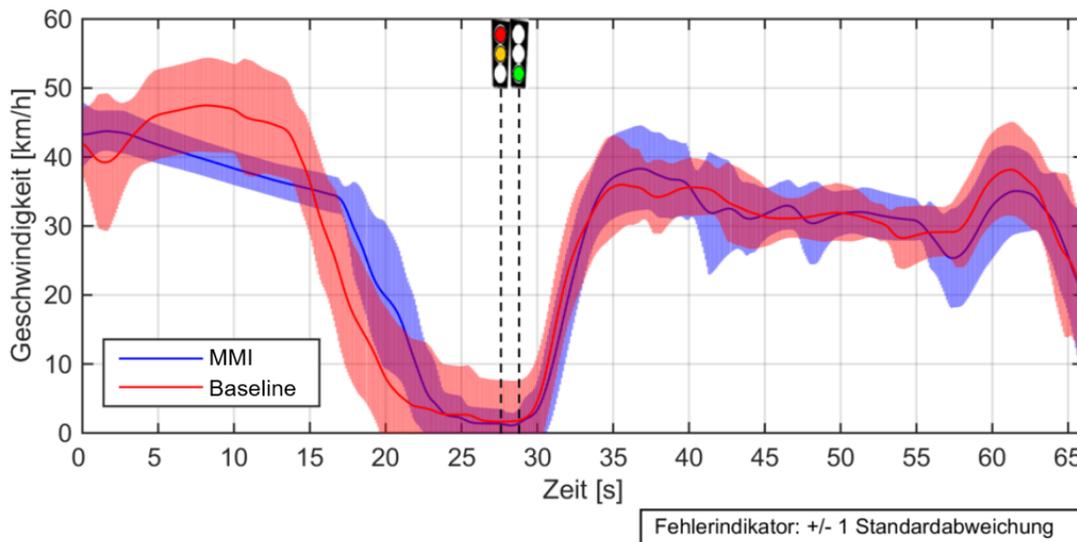


Abbildung 51: Durchschnittlicher Geschwindigkeitsverlauf bei der Anfahrt auf eine LSA mit wartenden Vorderfahrzeugen für beide MMI-Varianten (Wallinger, 2016)

Das erste Szenario war so gewählt, dass zwei aufeinander folgende LSA ohne zu halten durchfahren werden konnten, wenn der Proband sich an die Vorgabe des MMI hielt. Wie man in Abbildung 50 sehen kann, unterscheiden sich die Geschwindigkeitsverläufe kaum. Der deskriptive Unterschied betrug dabei nur knapp 2,4 km/h und ist daher vernachlässigbar. Auch bei dem Szenario der „Rot-Phase“ ohne wartende Vorderfahrzeuge zeigten sich sehr ähnliche Verläufe. Durch die gute Einsehbarkeit der Ampelphase war dies aber eventuell dem Szenario an sich geschuldet und nicht dem Anzeigeconcept.

Der signifikante Mehrwert für den Fahrer durch die Empfehlungen des generischen MMI zeigte sich erst bei LSA mit wartenden Vorderfahrzeugen, was das gängigste Szenario für urbane Fahrten ist. Abbildung 51 zeigt, wie die Probanden in der Icon-basierten Fahrt vor der LSA nochmal stark beschleunigten, um dann sehr stark abzubremsen. Sie mussten früher mit dem Bremsvorgang beginnen und hatten eine höhere Varianz im Geschwindigkeitsverlauf. Im Mittel standen die Probanden der Baseline-Fahrt (Icon) dadurch ca. 3,8 s länger vor der LSA ($U = -3.174$, $p = .002$). Der große Unterschied könnte sich durch die genauer dargestellte Information zur Phase beim Erreichen der LSA ergeben haben. Während das generische MMI Konzept zum einen durch das Feedback des Gegendrucks des Aktiven Gaspedals zur Geschwindigkeitsreduktion aufforderte und zusätzlich visuell eine Rot-Phase prognostizierte, hatten Probanden während der Baseline-Fahrt zwar theoretisch die gleichen Informationen, aber deutlich schlechter dargestellt, was zu einer Beschleunigung führte, da sie dachten die LSA noch passieren zu können. Für die mittleren Standzeiten über die gesamte Strecke ergaben sich 14 % geringere mittlere Standzeiten durch das neue MMI-Konzept, diese waren aber weder auf Strecke 1 ($M_{\text{Baseline}} = 17.7$ s, $M_{\text{MMI}} = 15.2$ s, $t(28) = -1.431$, $p = .164$) noch auf Strecke 2 ($M_{\text{Baseline}} = 19.6$ s, $M_{\text{MMI}} = 16.7$ s, $t(28) = -.243$, $p = .810$) signifikant.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 38: Minimaler Abstand und minimaler TTC-Wert zu einer Gefahrensituation bei der Nutzung mit dem Baseline-Konzept bzw. der neuen MMI-Variante (inkl. Standardabweichung)

Kritische Situationen	Minimaler Abstand		Minimale TTC-Werte	
	Baseline (Icon)	Neues MMI	Baseline (Icon)	Neues MMI
Mittelwert	5,78 m	7,29 m	1,24 s	1,43 s
SD	1,69 m	1,90 m	0,30 s	0,32 s
t-Test	t(28) = -2.293; p = .030		t(28) = -1.650; p = .110	

In der anschließenden Befragung wurden beide Konzepte wieder als wenig ablenkend und leicht zu erlernend bewertet. Zusätzlich evaluierten die Probanden die dargestellten Informationen des Baseline-Konzeptes als signifikant ungenügend im Vergleich zu den Empfehlungen und Informationen des neuen Mensch-Maschine-Interfaces.

Warn- und Bremsassistent

Wie auch in den bisherigen durchgeführten Studien gab es relativ wenige kritische Situationen in den einzelnen Fahrten, da die Probanden häufig einen sehr großen zeitlichen Abstand zu Vorderfahrzeugen wählten und insgesamt eher vorsichtiger fuhren. Dadurch waren mögliche Gefahrensituationen meist vorher gut einsehbar und die Kaskade des Assistenten musste nicht starten. Für die Datenauswertung am sinnvollsten erschien ein Szenario bei dem ein anderes Fahrzeug die LSA nicht beachtete (was dadurch nicht vorhersehbar ist). Bewertet wurden die minimalen Abstände sowie die minimalen TTC-Werte, die beide ein Maß für die Kritikalität der Situation darstellen.

Für den minimalen Abstand zum gefährlichen Fremdfahrzeug ergab sich ein signifikant geringerer Wert ($p = .03$) von 7,29 m bei der Nutzung des generischen Interaktionskonzeptes im Vergleich zu 5,78 m beim Baseline-Konzept mit symbol-basierten Empfehlungen. Für die TTC ergab sich ein nicht-signifikanter Unterschied von ca. 0,2 s. Alle Werte inklusive der jeweiligen Standardabweichungen sind in Tabelle 38 zu finden.

Bei der subjektiven Bewertung der MMI-Umsetzung des Assistenten zeigte sich erneut eine sehr positive Evaluation für beide Konzepte bzgl. der signifikant geringeren Ablenkung, der einfachen Erlernbarkeit sowie der einfachen intuitiven Bedienung. Die zusätzlichen Informationen des generischen Konzeptes wurden zudem als signifikant nützlicher zur Unterstützung bei der Fahraufgabe bewertet im Vergleich zum Baseline-Konzept.

Kreuzungsassistent

Eine objektive Auswertung der Empfehlungen des Kreuzungsassistenten war nicht möglich, da insgesamt bei allen Durchgängen und Probanden nur eine Kollision erfolgte.

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Subjektiv bewerteten die Probanden, ähnlich zu den anderen Systemen, die Darstellung des Assistenten in beiden Ausführungen als einfach zu erlernen und nicht zusätzlich belastend. Signifikante Vorteile des generischen Konzeptes zeigten sich bei der Unterstützung zum frühzeitigen Erkennen von Gefahren, der Menge an nützlichen Informationen sowie bei der Entlastung in Kreuzungssituationen.

Engstellenassistent

Zur Bewertung der Umsetzung des Engstellenassistenten wurde in diesem Fall auf die mittlere Durchfahrtgeschwindigkeit der Engstelle gesetzt, da vorherige Auswertungen der mittleren Geschwindigkeit bei der Einfahrt in die Engstelle keine valide Differenzierung zwischen den Konzepten ermöglichte. Sie sollte eine erhöhte Aufmerksamkeit des Fahrers bei der Erkennung und Durchfahrt der Gefahrenstelle widerspiegeln. Auch hier zeigte sich erneut, dass es schwierig ist, eine objektive Metrik zur Bewertung dieses Szenarios zu finden. Die Durchfahrtgeschwindigkeit in insgesamt vier unterschiedlichen Engstellensituationen zeigte zwischen den beiden MMI-Varianten keine signifikanten Unterschiede. Die Standardabweichung des neuen MMI-Konzeptes war deskriptiv etwas geringer, was zumindest auf eine homogene Durchfahrt aller Probanden schließen ließ. Betrachtet man den Gesamtverkehr in der Stadt, eine gute Prognostizierbarkeit anderer Verkehrsteilnehmer und dadurch insgesamt höherer Durchsätze an Kreuzungen und Engstellen, dann ist diese erzielte geringere Varianz der Geschwindigkeit ein positiver Aspekt.

Subjektiv evaluierten die Versuchsteilnehmer die Darstellung der Konzepte als wenig ablenkend, hilfreich bei der frühzeitigen Erkennung der Gefahrenstelle, leicht erlernbar und nicht zusätzlich belastend. Wie auch bei den anderen Systemen wurde die Art und Menge der Informationen signifikant besser beim generischen MMI bewertet.

Gesamtsystem

Zusätzlich zu den Einzelszenarien wurde am Ende eine Präferenz des Gesamtsystems abgefragt, da das Ziel des neuen Interaktionskonzeptes ein generisches und integratives MMI sein soll, welches Informationen handlungsorientiert ausgibt. Die zentralen Punkte der Befragung gehen auf die drei Kernziele zurück, effizient, komfortabel und sicher in der Stadt zu fahren. Probanden wurden gebeten die folgenden Fragen auf einer Skala von -2 (völlige Ablehnung) bis +2 (völlige Zustimmung) zu bewerten:

- „Mit dem System kann ich Sprit sparen“
- „Das System reduziert Stress beim Fahren“
- „Mit dem System erhöht sich der Komfort des Autofahrens“

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Tabelle 39: Mittelwerte und Standardabweichung der Bewertung beider Anzeigekonzepte zur Unterstützung des Fahrers zum komfortablen, stressfreien und effizienten Fahren in der Stadt

	Komfort		Stress		Effizienz	
	Baseline	MMI	Baseline	MMI	Baseline	MMI
MW	0,47	0,93	0,83	0,80	-0,30	0,40
SD	0,97	0,91	1,09	0,89	1,12	1,04
t-Test	t(29) = -1.957; p = .06		t(29) = -.205; p = .84		t(29) = -2.855; p = .008	

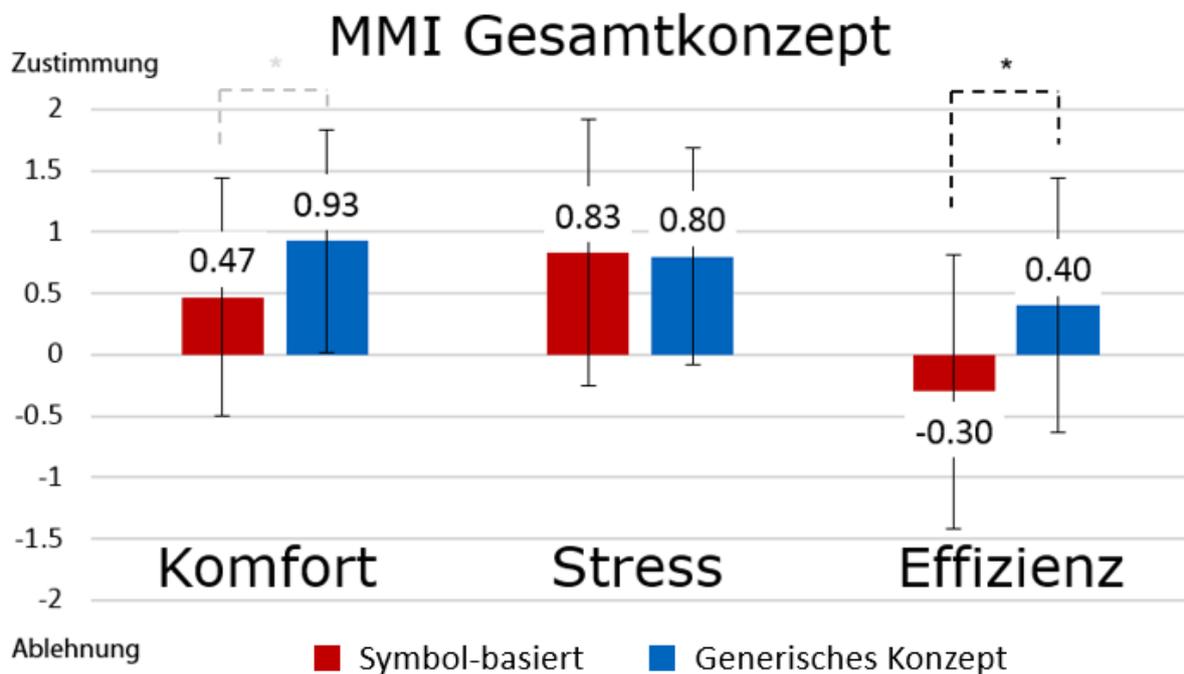


Abbildung 52: Bewertung des jeweiligen Gesamtsystems bzgl. der Komforterhöhung, Stressreduzierung und der einfachen kraftstoffsparenden Fahrweise (mit Standardabweichung)

Dabei wurde der Komfort tendenziell besser bewertet beim neuen MMI-Konzept im Vergleich zum Baseline-Konzept ($p = .06$). Des Weiteren unterstützt das generische MMI den Fahrer signifikant besser bei einer effizienten Fahrweise ($p = .008$). Bei der Bewertung der empfundenen Stressreduktion gab es keine Unterschiede, wobei beide sehr gut bewertet wurden. Die genauen Werte sind in Tabelle 39 zu finden. Eine Visualisierung der Ergebnisse ist in Abbildung 52 dargestellt.

Fahrerbeanspruchung

Zur Messung der subjektiven Beanspruchung wurde erneut der NASA-rTLX Fragebogen von Hart und Staveland (1988) genutzt. Wie bei allen bisherigen Versuchsenteilen

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

wurde dieser ohne Gewichtung der einzelnen Beanspruchungstypen genutzt (Raw TLX), da diese Variante die Auswertung vereinfacht, aber laut Cao et al. (2009) trotzdem eine hohe Korrelation aufweist. Die gemessenen Werte unterschieden sich nur geringfügig. Für die Baseline-Variante (Symbole) wurde ein NASA-TLX Score von 44,20 ($\pm 15,18$) im Mittel gemessen. Das neue MMI-Konzept wurde etwas geringer evaluiert mit durchschnittlich 41,63 ($\pm 13,13$). Die Unterschiede sind aber nicht signifikant ($p = .294$). Dies zeigt, dass mit der höheren Dichte an visuell und haptisch präsentierten Informationen der generischen Version des MMI und des Mehrwertes an zusätzlichem Feedback für den Fahrer keine Erhöhung der Beanspruchung einhergeht. Im Vergleich mit vorherigen Bewertungen aus den Studien davor, erkennt man eine leichte Erhöhung, die vermutlich auf die zusätzliche Nebenaufgabe (CoTa) zurück zu führen ist.

Usability Bewertung

Auch die Usability-Bewertung folgte der Methodik aus der vorherigen Studie. Dazu wurde mithilfe der System Usability Scale ein Punktwert zwischen 0 und 100 berechnet. Für das Baseline-MMI ergab sich ein Gesamtwert von 72,24 mit einer Standardabweichung von 19,10. Die Usability wurde nach der Skala von Bangor et al. (2009) für die Baseline somit zwischen „Ok“ und „Gut“ bewertet. Der Score des generischen MMI lag deskriptiv etwas höher bei 76,00 ($\pm 16,63$) und wurde somit zwischen „Gut“ und „Exzellente“ berechnet. Der Unterschied beider Werte war aber nicht signifikant ($p = .284$) trotz der geringeren Standardabweichung des neuen Konzeptes. Abbildung 53 zeigt wo die Werte nach den verschiedenen normierten Stufen einzuordnen sind.

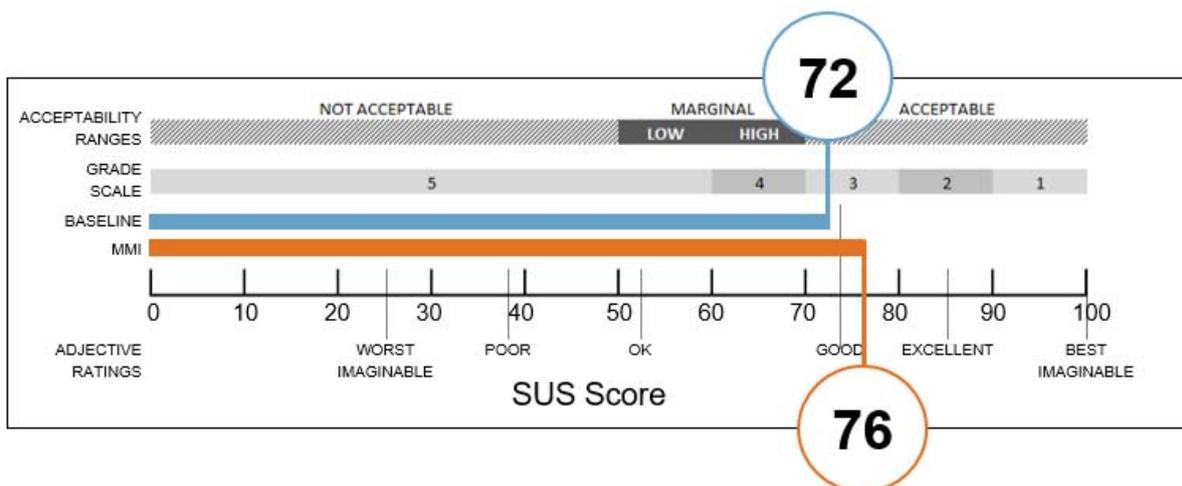


Abbildung 53: SUS Score für beide Interaktionskonzepte zur Bewertung der Usability

6.5.5 Zusammenfassung

Der finale Versuch sollte Aufschluss darüber geben, wie das neue MMI-Konzept bei Implementierung einer Vielzahl unterschiedlicher FAS im Vergleich mit einem symbolbasierten Baseline-Konzept abschneidet. Hierfür wurden neben den standardisierten objektiven Metriken auch Bewertungen zur Beanspruchung und Usability herangezogen, da diese beim MMI Design eine tragende Rolle spielen. Unabhängig von der Wirksamkeit eines Systems wird ein mit der Usability unzufriedener Nutzer das System gegebenenfalls nicht nutzen, vor allem, wenn es außerdem den Workload zusätzlich erhöht.

Ausgehend von den Hypothesen soll nachfolgend eine erste Evaluation des generischen Konzeptes stattfinden. Für den Zeitanteil der Geschwindigkeitsüberschreitungen von mindestens 5 km/h wurde wie in vorherigen Untersuchungen unabhängig von der jeweiligen Strecke ein signifikanter Effekt gemessen. Bei gleicher hinterlegter Funktion unterstützte die Darstellung des neuen Mensch-Maschine-Interfaces den Fahrer besser. Der Vorteil ist hier voraussichtlich auf das Feedback des Aktiven Gaspedals zurückzuführen. Dem Nutzer fiel es leichter der haptischen Rückmeldung am Ort der Eingabe der rückgemeldeten Stellvariable zu folgen. Der kognitive Aufwand zur Dekodierung der Informationen war dadurch geringer und es kam zudem zu keiner zusätzlichen visuellen Beanspruchung. Die subjektive Evaluation war ebenfalls sehr positiv. Einige wenige Probanden gaben eine leichte Bevormundung des Pedals an, was durch eine Konfigurierbarkeit in der Stärke der haptischen Rückmeldung behoben werden könnte. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei der Betrachtung der Szenarien mit LSA. Zwar fielen die Unterschiede zwischen den MMI-Konzepten bei freier Strecke ohne Vorderfahrzeuge nicht signifikant aus, trotzdem zeigte sich hier eine deutlich geringere Varianz im Geschwindigkeitsverlauf und bei LSA mit Vorderfahrzeugen signifikant geringere Standzeiten für die Umsetzung des neuen handlungsorientierten Interaktionskonzeptes. Die beiden ersten Hypothesen können daher bestätigt werden. Die Verbesserung der Geschwindigkeitskontrolle resultiert neben positiven fahrerspezifischen Effekten auch in einer globalen Effizienzsteigerung, einem höheren Kreuzungsdurchsatz sowie allgemein einer sichereren Fahrweise durch die geringere Varianz zwischen den Fahrzeugen und dadurch besser zu prognostizierenden Trajektorien der Verkehrsteilnehmer. Betrachtet man nur die sicherheitsrelevanten Aspekte, so zeigten sich vor allem in der minimalen TTC zu gefährlichen Fremdfahrzeugen bessere Werte durch Empfehlungen des neuen Mensch-Maschine-Interfaces. Trotz gleicher hinterlegter Warnkaskade war es den Fahrern also möglich, die Kritikalität der Situation besser einzuschätzen, auch wenn es keine Unterschiede in der Reaktionszeit auf angezeigte Meldungen gab. Hypothese 3 kann somit nur teilweise bestätigt werden. Da es zu keinen Kollisionen kam, kann über die nächste Hypothese zur Unfallhäufigkeit keine Aussage getroffen werden. Bei der Bewertung der

Iterativer Prozess zur Entwicklung eines handlungsorientierten MMI-Konzeptes

Engstellen-Szenarien gestaltete sich eine globale Aussage ebenfalls erneut als schwierig. Wie auch die Geschwindigkeit bei Einfahrt in die Engstelle aus der vorherigen Studie vermag die Durchfahrtgeschwindigkeit keine spezifische Aussage zur Wirksamkeit der MMI-Konzepte treffen. Lediglich subjektiv wurde die Anzahl der nützlichen Informationen von den Probanden besser bewertet. Auch hier ist daher die Hypothese eines positiven Effektes durch Empfehlungen des neuen Konzeptes abzulehnen.

Die subjektive Betrachtung durch den Workload sowie die Usability des Interfaces zeigte erneut gute Werte. Trotz zusätzlicher Informationsdetails an den Fahrer fiel der NASA-rTLX Wert deskriptiv etwas geringer aus, was auf eine Unterstützung bei der Reduktion des Stresses beim Fahren im urbanen Verkehr hindeutet. Hypothese 6 konnte daher bestätigt werden. Für die Usability zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie in der Voruntersuchung. Der Score des handlungsorientierten Interaktionskonzeptes berechnete sich zwischen „Gut“ und „Exzellente“ und war deskriptiv 4 Punkte höher als der des Baseline-Konzeptes. Aber auch hier war der Unterschied nicht signifikant, wodurch die letzte Hypothese abzulehnen ist.

Im letzten Kapitel sollen die Ergebnisse der iterativen Weiterentwicklung des Interaktionskonzeptes für Handlungsempfehlungen im Szenario Stadt zusammengefasst und abschließend evaluiert werden. Gleichzeitig werden zukünftige Ideen diskutiert aber auch Grenzen und Limitationen der genutzten Methode aufgezeigt.

7 Zusammenfassung und Diskussion

7.1 Ergebnisse und Weiterentwicklung des Gesamtkonzeptes

Ziel dieser Arbeit war es, ein multi-modales MMI-Gesamtkonzept in einem iterativen Prozess zu entwickeln, welches den Fahrer bei den erhöhten Anforderungen des städtischen Verkehrs durch Empfehlungen unterstützt und gleichzeitig zukünftigen Herausforderungen durch die Implementierung neuer Fahrerassistenzsysteme oder steigender Komplexität gewachsen ist. Anhand einer Analyse aktueller Konzepte und den spezifischen Use Cases konnten die systemergonomischen Eigenschaften dieses neuen urbanen Mensch-Maschine-Interfaces vorab treffend charakterisiert werden. Die entscheidenden Ziele sollten zum einen eine Unterstützung des Fahrers in kritischen Szenarien oder der Verhinderung dieser sein und zum anderen durch frühzeitige Rückmeldungen des MMI bei einer komfortablen und effizienten Fahrweise unterstützen. Dies geschieht durch eine handlungsorientierte Darstellung der Empfehlungen. Dadurch bleibt das MMI zum einen stets erweiterbar, da sich zwar Systeme ändern können, aber die Handlungen für den Fahrer immer auf die primäre Fahraufgabe zurückzuführen sind. Und zum anderen wird dadurch eine geringere Informationsdichte generiert, da Feedback von mehreren Systemen zusammengefasst wird, die neben den reduzierten kognitiven Anforderungen zur Dekodierung der Informationen auch den Workload des Fahrers in der komplexen urbanen Umgebung begrenzen kann. Der integrative Charakter entsteht dabei durch die frühzeitige Berücksichtigung aller relevanten Feedback-Komponenten, wodurch entstehende Redundanzen bestmöglich vermieden werden. Die Anzeigen sollten zudem stets handlungsorientiert generiert werden, da der Fahrzeugführer zu allererst die erforderliche Reaktion in einer kritischen Situation benötigt und das aktive System zur Lösung der Aufgabe irrelevant für den Fahrer ist. Vor der Präsentation der Informationen sollte zudem eine Priorisierung erfolgen und somit widersprüchliche Meldungen vermieden werden.

Zur Anforderungsdefinition wurde mit einer Unfalldatenanalyse (2.1) für das Szenario des urbanen Raums begonnen, um anhand der Ursachen mögliches Unterstützungspotential (2.2) des Menschen bei der Fahrzeugführung zu ermitteln. Neben grundlegenden Prozessen der Informationsverarbeitung und des Belastungs- und Beanspruchungsmodells (2.3) wurde der komplexe städtische Verkehr (2.4) als Faktor auf die Fahrleistung des Menschen betrachtet. Dieser urbane Raum wurde anschließend näher definiert und charakterisiert. Dazu gehören neben der höheren Informationsdichte durch eine Vielzahl schnell wechselnder statischer und dynamischer Objekte u.a. auch die Interaktion mit Mischverkehr und schwächeren Verkehrsteilnehmern, was von bisherigen Untersuchungen im Szenario der Autobahnen und Landstraßen deutlich abweicht. Abschließend wurden qualitative und

Zusammenfassung und Diskussion

quantitative systemergonomische Anforderungsanalysen (4.2) für die beiden Komponenten Head-Up Display und Kombiinstrument, zur visuellen Darstellung von Informationen, sowie die Komponente des Aktiven Gaspedals, für haptische Rückmeldungen, durchgeführt. Die Wahl der Komponenten ermöglichte einen multi-modalen Lösungsansatz, der zeitliche Vorteile bei Reaktionen auf Meldungen mit sich bringt.

Mithilfe dieser systemergonomischen Anforderungen wurde ein erstes Mensch-Maschine-Interface konzeptionell umgesetzt (6.1) und für unterschiedliche Szenarien beschrieben. Dadurch konnten erste Schwachstellen und Erweiterungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Das Head-Up Display wurde dafür in sogenannte Cluster unterteilt (vgl. Abbildung 54) und inhaltlich ähnliche Informationen gruppiert. Für die Darstellung wurden sowohl im HUD als auch im Kombiinstrument einfache Symbole und Farben genommen, deren Wirkung aus vorherigen Studien bekannt ist. Das Feedback des Aktiven Gaspedals wurde zusätzlich für geschwindigkeitsrelevante Situationen konzipiert.

Für die Bewertung des Anzeigeconzeptes im Simulations- und Realversuch wurden außerdem Kennwerte definiert (5.0), die den Eigenschaften eines *sicheren, komfortablen und effizienten* Fahrens gerecht werden.

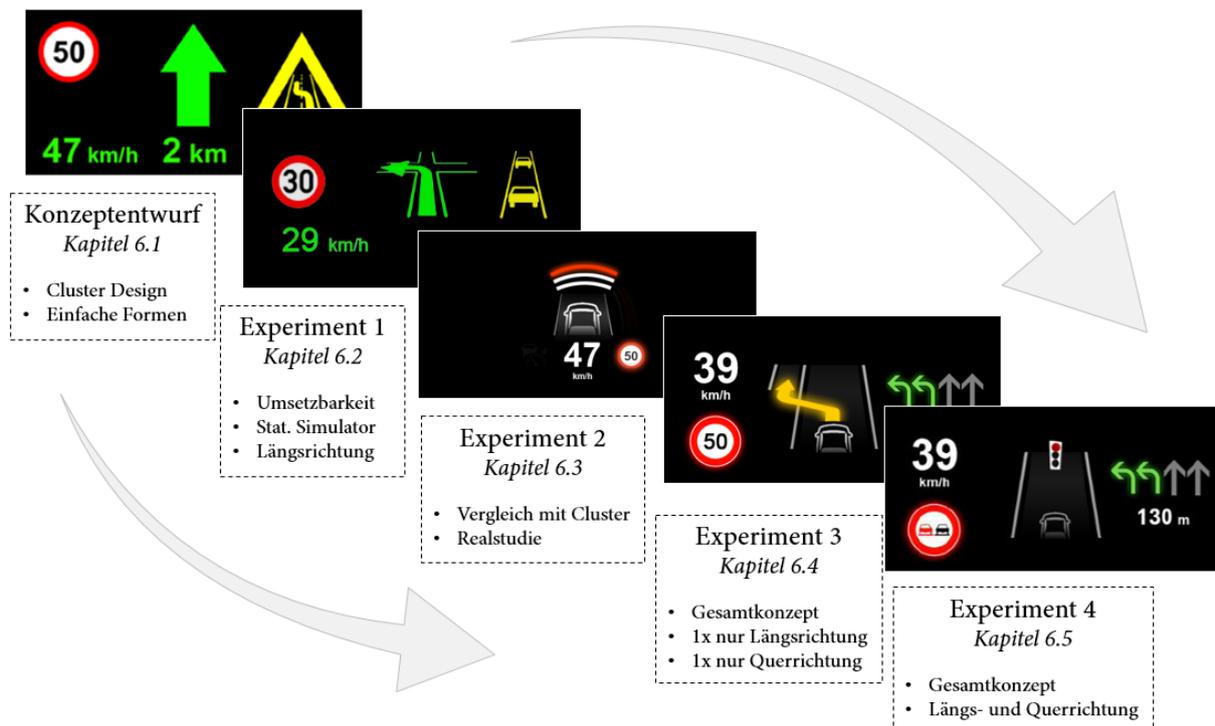


Abbildung 54: Iterative Entwicklung des Anzeigeconzeptes im Head-Up Display vom ersten Konzeptentwurf bis zum finalen Design und den jeweils angewandten Methoden.

Zusammenfassung und Diskussion

Das zuvor entstandene Konzept wurde dann im statischen Fahrsimulator umgesetzt und erstmalig beim Einsatz unterschiedlichster Fahrerassistenzsysteme und diverser Szenarien in einem Fahrversuch (6.2) durch die zuvor genannten Kennwerte geprüft. Dabei standen die Aspekte der Umsetzbarkeit und Bewertbarkeit im Vordergrund. Eine zusätzliche Anpassung der Design-Vorgaben aus der Konzeptstudie fand dabei nur minimal statt, da die meisten Ideen und Lösungen in die Simulationsumgebung integriert werden konnten. Getestet wurden nur Empfehlungen an den Fahrer in Längsrichtung, da die Anzahl aktiver Systeme methodenbedingt reduziert werden sollte, um nicht zu viele Artefakte zu erzeugen, die eine Bewertung am Ende unmöglich machen.

Da vor allem das HUD-Design an seine Grenzen stieß und der handlungszentrierte Charakter nicht mehr einwandfrei gegeben war, erfolgte anschließend ein Versuch im Realfahrzeug (6.3). Hierfür wurde ein vom typischen Cluster-Design abweichendes Konzept entwickelt (vgl. Abbildung 54; Mitte), was die aktuellsten und wichtigsten Informationen stets zentriert darbot, und mit einer seriennahen geclusterten Variante aus der Literatur verglichen. Versuchsträger war ein umgebauter BMW X5 dessen Head-Up Display beliebig angesteuert werden konnte. Die Ergebnisse konnten leider nicht alle Hypothesen bestätigen. Zwar erhöhte sich die Reaktionsgeschwindigkeit auf dargestellte Meldungen, aber bei der Genauigkeit der Antworten konnte keine Steigerung erzielt werden. Zusätzlich zeigten die anschließenden Bewertungen der Probanden klare Tendenzen zum ursprünglichen Design-Konzept.

Die Konsequenz war eine Art Hybrid-Version der beiden Konzepte, um mögliche Schwächen zu umgehen, aber die Vorteile beider Darstellungsarten zu nutzen (vgl. Abbildung 54; zweites von rechts). Dieses wurde zusammen mit einem angepassten Konzept im Kombiinstrument und dem Aktiven Gaspedal erneut im Simulator umgesetzt (6.4). Aufgrund von möglichen Wechselwirkungen zwischen all den implementierten Fahrerassistenzsystemen wurde erneut in Empfehlungen in Längsrichtung und Querrichtung unterteilt und jedes dieser Konzepte mit einem eigenen Probandenkollektiv im Fahrversuch im Simulator getestet. Auch hier schnitt das handlungsorientierte Konzept verglichen mit einer Baseline wieder signifikant besser ab bei geschwindigkeitsrelevanten Szenarien (bspw. Geschwindigkeitshaltung, Anfahrten auf LSA, Geschwindigkeitsüberschreitungen). Trotz zunehmender Informationsdichte durch die Integration von immer mehr FAS in das Gesamtkonzept blieb der Workload gleich. Zusätzlich wurde erstmalig die Usability des Mensch-Maschine-Interfaces bewertet, welche mit einem guten Wert abschnitt.

Um eine abschließende Aussage zum Gesamtkonzept treffen zu können, wurden alle Anmerkungen und Kritikpunkte aus den vorherigen Versuchen im finalen Versuch angepasst und integriert. Dazu gehörten neben geringfügigen Erweiterungen, wie der Anzeige der Restzeit vor LSA, auch weitere Anpassungen, wie Änderungen in der Priorisierung oder einer

Anpassung des Anzeigzeitpunktes und der Anzeigedauer spezifischer Informationen. Verglichen wurde das Konzept mit einer rein symbolbasierten Variante, welche die exakt gleichen Funktionen hinterlegt hatte. Alle Unterschiede gehen daher einzig und allein auf das MMI zurück. Das abschließende Konzept überzeugte erneut vor allem bei Empfehlungen im Bereich der geschwindigkeitsabhängigen Szenarien. So konnten spezifische Standzeiten vor LSA verbessert und die Geschwindigkeitshaltung optimiert werden. Global gesehen fand eine deutlich geringere Varianz in den Geschwindigkeiten und Beschleunigungen statt, was insgesamt den Verkehr signifikant besser prognostizierbar macht und dadurch Durchsatz und Sicherheit an komplexen Knotenpunkten erhöht. Zusätzlich lässt sich eine verbesserte *Effizienz* aus den Fahrdaten interpretieren, was zum einen dem Kraftstoffverbrauch und zum anderen dem CO₂-Ausstoß zu Gute kommt. Zwar gab es keine Unterschiede bei der Anzahl der Kollisionen (da kaum welche stattfanden), aber es zeigten sich signifikant größere minimale Abstände zu gefährlichen Objekten, was der Definition der *sichereren* Fahrweise gerecht wird. Sowohl über die Daten aus den freien Fragebögen als auch durch die Workload-Messung anhand des NASA-rTLX konnte auch der letzte Aspekt der *komfortablen und stressfreien* Fahrt nachgewiesen werden. Das Konzept erfüllt also alle der vorher definierten Kennwerte für ein geeignetes Anzeigekonzept für Handlungsempfehlungen im Fahrscenario des urbanen Verkehrs.

7.2 Komponentenspezifische Ergebnisse

Neben den Ergebnissen für das MMI-Gesamtkonzept können eine Vielzahl von komponentenspezifischen Empfehlungen zur systemergonomischen Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion aus der Literaturrecherche und den Versuchen abgeleitet werden. Dazu gehören u.a. die Spezifikationen welche Inhalte und zu welchem Zeitpunkt etwas auf einer der untersuchten Komponenten dargestellt wird. Zusätzlich geben die letzten Ergebnisse auch Aufschluss darüber welche Darstellungsart gewählt werden sollte. Ein Überblick der systemergonomischen Empfehlungen für die Komponenten Head-Up Display und Aktives Gaspedal ist in Abbildung 55 zu finden. Diese beiden Komponenten waren die bisher am wenigsten untersuchten Komponenten für Mensch-Maschine-Interfaces im Szenario des urbanen Verkehrs, während Empfehlungen zur Darstellung von Informationen im Kombiinstrument in einer langen Historie an Veröffentlichungen beschrieben wurden (Blume, 2011; Burghardt, 2009; Reif, 2010). Weitere detaillierte Empfehlungen für die systemergonomische Auslegung aller untersuchten Komponenten können in Kapitel 4.2, den Ergebnissen der einzelnen Versuche in Kapitel 6 sowie in Rittger & Götze (2018) gefunden werden. Alle Referenzen beziehen sich auf das Szenario des urbanen Verkehrs und Handlungsempfehlungen an den Fahrer zur sicheren, komfortablen und effizienten Fahrweise.

Head-Up Display

Informationsart

- Dynamische Informationen
- Informationen zur optimalen Route
- Direkt fahr-relevante Informationen
- Zeit-kritische Informationen

Darstellungsempfehlungen

- Geclusterte Aufteilung der Informationen
- Pop-Ups mit Symbolen und wenig Text
- Kann redundant zu Kombiinstrument sein aber mit geringerem Detailgrad

Aktives Gaspedal

Informationsart

- Kontinuierliche Informationen zur Optimierung der Route
- Geschwindigkeitsrelevante Informationen
- Informationen zur effizienten Fahrweise bei geringem Aufwand/Workload
- Nur für Fahrempfehlungen nutzen

Darstellungsempfehlungen

- Gegendruck → Geschwindigkeitsreduktion
- Druckschwelle → Geschwindigkeitshaltung

Abbildung 55: Überblick über grundlegende systemergonomischen Empfehlungen sowie Design-Vorschläge für die MMI-Komponenten Head-Up Display und Aktives Gaspedal (Rittger & Götze, 2018)

7.3 Weiterentwicklungspotential und Ausblick

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit galt der optimalen systemergonomischen Darstellung von handlungsempfehlenden Systemen, die zwar die bestmöglichen Reaktionen für den Fahrer vorgeben, aber nicht aktiv durchführen. Entscheidet der Fahrer sich gegen eine Empfehlung, so wird das Fahrzeug diese nicht selbstständig ausführen. Müsste man die dargestellten FAS des MMI-Konzepts in die Level der Automation einordnen, so befindet man sich per Definition (SAE International, 2014) im Level 0 Bereich. Da der Automationsgrad aber stetig steigt und bereits jetzt teilautomatisierte Fahrzeuge auf der Straße fahren, sollte das hier entstandene generische Anzeigekonzept aufgrund seiner Erweiterbarkeit auch für höhere Automationsstufen relevant bleiben. Tatsächlich ist es problemlos möglich, in das finale MMI-Konzept weitere aktive und passive Funktionen zu implementieren. Beispielhaft sei dies in Abbildung 56 dargestellt, wo durch geringfügige Ergänzungen und Farbänderungen des Fahrteppichs im Kombiinstrument die Übernahme der Fahraufgabe und Verantwortung durch die Automation visualisiert wird. Die Farbe Blau hat sich dabei in der Literatur für höhere Automationslevel durchgesetzt (Naujoks, Forster, & Neukum, 2017). Durch die eindeutige Farbwahl ist die Anzeige einer Transition zwischen den Automationsgraden problemlos möglich, ohne dass Mode Awareness Problem auftreten sollten. Der Fahrer weiß jederzeit, wer für die Fahraufgabe verantwortlich ist.

Durch die generische Darstellungsart und einfache Erweiterbarkeit können auch zukünftig Untersuchungen mit Hilfe des Konzeptes durchgeführt werden. Neben der Darstellung von veränderten Automationsgraden wäre auch eine Ausweitung des Szenarios Stadt auf Landstraßen und Autobahnen denkbar. Weiterhin können zusätzliche Modalitäten problemlos integriert werden. Dafür bieten sich auditive Feedbacksysteme an, da die visuellen Empfehlungen so sinnvoll ergänzt werden könnten.

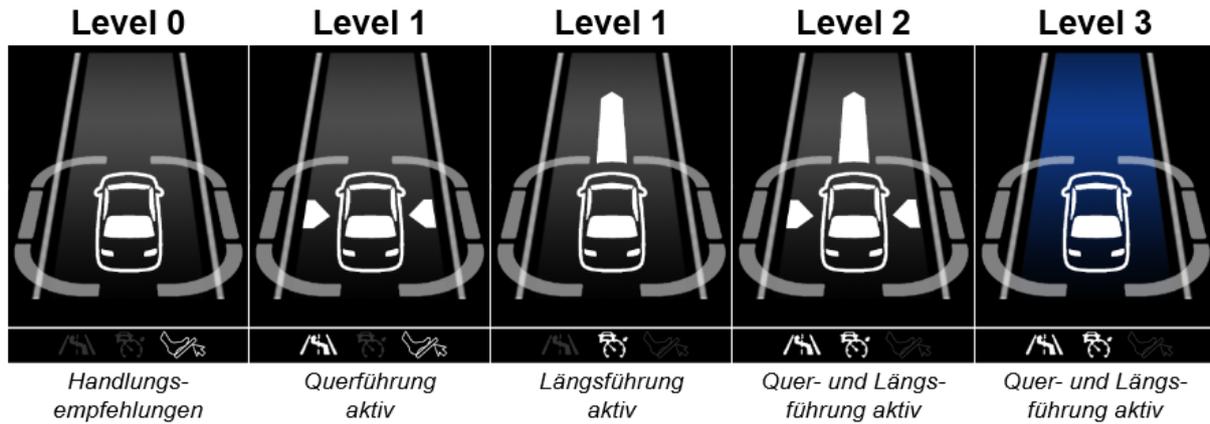


Abbildung 56: Mögliche Darstellung der unterschiedlichen Automationsgrade für Level 0 bis Level 3 Systeme nach SAE Taxonomie (von links nach rechts mit steigender Automationsstufe). Die Darstellung links stellt das Grundgerüst dar, welches mit weiteren Informationen jederzeit erweitert werden kann.

7.4 Limitationen und Verbesserungspotential

Wie in jeder Arbeit finden sich auch hier Limitationen, die bei der Interpretation und Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Obwohl alle Experimente nach bestem Wissen und Gewissen konstruiert, durchgeführt und ausgewertet wurden, so finden sich aufgrund von begrenzten Ressourcen Aspekte, die in Folgeversuchen berichtigt oder geändert werden müssten.

Allen voran trifft dies vor allem auf die genutzten Probandenkollektive zu, die im Mittel immer zwischen 25 und 28 Jahren alt waren und zudem eine sehr geringe Varianz im Alter aufwiesen. Zusätzlich lassen sich die persönlichen Eigenschaften und Erfahrungen der Versuchspersonen aus den Befragungen vor und nach den Versuchen eher im Bereich hoher Technikaffinität, Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Technologien und teilweise auch bereits Erfahrung in Simulations- oder Fahrversuchen zuordnen. Der hohe Anteil männlicher Probanden bestätigt diese These. Es kann somit nur gesagt werden, dass das hier gezeigte Gesamtkonzept auf diese Gruppe von Personen einen positiven Einfluss auf die Fahrleistung hatte.

Ein weiterer sehr entscheidender Faktor ist der Versuchsträger bzw. die Versuchsumgebung. Die Versuche fanden alle im Simulator oder im Stand statt. Zwar stellt der Simulator keine reale Abbildung der primären Fahraufgabe dar (Buld & Krüger, 2002), doch kann dieser bzgl. der relativen Validität als Plattform zur Versuchsdurchführung herangezogen werden (Negele, 2007). Der größte Nachteil entsteht dabei durch ein fehlendes Geschwindigkeitsgefühl sowie fehlende haptische Rückmeldungen während der Fahrt im Vergleich zu einem Realfahrzeug.

Zusammenfassung und Diskussion

Bei der Szenarienwahl waren ebenfalls Grenzen der Umsetzbarkeit durch die Simulationsumgebung vorhanden. So kann es sein, dass diese u.U. zu früh für den Probanden einsehbar waren und darstellungsbedingt nicht immer realitätsnahen Situationen entsprachen. Auch die Häufigkeit durchfahrener LSA, Kreuzungen oder kritischer Manöver war in den Versuchen gegebenenfalls höher als bei alltäglichen Stadtfahrten aufgrund der begrenzten Versuchsdauer und der Notwendigkeit zur Aufzeichnung nutzbarer Daten. Einige Empfehlungen durch FAS zeigten keinen positiven Einfluss auf die Fahrperformance der Probanden. Dazu gehörten neben den Informationen des Spurverlassenswarners und des Überholassistenten, die tatsächlich subjektiv keinen größeren Mehrwert in der Stadt darstellen, auch der Fahrstreifenwechsellassistent. Dieser unterstützt definitiv ein Manöver, welches im urbanen Verkehr durch Empfehlungen des MMIs assistiert werden sollte, aber in den durchgeführten Versuchen nicht optimal umgesetzt war.

Weiterhin fiel technikbedingt leider das wichtige Tool des Eye-Trackings zur Bewertung von MMI-Konzepten weg, was große Vorteile bei der Evaluation solcher Systeme bringen würde. Durch die Nutzung des Head-Up Displays und den technischen Grenzen aktueller Blickerfassungssysteme wurde eine Bewertung von Blindzeiten und Blickmustern nur einmalig qualitativ anhand von Heatmaps vorgenommen. Die Überlagerung der Head-Up Ebene mit der Ebene der Szenerien macht eine eindeutige Zuordnung unmöglich. Dabei wäre eine Evaluation von veränderten Blickabwendungszeiten gerade auch bei geringen Geschwindigkeiten dringend erforderlich. Während im Autobahn- und Landstraßenverkehr für die Interaktion mit dem MMI der FAS und FIS meist mit der 2-Sekunden-Regel (National Highway Traffic Safety Administration, 2012) bewertet wird, was im Stadtverkehr etwa 25-30 m ausmacht, so ist diese Blindzeit bei der Vielzahl vor allem schwächerer Verkehrsteilnehmer nicht tragbar. Fußgänger oder Fahrradfahrer in Fahrzeugnähe benötigen eine dauerhafte Überwachung durch den Fahrer, um kritische Situationen zu vermeiden. Sollte der Fahrer also aufgrund einer schlecht dargestellten Information im Display im Fahrzeug einen anderen Verkehrsteilnehmer übersehen, dann hat das MMI seinen Zweck verfehlt. Zwar wurden alle Anzeigen und Feedbacks so ausgelegt, dass möglichst wenig oder gar keine Blickzuwendung zu den Komponenten notwendig ist, doch fehlt hier eine finale Überprüfung anhand von Blickdaten.

7.5 Fazit

Auf der Grundlage von vorhandenen MMI-Systemen konnte ein multi-modales Anzeige-konzept zur Handlungsempfehlung entwickelt werden, was den Fahrer im städtischen Verkehr unterstützt, um sein Fahrzeug *stressfrei*, *komfortabel* und *effizient* ans Ziel zu bringen. Die maßgebliche Eigenschaft dieses Mensch-Maschine-Interfaces geht dabei auf eine *handlungsorientierte* Darstellungsart der Informationen zurück, welche gleichzeitig dem *integrativen* Charakter eines Gesamtsystems gerecht wird. Im iterativen Anpassungsprozess als Konsequenz durchgeführter Simulator- und Realversuche zeigten sich vor allem Stärken in geschwindigkeitsabhängigen Szenarien wie Geschwindigkeitshaltung, effiziente Durchfahrt durch LSA oder Unterstützung an Kreuzungen. Die sich daraus ergebenden Vorteile der Erweiterbarkeit (um Funktionen und Komponenten) und handlungsorientierten Darstellart ergeben ein zukunftssicheres MMI-Konzept, was auch in künftigen Szenarien und Automationsgraden zuverlässig bleibt.

Quellenverzeichnis

- Abel, H.-B., Adamietz, H., Leuchtenberg, B., & Schmidt, N. (2005). Integration von Night-Vision und Head-up-Display im Kraftfahrzeug. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 107(11), 984–989. doi:10.1007/BF03223509
- Alferdinck, J. W. A. M. (2006). Target detection and driving behaviour measurements in a driving simulator at mesopic light levels. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 26(3), 264–280. doi:10.1111/j.1475-1313.2006.00324.x
- Arand, W., & Kupke, P. (1982). Anforderungen an Fahr simulatoren zur Untersuchung des Fahrer-Fahrzeug-Verhaltens sowie der verkehrstechnisch relevanten Eigenschaften von Straßenentwürfen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Nr. 375.
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. doi:10.1080/10447310802205776
- Baumann, K., & Lanz, H. (1999). *Mensch-Maschine-Schnittstellen elektronischer Geräte: Leitfaden für Design und Schaltungstechnik*. Berlin: Springer.
- Baumann, M., Keinath, A., Krems, J. F., & Bengler, K. (2004). Evaluation of in-vehicle HMI using occlusion techniques: experimental results and practical implications. *Applied ergonomics*, 35(3), 197–205.
- Belherazem. (2015). *Implementierung und Usability-Untersuchung eines MMI Konzepts mit Fahrerassistenzsystemen anhand von Probandenversuche im Fahr simulator*. Diplomarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Bellotti, F., Gloria, A. de, Poggi, A., Andreone, L., Damiani, S., & Knoll, P. (2004). Designing configurable automotive dashboards on liquid crystal displays. *Cognition, Technology & Work*, 6(4), 247–265. doi:10.1007/s10111-004-0163-1
- Bengler, K., Götze, M., Pfannmüller, L., & Zaindl, A. (2015). To See or not to See- Innovative Display Technologies as Enablers for Ergonomic Cockpit Concepts. In *Proceedings of the electronic displays Conference* .
- Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung [Operation functions in vehicle control]. *Ergonomics*, 13(3), 353–377. doi:10.1080/00140137008931152

Quellenverzeichnis

- Bissbort, F. (2013). *Entwicklung eines Konzeptes zur optimalen Informationsausgabe auf MMI Komponenten unter speziellen situativen Bedingungen im urbanen Verkehr*. Semesterarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Bittner, A. C., Byers, J. C., Hill, S. G., Zaklad, A. L., & Christ, R. E. (1989). Generic Workload Ratings of a Mobile Air Defense System (LOS-F-H). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 33(20), 1476–1480. doi:10.1177/154193128903302026
- Blume, H.-J. (2011). Instrumentierung. In H. Wallentowitz & K. Reif (Eds.), *ATZ-MTZ Fachbuch. Handbuch Kraftfahrzeugelektronik* (2nd ed., pp. 403–412). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: Extras online* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2010, limitierte Sonderausgabe [2016], Student Edition). *Springer-Lehrbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer. Retrieved from <http://www.springer.com/>
- Brebner, J. T., & Welford, A. T. (1980). Introduction: an historical background sketch. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times* (pp. 1–23). New York: Academic Press.
- Breisinger, M. (2007). *Anzeigekonzepte für Head-Up Displays im Automotive Bereich*. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians Universität. Fakultät für Informatik.
- Bubb, H. (1977). *Ergonomie des Mensch-Maschine-Systems*. Habilitation, Technische Universität München. München.
- Bubb, H. (1993). Informationswandel durch das System. In H. Schmidtke (Ed.), *Ergonomie* (3rd ed., pp. 333–390). München [u.a.]: Hanser.
- Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., & Vollrath, M. (2015). *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Buld, S., & Krüger, H.-P. (2002). Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit. *Abschlussbericht BMBF, Nr. 19*, S. 9812.
- Burghardt, S. (2009). *Anzeigekonzepte für ein frei programmierbares Kombinationsinstrument*. Diplomarbeit, Universität Koblenz Landau. Koblenz.
- Cao, A., Chintamani, K. K., Pandya, A. K., & Ellis, R. D. (2009). NASA TLX: software for assessing subjective mental workload. *Behavior research methods*, 41(1), 113–117. doi:10.3758/BRM.41.1.113.

Quellenverzeichnis

- Chen, S. (2015). *Ausarbeitung, Umsetzung und Evaluation von MMI-Konzepten für Fahrerassistenzsysteme im urbanen Verkehr*. Masterarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Conti, A., Dlugosch, C., Vilimek, R., Keinath, A., & Bengler, K. (2013). An assessment of cognitive workload using detection response tasks. In N. A. Stanton (Ed.), *Advances in human factors and ergonomics series. Advances in human aspects of road and rail transportation* (pp. 735–743). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Corbin, L., & Marquer, J. (2009). Individual differences in Sternberg's memory scanning task. *Acta psychologica*, 131(2), 153–162. doi:10.1016/j.actpsy.2009.04.001
- Damböck, D. (2013). *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- De Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Haren: The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen.
- Deregibus, E., Bianco, E., Andreone, L., Amditis, A., Polychronopoulos, A., Kussmann, H., ... (2004). *Driver-vehicle interaction and communication management: AIDE IST-1-507674*. Retrieved from http://www.aide-eu.org/pdf/sp3_deliv_new/aide_d3_4_1_summary.pdf
- DIN EN ISO 16673 (2007). *Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems*: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 2575 (2010). *Road vehicles - Symbols for controls, indicators and tell-tales*. Genf: International Organization for Standardization.
- DIN EN ISO 15008 (2009). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug*: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 15005 (2003). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen - Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements*: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-11 (2017). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*: Beuth Verlag.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, (24), 98–112.

Quellenverzeichnis

- Donner, E., Winkle, T., Walz, R., & Schwarz, J. (2007). *RESPONSE 3 – Code of Practice für die Entwicklung, Validierung und Markteinführung von Fahrerassistenzsystemen*. Sindelfingen: VDA. Technischer Kongress. 28729.
- Ehmans, D., Zahn, P., Spannheimer, H., & Freymann, R. (2003). Integrierte Längs- und Querführung: Ein neues Konzept für Fahrerassistenzsysteme. *ATZ*, 105(4), 346–352.
- Eichinger, A. (2011). *Bewertung von Benutzerschnittstellen für Cockpits hochagiler Flugzeuge*. Dissertation. Universität Regensburg. Fakultät II Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft.
- Eisner, J. (2015). *Vergleich zweier Anzeigeconzepte für Head-Up Displays – ein Probandenversuch*. Bachelorarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Färber, B. (1987). *Geteilte Aufmerksamkeit: Grundlagen und Anwendung im motorisierten Strassenverkehr. Mensch, Fahrzeug, Umwelt: Bd. 20*. Köln: TÜV Rheinland.
- Feldhütter, A., Gold, C., Schneider, S., & Bengler, K. (2016). How Duration of Automated Driving Influences Take-Over Performance and Gaze Behavior. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Ed.), *Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!*. Dortmund: GfA Press.
- Fieandt, K. v., Huhtala, A., Kullberg, P., & Saarl, K. (1956). *Personal tempo and phenomenal time at different age levels*. (Reports from the Psychological Institute No. 2). University of Helsinki.
- Galton, F. (1899). On instruments for (1) testing perception of differences of tint and for (2) determining reaction time. *Journal of the Anthropological Institute*. *Journal of the Anthropological Institute*, 19, 27–29.
- Gasser, T. M. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe*. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Fahrzeugtechnik (F): Vol. 83*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wissenschaft.
- Geiser, G. (1985). Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. *ATZ*, (87), 74–77.
- Gelau, C., Henning, M. J., & Krems, J. F. (2009). On the reliability of the occlusion technique as a tool for the assessment of the HMI of in-vehicle information and communication systems. *Applied ergonomics*, 40(2), 181–184. doi:10.1016/j.apergo.2008.04.008

Quellenverzeichnis

- Gevatter, H.-J., & Grünhaupt, U. (2006). *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion* (2., vollständig bearbeitete Aufl). VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gold, C. G. (2016). *Modeling of Take-Over Performance in Highly Automated Vehicle Guidance*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Götze, M., & Bengler, K. (2015). Urban Driving: Where to Present What Types of Information – Comparison of Head-Down and Head-Up Displays. In S. Yamamoto (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science. Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Context* (pp. 190–200). Cham: Springer International Publishing.
- Götze, M., Bißbort, F., Petermann-Stock, I., & Bengler, K. (2014). “A Careful Driver is One Who Looks in Both Directions When He Passes a Red Light” – Increased Demands in Urban Traffic. In Hutchison et al. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science. Human Interface and the Management of Information. Information and Knowledge in Applications and Services* (pp. 229–240). Cham: Springer International Publishing.
- Götze, M., Conti A.S., Keinath, A., Said, T., & Bengler, K. (2014). The assessment of a new cockpit colour concept using the Occlusion Method. In D. De Waard et al. (Eds.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2013 Annual Conference* (pp. 65–77).
- Götze, M., Ruff, F., & Bengler, K. (2015). Optimal Information Output in Urban Traffic Scenarios: An Evaluation of Different HMI Concepts. *Procedia Manufacturing*, 3, 739–746. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.317
- Götze, M., Schweiger, C., Eisner, J., & Bengler, K. (2016). Comparison of an old and a new Head-Up Display design concept for urban driving. In D. De Waard et al. (Eds.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2015 Annual Conference*. D, K.A. Brookhuis, A. Toffetti, A. Stuijver, C. Weikert, D. Coelho, D. Manzey, A.B. Ünal, S. Röttger, and N. Merat (pp. 265–277). ISSN 2333-4959 (online).
- Graichen, M., Nitsch, V., & Färber, B. (2018). A Meta-perspective on Research Activities in UR:BAN Human Factors in Traffic. In K. Bengler, J. Drüke, S. Hoffmann, D. Manstetten, & A. Neukum (Eds.), *UR:BAN Human Factors in Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic. ATZ/MTZ-Fachbuch* (pp. 29–46). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Gründl, M. (2005). *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität Regensburg.

Quellenverzeichnis

- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In *Advances in Psychology. Human Mental Workload* (pp. 139–183). Elsevier.
- Herrler, M. (2006). *Systemergonomie und Usability-Tests bei bildschirmbasierten Bedienoberflächen im Automobil*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen. München.
- Holm, S. (1979). A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, Vol. 6(2), 65–70.
- Horrey, W. J., Wickens, C. D., & Alexander, A. L. (2016). The Effects of Head-Up Display Clutter and In-Vehicle Display Separation on Concurrent Driving Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47(16), 1880–1884. doi:10.1177/154193120304701610
- ISO 26022 (2010). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte über Transportinformationen und Regelsysteme - Simulierter Spurwechseltest zur Generierung fahrzeuginterner sekundärer Aufgaben*: Beuth Verlag.
- Jürgensohn, T., & Timpe, K.-P. (2001). *Kraftfahrzeugführung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Keinath, A., Baumann, M., Gelau, C., Bengler, K., & Krems, J. F. (2001). Occlusion as a technique for evaluating in-car displays. In *Engineering psychology and cognitive ergonomics* (pp. 391–397). Aldershot: Ashgate.
- Knappe, G., Keinath, A., & Meinecke, C. (2006). Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltequalität im Kontext der Fahrsimulation. In S. Leuchter, L. Urbas, & M.R. Baumann (Eds.), *MMI Interaktiv - Aufmerksamkeit und Situationawareness beim Autofahren*: (1st ed., pp. 3–13).
- Kobiela, F. (2011). *Fahrerintentionserkennung für autonome Notbremssysteme*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kuckartz, U., Rädiker, S., Ebert, T., & Schehl, J. (2013). *Statistik: Eine verständliche Einführung* (2., überarb. Aufl. 2013). Wiesbaden, s.l.: VS Verlag für Sozialwissenschaften. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-19890-3>
- Lange, C. (2008). *Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.

Quellenverzeichnis

- Lange, C., Bubb, H., Tönnis, M., Klinker, G., Ergonomie, F., & Ökologie, F. (2008). Sicherheitspotential und Verbrauchsreduzierung durch ein intelligent geregeltes aktives Gaspedal. *Tagungsband der 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*, 7–8.
- Lange, C., Schmitt, G., Zell, A., Arcati, A., Bubb, H., & Bengler, K. (2010). *Haptischer Schaltpunkthinweis am aktiven Gaspedal: Realversuche zur Parametrisierung, Variantenauswahl und zur Bestimmung des Potentials zur Verbrauchsreduzierung*. 4. Tagung Fahrerassistenz.
- Lehsing, C., Benz, T., & Bengler, K. (2016). Insights into Interaction - Effects of Human-Human Interaction in Pedestrian Crossing Situations using a linked Simulator Environment. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 138–143. doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.475
- Lindberg, T. (2012). *Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme* (1. Aufl). *Fahrzeugtechnik*. München: Dr. Hut.
- Liu, Y.-C. (2003). Effects of using head-up display in automobile context on attention demand and driving performance. *Displays*, 24(4-5), 157–165. doi:10.1016/j.displa.2004.01.001
- Liu, Y.-C., & Wen, M.-H. (2004). Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD): driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(5), 679–697. doi:10.1016/j.ijhcs.2004.06.002
- Mages, M. (2009). *Top-Down-Funktionsentwicklung eines Einbiege- und Kreuzenassistenten*. Dissertation, Technischen Universität Darmstadt. Fachbereich Maschinenbau.
- Michon, J. A. (1986). A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human Behavior and Traffic Safety* (pp. 485–524). Boston, MA: Springer US.
- Miličić, N. (2010). *Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug*. Dissertation. Technische Universität München. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.
- Miličić, N., Ablaßmeier, M., & Bengler, K. (2008). Das Head-Up Display im Fahrzeug - Potenzial zukünftiger Nutzung. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Ed.), *Jahresdokumentation: Vol. 2008. Produkt- und Produktions-Ergonomie - Aufgabe für Entwickler und Planer. Bericht zum 54. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 9. - 11. April 2008*. Dortmund: GfA-Press.
- Muigg, A., Meurle, J., & Rigoli, G. (2008). *Negative Auswirkungen von situativ ungünstigen Meldungen*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz.

Quellenverzeichnis

- Mulder, M., van Paassen, M. M., & Abbink, D. A. (2008). Haptic gas pedal feedback. *Ergonomics*, 51(11), 1710–1720. doi:10.1080/00140130802331583
- National Highway Traffic Safety Administration. (2012). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices: Docket No. NHTSA-2010-0053*. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION.
- Naujoks, F., Forster, Y., & Neukum, A. (2017). *HMI für kooperatives hochautomatisiertes Fahren* (Ko-HAF interim presentation). Aschaffenburg.
- Naujoks, F., Grattenthaler, H., & Neukum, A. (2012). Zeitliche Gestaltung effektiver Fahrerinformationen zur Kollisionsvermeidung auf der Basis kooperativer Perzeption. In K. Dietmayer, K. Bengler, B. Färber, M. Maurer, C. Stiller, & H. Winner (Eds.), 8. *Workshop Fahrerassistenzsysteme – FAS 2012* (pp. 107–117). Darmstadt: Uni-DAS e.V.
- Negele, H. J. (2007). *Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung*. Dissertation. Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Noy, Y. I., Lemoine, T. L., Klachan, C., & Burns, P. C. (2004). Task interruptability and duration as measures of visual distraction. *Applied ergonomics*, 35(3), 207–213. doi:10.1016/j.apergo.2003.11.012
- Peters, S., Hult, R., Sjöberg, J., & Nijmeijer, H. (2016). *Road Positioning and Lane Identification for Autonomous Vehicles*. Internship Report. Eindhoven University of Technology. Mechanical Engineering.
- 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. doi:10.1109/TSMC.1983.6313160
- Raubitschek, C. (2008). *Prioritätenorientierte Implementierung einer Menüinteraktion im Head-up Display für den Automobilbereich*. Diplomarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Reichart, G. (2001). *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen* (Als Ms. gedr). *Fortschritt-Berichte / VDI Mensch-Maschine-Systeme: Nr. 7*. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Reif, K. (2010). *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme*. Bosch Fachinformation *Automobil*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden.
- Rittger, L., & Götze, M. (2018). HMI Strategy – Recommended Action. In K. Bengler, J. Drüke, S. Hoffmann, D. Manstetten, & A. Neukum (Eds.), *UR:BAN Human Factors in*

Quellenverzeichnis

- Traffic. Approaches for Safe, Efficient and Stress-free Urban Traffic. ATZ/MTZ-Fachbuch.* Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Robinson, E. S. (1934). Work of the integrated organism. In C. Murchison (Ed.), *Handbook of General Experimental Psychology*. Worcester, MA: Clark University Press.
- Rockwell, T. H. (1972). Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: An overview. *Proceedings of the Sixth Australian Road Research Board Conference*, 6(3), 316–331.
- Rommerskirchen, C. P., Helmbrecht, M., & Bengler, K. J. (2014). The Impact of an Anticipatory Eco-Driver Assistant System in Different Complex Driving Situations on the Driver Behavior. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(2), 45–56. doi:10.1109/MITS.2014.2307078
- Ruff, F. (2014). *Ausarbeitung, Umsetzung und Evaluation eines MMI-Konzepts für Fahrerassistenzsysteme zur optimalen Informationsausgabe in urbanen Verkehrssituationen*. Diplomarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- SAE International. (2014). *Sae surface vehicle information report: Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems*. (No. J3016).
- Saxby, D. J., Matthews, G., Warm, J. S., Hitchcock, E. M., & Neubauer, C. (2013). Active and passive fatigue in simulated driving: Discriminating styles of workload regulation and their safety impacts. *Journal of experimental psychology. Applied*, 19(4), 287–300. doi:10.1037/a0034386
- Schartner, A. (2013). *Evaluation von MMI-Anzeige- Konzepten für Fahrerassistenzsysteme in urbanen Verkehrssituationen*. Semesterarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Schlott, S. (2011). Head-Up-Displays für das Kleinwagensegment. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 113(11), 878–879. doi:10.1365/s35148-011-0201-2
- Schmidtke, H. (1965). *Die Ermüdung. Symptome – Theorien – Meßversuche*. Bern und Stuttgart: Huber Verlag.
- Schröder, T. (2012). *Analytische Betrachtung der Auswirkungen komplexer Verkehrssituationen*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Schuster, A., Sattler, J., & Hoffmann, S. (2011). *Bestimmen der aktuellen Abmessungen differenzierter Personen-Bemessungsfahrzeuge*. Institut für Verkehrssystemtechnik,

Quellenverzeichnis

- Westfälische Hochschule Zwickau. Retrieved from <http://www.fh-zwickau.de/fileadmin/ugroups/kt/iev/projekte/FoBemPkw.pdf>
- Schweiger, C. (2015). *Generierung und Vergleich einer aktuellen Head-Up Display Anzeige mit einem generischen Head-Up Display Konzept*. Bachelorarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Statistisches Bundesamt. (2013). *Verkehr auf einen Blick*. Wiesbaden. Retrieved from <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/Br oschuereVerkehrBlick.html>
- Sternberg, S. (1975). Memory scanning: New findings and current controversies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27(1), 1–32.
- Thierfelder, S. (2007). *Konstruktion eines aktiven Gaspedals*. Semesterarbeit. Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Thoma, S. (2010). *Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für Fahrerassistenzsysteme im Kreuzungsbereich*. Dissertation, Technische Universität München. Fakultät für Informatik.
- Twaddle, H., Schendzielorz, T., & Fakler, O. (2014). Bicycles in Urban Areas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2434, 140–146. doi:10.3141/2434-17
- van der Horst, R. (2004). Occlusion as a measure for visual workload: an overview of TNO occlusion research in car driving. *Applied ergonomics*, 35(3), 189–196. doi:10.1016/j.apergo.2003.11.010
- van Gijssel, A. (2013). *Assisting Driver Sovereignty: A Fail-Safe Design Approach to Driver Distraction*. Dissertation. Technische Universiteit Delft. Industrial Design Engineering.
- VDI/VDE 3850-1 (2014). *Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen - Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI/VDE 3850-3 (2015). *Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen - Merkmale, Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten von Benutzungsschnittstellen mit Touchscreens*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Wallerger, M. (2016). *Realisierung und Evaluation eines MMI-Konzepts für Fahrerassistenzsysteme im urbanen Verkehr*. Masterarbeit, Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.

Quellenverzeichnis

- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance Requires Hard Mental Work and Is Stressful. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 433–441. doi:10.1518/001872008X312152
- Weber, J. (2005). *Anzeigekonzepte für Head-up Displays*. Diplomarbeit. Technische Universität München. Fakultät für Maschinenwesen.
- Welford, A. T. (1980). Choice reaction time: Basic concepts. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times* (pp. 73–128). New York: Academic Press.
- Wickelgren, W. A. (1977). Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. *Acta psychologica*, 41(1), 67–85. doi:10.1016/0001-6918(77)90012-9
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention* (pp. 63–101). New York: Academic Press.
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In D. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp. 3–34). London: Taylor & Francis.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance* (2nd ed). New York, NY: HarperCollins Publishers.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177.
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2nd ed). Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall.
- Winner, H. (Ed.). (2012). *ATZ-MTZ-Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort ; mit 45 Tabellen* (2., korr. Aufl). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., & Singer, C. (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Wirtz, M. A., & Strohmer, J. (2013). *Dorsch: Lexikon der Psychologie* (16. vollst. überarb. Aufl). Bern: H. Huber.
- Wittmann, M., Kiss, M., Gugg, P., Steffen, A., Fink, M., Pöppel, E., & Kamiya, H. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied ergonomics*, 37(2), 187–199. doi:10.1016/j.apergo.2005.06.002
- WIVW GmbH. (2017). *Driving Simulation and SILAB*. Retrieved from <https://wivw.de/en/silab/>

Quellenverzeichnis

- Wolf, H., Zöllner, R. M., & Bubb, H. (2006). *Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung mehrerer Fahrerassistenzsysteme an den Fahrer*. In 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz.
- Yanko, M. R., & Spalek, T. M. (2013). Route familiarity breeds inattention: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 80–86. doi:10.1016/j.aap.2013.04.003
- Yellott, J. I. (1971). Correction for fast guessing and the speed-accuracy tradeoff in choice reaction time. *Journal of Mathematical Psychology*, 8(2), 159–199. doi:10.1016/0022-2496(71)90011-3
- Zell, A., Leone, C., Arcati, A., & Schmitt, G. (2010). Aktives Fahrpedal als Schnittstelle zum Fahrer. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 112(4), 276–279. doi:10.1007/BF03222160