

FAT-Schriftenreihe 350

HMI Anforderungen für den automatisierten Individualverkehr unter Berücksichtigung von Leistungsmöglichkeiten und -grenzen älterer Nutzer



HMI Anforderungen für den automatisierten Individualverkehr unter Berücksichtigung von Leistungsmöglichkeiten und -grenzen älterer Nutzer

Forschungsstelle

Technische Universität Darmstadt
Institut für Arbeitswissenschaften

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder

Projektbearbeitung

M.Sc. Sarah Schwindt

M.Sc. Nina Theobald

M.Sc. Jonas Walter

M.Sc. Philip Joisten

Dr.-Ing. Bettina Abendroth

unter Mitarbeit von

Dr. phil. Heike Märki

M.Sc. Andreas Müller

B.Sc. Andreas Webler

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung
Automobiltechnik e.V. (FAT) gefördert.

Zusammenfassung

Ziel dieses Projekts war die Identifikation der spezifischen Erwartungen und Anforderungen älterer Menschen an die Human Machine Interface (HMI) Gestaltung in automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 2 und höher) unter Berücksichtigung ihrer Leistungsmöglichkeiten und -grenzen. Dabei sollten außerdem die Auswirkungen der Interface Gestaltung auf die Akzeptanz, das Vertrauen und die User Experience Älterer betrachtet werden. Für die Aggregation der dazu bereits vorliegenden Forschungserkenntnisse sowie die Identifikation von Forschungslücken wurde zunächst eine systematische Literaturrecherche und -analyse durchgeführt. Zur Untersuchung der identifizierten Forschungslücken wurden weiterhin Forschungsfragen erarbeitet, die mit Hilfe von Expertenworkshops und videobasierten Befragungsstudien beantwortet wurden.

Zu den zentralen Ergebnissen aus Literaturrecherche und eigenen Untersuchungen zählt, dass ältere Fahrende in verschiedenen verkehrsrelevanten Kompetenzbereichen altersspezifische Leistungsdefizite aufweisen. Dazu zählen zum einen sensorische Kompetenzen, wie das Seh- und Hörvermögen, zum anderen kognitive Kompetenzen wie Aufmerksamkeitskapazität und Orientierungsfähigkeit sowie motorische Kompetenzen wie Muskelkraft und Beweglichkeit (siehe Kapitel 2.2). Zur Kompensation dieser Leistungsdefizite verfügen ältere Fahrende sowohl auf strategischer als auch auf taktischer Ebene über diverse Strategien (siehe Kapitel 2.3). Diese könnten einerseits das Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge beeinflussen, wenn bspw. die Fahrautomatisierung die Präferenzen Älterer bezüglich Streckencharakteristik oder Fahrstil nicht berücksichtigt, andererseits aber auch die Übernahmeleistung im Fall eines Take-Over Request (TOR) beeinträchtigen (siehe Kapitel 3.2).

Generell sehen ältere Fahrende in automatisierten Fahrzeugen sowohl Vorteile als auch Risiken. Einerseits sehen sie das Potential, trotz altersbedingter Einschränkungen ihre Mobilität aufrechterhalten zu können. Andererseits haben sie Angst, die Kontrolle abzugeben und dem System ausgeliefert zu sein (siehe Kapitel 2.4). Dementsprechend wünschen Ältere eine Möglichkeit, um das Fahrautomatisierungssystem überwachen zu können und fordern Monitoring- und Informationssysteme. Welche Informationen dabei über welche Modalität abgebildet werden sollen, ist stark situationsabhängig (siehe Kapitel 3.3 und 3.4). Bedingt durch ihre altersspezifischen Leistungsdefizite haben ältere Fahrende weiterhin besondere Anforderungen an die Modalität und Ausgestaltung eines HMIs. Beispielsweise bevorzugen sie die Kombination aus akustischer und visueller Modalität und haben Schwierigkeiten vibrotaktile Signale und unterschiedliche Modalitätsintensitäten wahrzunehmen. Auch in Bezug auf Konfigurationsmöglichkeiten, Erlernbarkeit und verwendete Informationsstrategie sind besondere Anforderungen älterer Fahrender zu beachten (siehe Kapitel 2.7).

Zur Steigerung des Vertrauens älterer Fahrender in automatisierte Fahrzeuge sollte generell ein hoher Informationsgehalt der visuellen und akustischen Informationsübermittlung gewählt werden (siehe Kapitel 2.6, 3.3 und 3.4). Sowohl die ausführliche visuelle Darstellung als auch die ausführliche Sprachausgabe tragen bei Älteren zur Verbesserung von Nachvollziehbarkeit und Antizipation des Systemverhaltens, der Situationseinschätzung sowie der Erkennung des Systemzustands bei. Auch die User Experience kann durch ein HMI mit ausführlicher visueller Darstellung und Sprachausgabe gesteigert werden.

Basierend auf den Projektergebnissen wurde ein Anforderungskatalog generiert, der eine ausführliche Übersicht der ermittelten Anforderungen Älterer an die Gestaltung eines HMI für automatisierte Fahrzeuge sowie Lösungsvorschläge für die HMI Gestaltung enthält (siehe Kapitel 4).

Summary

The goal of this project was to identify the specific expectations and requirements of older people for human machine interface (HMI) design in automated vehicles (SAE Level 2 and higher), taking into account their capabilities and limitations. Furthermore, the impact of the interface design on the acceptance, trust and user experience of the elderly should be considered. A systematic literature review and analysis was first conducted to aggregate the existing research findings on this topic and to identify research gaps. To investigate the identified research gaps, research questions were further developed, which were answered with the help of expert workshops and video-based survey studies.

One of the key findings from literature research and our own investigations is that older drivers exhibit age-specific performance deficits in various traffic-related spheres of competence. These include sensory competencies such as vision and hearing, cognitive competencies such as attention capacity and orientation, and motor competencies such as muscle strength and mobility (see chapter 2.2). To compensate these performance deficits, older drivers have various strategies at their disposal, both on a strategic and on a tactical level (see chapter 2.3). On the one hand, these could influence the trust in automated vehicles if, for example, the automated driving system does not take into account the preferences of older drivers with regard to route characteristics or driving style, but on the other hand, they could also impair the takeover performance in the event of a Take-Over Request (TOR) (see chapter 3.2).

In general, older drivers see both advantages and risks in automated vehicles. On the one hand, they see the potential to maintain their mobility despite age-related limitations. On the other hand, they are afraid of giving up control and being at the mercy of the system (see chapter 2.4). Accordingly, older people want to be able to monitor the automated driving system and demand monitoring and information systems. Which information should be displayed via which modality depends strongly on the specific situation (see chapter 3.3 and 3.4). Due to their age-specific performance deficits, older drivers also have special requirements for the modality and design of an HMI. For example, they prefer a combination of acoustic and visual modality and have difficulty perceiving vibrotactile signals and different modality intensities. Older drivers also have special requirements with regard to configuration options, learnability and the information strategy used (see chapter 2.7).

To increase the confidence of older drivers in automated vehicles, a high information content of the visual and acoustic information transmission should generally be selected (see chapters 2.6, 3.3 and 3.4). Both the detailed visual representation and the detailed voice output contribute to the improvement of comprehensibility and anticipation of the system behavior, situation assessment, and recognition of the system state for older people. User experience can also be enhanced by an HMI with detailed visual representation and voice output.

Based on the project results, a requirements catalog was generated that contains a detailed overview of the identified requirements of elders for the design of an HMI for automated vehicles as well as proposed solutions for the HMI design (see chapter 4).

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	ii
Summary.....	iii
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	ix
1 Einleitung.....	1
2 Literaturrecherche und -analyse (AP 2).....	4
2.1 Vorgehen: Systematische Literaturrecherche	5
2.2 Altersspezifische Leistungsdefizite	7
2.2.1 Altersbedingte Leistungsdefizite im Kontext verkehrsrelevanter Fähigkeiten	8
2.2.2 Relevanz altersspezifischer Leistungsdefizite im Kontext des automatisierten Fahrens	12
2.3 Kompensationsstrategien.....	15
2.3.1 Kompensationsstrategien beim manuellen und automatisierten Fahren	15
2.3.2 Auswirkungen der Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren	17
2.3.3 Einfluss bestehender Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren.....	18
2.4 Altersspezifische Erwartungen und Bedürfnisse	19
2.4.1 Einstellung zu automatisierten Fahrzeugen	19
2.4.2 Bedürfnis nach Kontrolle.....	20
2.4.3 Erwartungen an den Fahrstil automatisierter Fahrzeuge.....	21
2.4.4 Erwartungen an die HMI Gestaltung	21
2.5 Kontrolltransitionen, Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein	22
2.5.1 Unterstützung effektiver und effizienter Kontrolltransitionen.....	22
2.5.2 Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und der Fahraufgabe	28
2.5.3 Situations- und Modusbewusstsein bei einem TOR	32
2.6 Vertrauen, Akzeptanz und User Experience	34
2.6.1 Vertrauen.....	34
2.6.2 Akzeptanz.....	35
2.6.3 User Experience.....	36
2.7 Anforderungen älterer Fahrender an das HMI - Gestaltungsmaßnahmen	38
2.7.1 Modalität	38
2.7.2 Ausgestaltung	38
2.7.3 Konfiguration und Einstellbarkeit	39
2.7.4 Erlernbarkeit	39
2.7.5 Benötigte Informationen und Informationsstrategien.....	40
2.8 Forschungslücken	41
3 Ermittlung altersspezifischer Erwartungen und Bedürfnisse (AP 3)	42
3.1 Forschungsfragen und Untersuchungsansätze für AP3	42
3.2 Expertenworkshop.....	44
3.2.1 Vorgehen	44

3.2.2	Ergebnisse	44
3.3	Befragung I.....	47
3.3.1	Szenarien und HMIs.....	47
3.3.2	Interviewablauf	52
3.3.3	Ergebnisse	53
3.3.4	Fazit.....	61
3.4	Befragung II.....	62
3.4.1	Szenarien und HMIs.....	62
3.4.2	Interviewablauf	66
3.4.3	Ergebnisse	67
3.4.4	Fazit.....	92
4	Anforderungskatalog zur HMI Gestaltung und Lösungsvorschläge (AP 4)	93
5	Fazit und Ausblick.....	97
6	Literaturverzeichnis	101
A	Katalog – Allgemeine Gestaltungshinweise zur HMI Gestaltung für ältere Fahrende	111
B	Katalog – Situationsspezifische Gestaltungshinweise zur HMI Gestaltung für ältere Fahrende	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete (AP)	1
Abbildung 2: „Advanced Organizer“ – Forschungsfragen	3
Abbildung 3: „Advanced Organizer“ – Forschungsfragen für Literaturrecherche in AP 2 und Strukturierung der folgenden Kapitel	4
Abbildung 4: PRISMA Flow-Diagramm.....	6
Abbildung 5: „Advanced Organizer“ – grün umrandete Forschungsfragen für Untersuchungen in AP 3	42
Abbildung 6: Szenarien – Befragung I	48
Abbildung 7: Matrix der HMI Varianten – Befragung I.....	49
Abbildung 8: HMI Varianten 1 und 2 für die kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I.....	50
Abbildung 9: HMI Varianten 3 und 4 für die kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I.....	50
Abbildung 10: HMI Varianten 1 und 2 für TOR Szenario – Befragung I	51
Abbildung 11: HMI Varianten 3 und 4 für TOR Szenario – Befragung I	51
Abbildung 12: Interviewablauf – Befragung I.....	52
Abbildung 13: Geschlecht, Alter, Kategorie, Fahrpraxis und Fahrleistung der Probanden – Befragung I	54
Abbildung 14: Ausstattung der von den Probanden am häufigsten gefahrenen Fahrzeuge – Befragung I	55
Abbildung 15: Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen – Befragung I.....	55
Abbildung 16: User Experience der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I....	56
Abbildung 17: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I.....	57
Abbildung 18: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I	58
Abbildung 19: Szenarien – Befragung II.....	62
Abbildung 20: HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt – Befragung II	63
Abbildung 21: HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg – Befragung II	64
Abbildung 22: HMI Varianten für Szenario Raststätte – Befragung II.....	65
Abbildung 23: HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung II.....	66
Abbildung 24: Interviewablauf – Befragung II.....	67
Abbildung 25: Geschlecht, Alter, Kategorie, Fahrpraxis und Fahrleistung der Probanden – Befragung II	68
Abbildung 26: Ausstattung der von den Probanden am häufigsten gefahrenen Fahrzeuge – Befragung II	69
Abbildung 27: Persönlichkeitsfaktoren Technikaffinität, Technikvertrauen und Kontrollbedürfnis der Probanden – Befragung II.....	69

Abbildung 28: Selbstberichtete Leistungsdefizite der Probanden – Befragung II.....	70
Abbildung 29: Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen – Befragung II	70
Abbildung 30: Empfundene Kritikalität der Szenarien – Befragung II	71
Abbildung 31: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II	72
Abbildung 32: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II.....	73
Abbildung 33: User Experience der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II.....	73
Abbildung 34: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II.....	74
Abbildung 35: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II	75
Abbildung 36: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II.....	76
Abbildung 37: User Experience der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II.....	76
Abbildung 38: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II.....	77
Abbildung 39: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II	78
Abbildung 40: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II.....	79
Abbildung 41: User Experience der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II.....	79
Abbildung 42: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 2 – Befragung II.....	80
Abbildung 43: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II.....	81
Abbildung 44: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II.....	82
Abbildung 45: User Experience der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II	82
Abbildung 46: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 2 – Befragung II.....	83
Abbildung 47: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II.....	83
Abbildung 48: Kategorien der HMI Gestaltungshinweise	93

Abbildung 49: Auszug aus dem Anforderungskatalog	94
Abbildung 50: Lösungsvorschlag zum Basis HMI	95
Abbildung 51: Lösungsvorschlag zum informierenden HMI.....	95
Abbildung 52: Lösungsvorschlag zum auffordernden HMI.....	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Forschungsfragen zur Literaturanalyse und für eigene Untersuchungen.....	2
Tabelle 2:	Suchbegriffe zu den Forschungsfragen	5
Tabelle 3:	Konzepte zur Untersuchung der Forschungsfragen.....	43
Tabelle 4:	Strategische Kompensationsstrategien: Potentielle Auswirkungen auf automatisiertes Fahren und Lösungsansätze	45
Tabelle 5:	Taktische Kompensationsstrategien: Potentielle Auswirkungen auf automatisiertes Fahren und Lösungsansätze	46
Tabelle 6:	Gestaltungshinweise: kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I	59
Tabelle 7:	Gestaltungshinweise: TOR – Befragung I.....	60
Tabelle 8:	Konflikte zwischen den Gestaltungshinweisen – Befragung I.....	60
Tabelle 9:	Gestaltungshinweise: Redundanz der Information – Befragung II	84
Tabelle 10:	Gestaltungshinweise: Informationsinhalt – Befragung II.....	85
Tabelle 11:	Gestaltungshinweise: Wahl der Modalität – Befragung II.....	86
Tabelle 12:	Gestaltungshinweise: Visuelle Informationsdarbietung (Teil 1) – Befragung II	87
Tabelle 13:	Gestaltungshinweise: Visuelle Informationsdarbietung (Teil 2) – Befragung II	88
Tabelle 14:	Gestaltungshinweise: Akustische Informationsdarbietung – Befragung II.....	89
Tabelle 15:	Gestaltungshinweise: Kombination verschiedener Modalitäten – Befragung II.....	89
Tabelle 16:	Gestaltungshinweise: Differenzierung nach Art der Mitteilung – Befragung II	90
Tabelle 17:	Gestaltungshinweise: Differenzierung nach der Kritikalität – Befragung II.....	90
Tabelle 18:	Gestaltungshinweise: Differenzierung nach der Komplexität – Befragung II.....	91

1 Einleitung

Ziel dieses Projekts war die Identifikation der spezifischen Anforderungen älterer Menschen an die Human Machine Interface (HMI) Gestaltung in automatisierten Fahrzeugen (SAE Level 2 und höher) unter Berücksichtigung ihrer Leistungsmöglichkeiten und -grenzen. Der Fokus sollte dabei auf Übernahmesituationen (Take-Over Request (TOR)), dem Situations- und Modusbewusstsein und dem Vertrauen in das automatisierte Fahrsystem liegen. Außerdem sollte die Gesamtsystemgestaltung unter Berücksichtigung der Informationswahrnehmung und -verarbeitung, den Kompensationsstrategien Älterer, der User Experience und der Akzeptanz des automatisierten Fahrens untersucht werden.

Abbildung 1 stellt eine Übersicht über die bearbeiteten Arbeitspakete (AP) bereit. In AP 1 wurden zunächst die Fragestellungen aus der Projektausschreibung anhand eines Literaturüberblicks detailliert und für die weitere Bearbeitung priorisiert.



Abbildung 1: Arbeitspakete (AP)

Für die Aggregation der bereits vorliegenden Forschungserkenntnisse sowie die Identifikation von Forschungslücken wurde in AP 2 eine systematische Literaturrecherche und -analyse durchgeführt (siehe Kapitel 2). Dabei wurden die in der linken Spalte von Tabelle 1 aufgeführten Forschungsfragen betrachtet. Im Zuge der Literaturanalyse wurden Forschungslücken identifiziert, die zu Konkretisierung der weiter zu verfolgenden Fragestellungen dienen. Aufgrund der COVID-19 Pandemie konnten keine Versuche im Fahrsimulator durchgeführt werden, so dass die weiter zu bearbeitenden Fragestellungen so ausgewählt wurden, dass sie durch Befragungsstudien und Workshops bearbeitet werden konnten. Im Rahmen eigener Untersuchungen in AP 3 wurden daher die in der rechten Spalte von Tabelle 1 aufgeführten Forschungsfragen eingehend untersucht (siehe Kapitel 3). Alle Forschungsfragen sind im Advanced Organizer in Abbildung 2 noch einmal übersichtlich dargestellt. In AP 4 wurden Anforderungen von älteren Fahrenden an die HMI Gestaltung aus der Literaturanalyse sowie den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen abgeleitet und in einem Anforderungskatalog aggregiert, der im Anhang zu finden ist. Außerdem wurden Lösungsvorschläge für die HMI Gestaltung erarbeitet (siehe Kapitel 4).

Tabelle 1: Forschungsfragen zur Literaturanalyse und für eigene Untersuchungen

Forschungsfragen zur Literaturanalyse (Kapitel 2)	Forschungsfragen für eigene Untersuchungen (Kapitel 3)
F-L1: Welche altersspezifischen Leistungsdefizite sind beim automatisierten Fahren relevant?	
<p>F-L2.1: Welche Kompensationsstrategien gibt es beim manuellen sowie beim automatisierten Fahren (ab L1) auf strategischer und taktischer Ebene?</p> <p>F-L2.2: Welche Leistungsdefizite sind Ursachen für die ausgebildeten Kompensationsstrategien und wie wirken sich diese Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren aus?</p> <p>F-L2.3: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?</p>	F-U2: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?
F-L3: Welche altersspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse sollten zur HMI Gestaltung berücksichtigt werden?	F-U3: Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
<p>F-L4.1: Wie muss das HMI gestaltet sein, um effektive und effiziente Handlungen bei einem TOR zu unterstützen?</p> <p>F-L4.2: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Aufmerksamkeitswechsel zwischen fahrfremden Tätigkeiten (NDRT) und Fahraufgaben zu ermöglichen?</p> <p>F-L4.3: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein aufrechtzuerhalten bzw. Situationsbewusstheit schnell wiederzuerlangen bei einem TOR?</p>	F-U4.1: Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung, Informationsgehalt und Zeitbudget gestaltet sein, um Handlungen bei TOR zu unterstützen?
F-L5: Welche Informationsstrategien sind dazu geeignet, um durch das HMI Vertrauen, Akzeptanz und User Experience zu erzeugen?	F-U5: Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?
F-L6: Wie können Anforderungen Älterer an das HMI klassifiziert werden?	
F-L7: Durch welche Gestaltungsmaßnahmen können die anfangs formulierten Anforderungen konkret umgesetzt werden?	

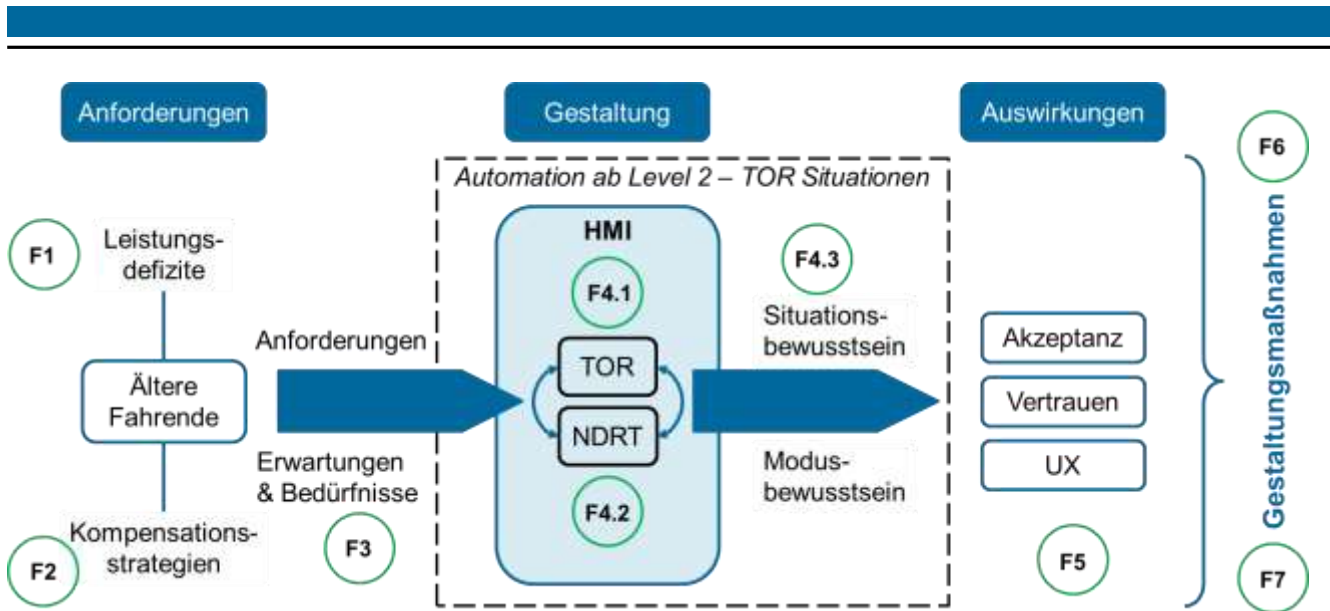


Abbildung 2: „Advanced Organizer“ – Forschungsfragen

2 Literaturrecherche und -analyse (AP 2)

Das Vorgehen sowie die Ergebnisse der Literaturrecherche und -analyse aus AP 2 sind in diesem Kapitel zusammengefasst. Die Erkenntnisse sind dabei anhand der im Folgenden gelisteten und in Abbildung 3 dargestellten Fragestellungen strukturiert:

- F-L1: Welche altersspezifischen Leistungsdefizite sind beim automatisierten Fahren relevant?
- F-L2.1: Welche Kompensationsstrategien gibt es beim manuellen sowie beim automatisierten Fahren (ab L1) auf strategischer und taktischer Ebene?
- F-L2.2: Welche Leistungsdefizite sind Ursachen für die ausgebildeten Kompensationsstrategien und wie wirken sich diese Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren aus?
- F-L2.3: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?
- F-L3: Welche altersspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse sollten zur HMI Gestaltung berücksichtigt werden?
- F-L4.1: Wie muss das HMI gestaltet sein, um effektive und effiziente Handlungen bei einem TOR zu unterstützen?
- F-L4.2: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Aufmerksamkeitswechsel zwischen fahrfremden Tätigkeiten (NDRT) und Fahraufgaben zu ermöglichen?
- F-L4.3: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein aufrechtzuerhalten bzw. Situationsbewusstheit schnell wiederzuerlangen bei einem TOR?
- F-L5: Welche Informationsstrategien sind dazu geeignet, um durch das HMI Vertrauen, Akzeptanz und User Experience zu erzeugen?
- F-L6: Wie können Anforderungen Älterer an das HMI klassifiziert werden?
- F-L7: Durch welche Gestaltungsmaßnahmen können die anfangs formulierten Anforderungen konkret umgesetzt werden?

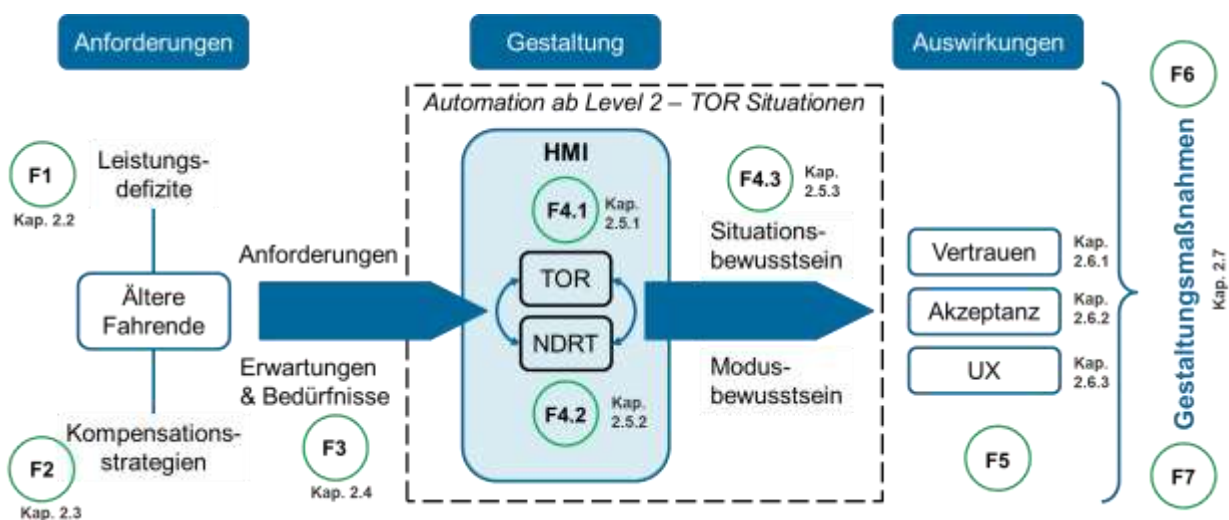


Abbildung 3: „Advanced Organizer“ – Forschungsfragen für Literaturrecherche in AP 2 und Strukturierung der folgenden Kapitel

2.1 Vorgehen: Systematische Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche wurde im Februar 2020 in folgenden Datenbanken durchgeführt:

- **TUfind:** Dies ist das Suchportal der der Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt, welches neben den an der TU Darmstadt verfügbaren Quellen eine Metasuche über den EBSCO Discovery Service in vielen wissenschaftlichen Datenbanken abdeckt.
- **ScienceDirect:** Diese Datenbank wird durch den Verlag Elsevier angeboten und deckt die wissenschaftlichen Zeitschriften sowie Bücher des Verlages ab.
- **FATdatabase:** Diese Datenbank wird vom FAT in Zusammenarbeit mit dem WIVW gepflegt und enthält wissenschaftliche Beiträge aus dem Themengebieten assistiertes/automatisiertes Fahren.
- **Fahrzeugliteraturdatenbank des IAD:** In dieser internen Datenbank des Instituts für Arbeitswissenschaft (IAD) sind Literaturquellen zum Themengebiet Mensch und Fahrzeug hinterlegt.

Für die thematische Passung zu den in diesem Kapitel zu behandelnden Fragestellungen wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Suchbegriffe verwendet. Zusätzlich wurden Suchbegriffe zur Eingrenzung auf ältere Fahrende und den Kontext des automatisierten bzw. assistierten Fahrens verwendet.

Tabelle 2: Suchbegriffe zu den Forschungsfragen

Bedürfnisse / Erwartungen / Anforderungen	Kompensations- strategien	TOR	NDRT	Akzeptanz	Modus- bewusstsein	Situations- bewusstsein	User Experience	Vetruen
requirement need expectation	compensation compensate compensat*	"take over"	non driving related activities non driving related task	acceptance	mode awareness	"situation* awareness" (situational awareness)	User Experience	trust confidence

Die Anzahl der gefundenen Literaturquellen sowie die erfolgte quantitative Auswahl sind aus dem Prisma-Flow-Diagramm in Abbildung 4 ersichtlich.

Insgesamt wurden 171 Quellen in die Analyse der Literaturerkenntnisse einbezogen. 96 dieser Quellen beschreiben durchgeführte Studien, während 75 Quellen auf die Leistungsdefizite Älterer im Allgemeinen eingehen oder Reviews zu den betrachteten Themengebieten darstellen.

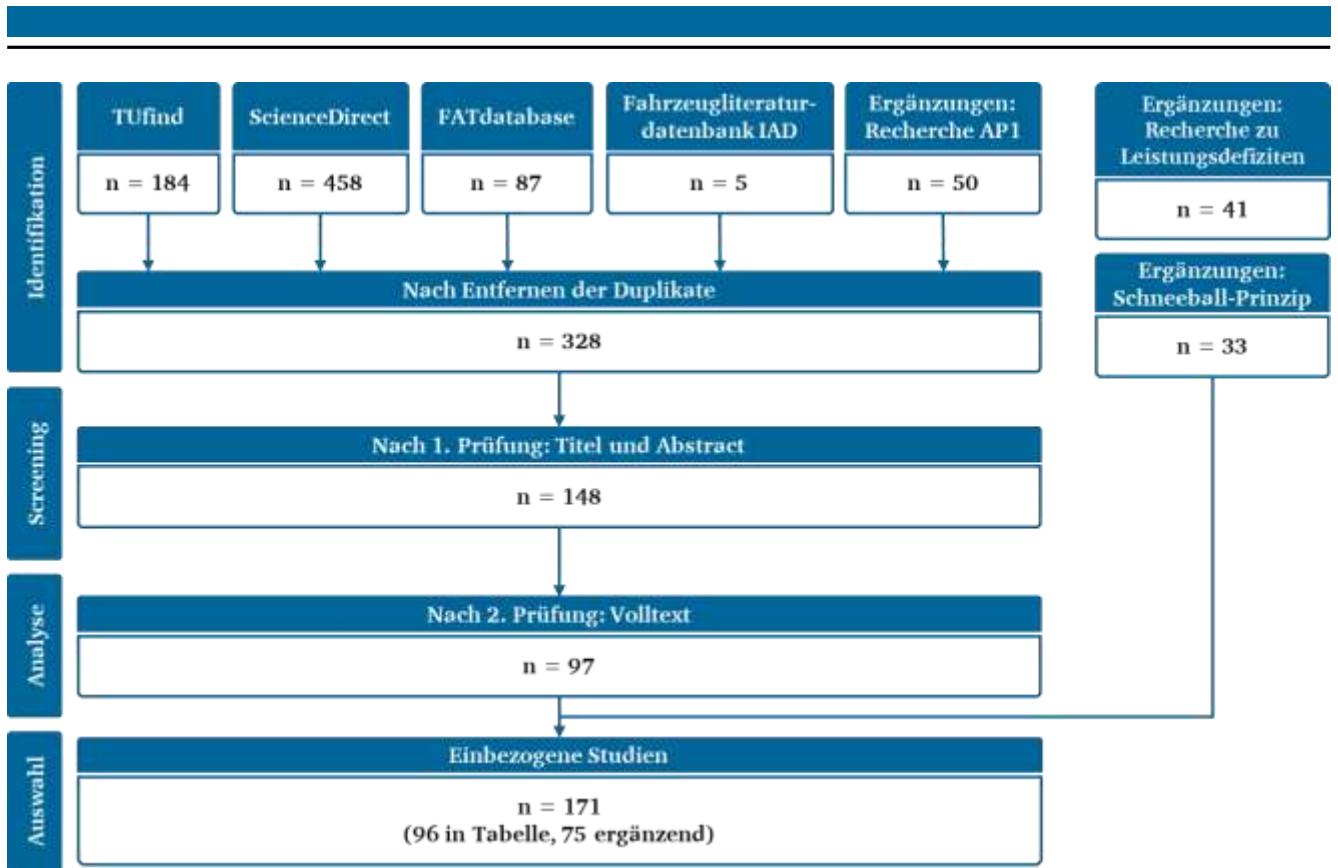


Abbildung 4: PRISMA Flow-Diagramm (Vorgehen nach Moher et al. (2009))

2.2 Altersspezifische Leistungsdefizite

Für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden im Folgenden im Sinne einer „worst-case“ Betrachtung mögliche altersspezifische Leistungsdefizite, die für die Tätigkeit Autofahren relevant sind, zusammenfassend dargestellt:

F-L1: Welche altersspezifischen Leistungsdefizite sind beim automatisierten Fahren relevant?

Grundsätzlich muss bei der Betrachtung der Leistung zwischen dem Leistungsangebot und dem gezeigten Fahrverhalten älterer Fahrer unterschieden werden (Anstey et al., 2005). Das von einem Fahrer bereitgestellte Leistungsangebot setzt sich aus personengebundenen Faktoren wie Konstitutions-, Dispositions-, Qualifikations-/Kompetenz- und Anpassungsmerkmalen zusammen, die sich untereinander wechselseitig beeinflussen (Schlick et al., 2018). Das *Leistungsangebot* besteht zum einen aus der *Leistungsfähigkeit*, d. h. der Leistungskapazität der Organe und Leistungspotenz psychischer Funktionen und zum anderen aus der *Leistungsbereitschaft*, d. h. dem Erregungsniveau der Organe und den Leistungshaltungen und Motiven wie Bedürfnissen, Interessen, Absichten oder Überzeugungen (Schlick et al., 2018). Im Folgenden soll der Einfluss des Alters als ein im Lebenszyklus determiniertes, schwer zugängliches, aber in Grenzen anpassbares Dispositionsmerkmal auf die verkehrsrelevanten sensorischen, kognitiven und motorischen Fähigkeiten untersucht werden (Schlick et al., 2018). Dadurch, dass unterschiedliche Fahrsituationen verschiedene Leistungsanforderungen stellen, ist das Leistungsangebot eines Menschen stets kontextspezifisch zu betrachten und die Fähigkeiten situationsabhängig zu beurteilen.

Auch wenn mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit des Nachlassens von Leistungspotenzialen steigt (Poschadel et al., 2012), verlaufen Alterungsprozesse sowohl multidimensional als auch multidirektional (Schlag, 2008). So führte der in den 1990er Jahren einsetzende Perspektivenwechsel zur Ablösung einer rein negativen Betrachtung des Alterns als Abbau und Verfall im Defizitmodell zu einem differenzierten Altersbegriff im Kompensationsmodell (Adenauer, 2002). Einerseits trägt dieses durch die Berücksichtigung von sowohl biologischen Veränderungen als auch Veränderungen der individuellen und sozialen Lebensbedingungen zur Erklärung der hohen inter- und intraindividuellen Variabilität und Plastizität der Leistungsfähigkeit im Alter bei. Andererseits hilft die Annahme von Lernmöglichkeiten und Verhaltensanpassungen im Alter, den Unterschied zwischen Fahrfähigkeit und gezeigtem Fahrverhalten zu erläutern (Adenauer, 2002).

Um das HMI automatisierter Fahrsysteme gezielt an den Bedürfnissen und Anforderungen älterer Fahrer ausrichten zu können, ist eine Betrachtung ihrer verkehrsrelevanten Fähigkeiten und Defizite unerlässlich. Für die Beantwortung der Forschungsfrage 1, welche altersspezifischen Leistungsdefizite beim automatisierten Fahren relevant sind, wird in diesem Kapitel zunächst der bereits ausgereifte Stand der Forschung zu Leistungsvoraussetzungen und -defiziten älterer Personen beim manuellen Fahren aufbereitet und anschließend die Relevanz für das automatisierte Fahren aufgezeigt. Da für eine Anpassung des HMI am Unterstützungsbedarf der älteren Fahrer weniger die Ursachen als vielmehr die Ausprägungen ihrer Leistungsdefizite relevant sind, wird auf eine Darstellung alterstypischer Erkrankungen verzichtet. Ohnehin bringt die hohe Komorbidität vieler Erkrankungen Symptomkomplexe hervor, die die Zuordnung von beeinträchtigenden Wirkungen zu einem einzelnen Funktionsbereich erschweren (Engin et al., 2010).

2.2.1 Altersbedingte Leistungsdefizite im Kontext verkehrsrelevanter Fähigkeiten

Autofahren erfordert schnelle Reaktionen und das simultane Ausführen multimodaler Tätigkeiten, so das Monitoring der Fahrumgebung parallel zum Lenken und Kontrollieren der Fahrzeuggeschwindigkeit (Trick et al., 2010). Das Führen eines Pkw stellt eine komplexe Aufgabe dar, die der Integration von sensorischen, kognitiven und psychomotorischen Fähigkeiten bedarf (Anstey et al., 2005). Altersbedingte Veränderungen in diesen Kompetenzbereichen beeinflussen im Kontext der Fahraufgabe die Wahrnehmung der Verkehrsumwelt, die kognitive Verarbeitung des Wahrgenommenen, die Entscheidungs- und Handlungsvorbereitung und zuletzt die Handlungsausführung (Ellinghaus et al., 1990). Auf die Verkehrsrelevanz dieser Kompetenzbereiche und die Auswirkungen von Altersdefiziten wird im Folgenden gesondert eingegangen.

Sensorische Kompetenzen

Da nur auf wahrgenommene Sachverhalte reagiert werden kann, stellt die Wahrnehmung der Fahrumgebung eine essenzielle Voraussetzung und notwendige Bedingung für eine sichere Verkehrsteilnahme dar (Cohen, 2008). Dazu erforderlich sind sensorische Kompetenzen. Dass ein erfolgreich bestandener Test der zentralen Tagesehschärfe die Voraussetzung für die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr ist, betont die Bedeutung der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit im Fahrkontext (Fahrerlaubnis-Verordnung [FeV]). Im Gegensatz zur Führerscheinklasse B wird jedoch im Vorfeld des Erwerbs sowie im Fall eines Antrags auf Verlängerung der Führerscheinklassen C und D und einer Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung über die zentrale Sehschärfe hinaus das Farbsehen und das Gesichtsfeld überprüft (Fahrerlaubnis-Verordnung [FeV]). Neben Bereichen des visuellen Sinneskanals, gilt es auch die Bedeutung des Hörens als sensorische Kompetenz zu betrachten.

Zentrale und dynamische Sehschärfe

Die zentrale Sehschärfe dient zur Wahrnehmung von in der Ferne liegenden Objekten, zur Erkennung von Schildern, Signalen, anderen Verkehrsteilnehmenden und zur korrekten Abschätzung von Geschwindigkeiten (Engin et al., 2010). Die für das Detailsehen zuständige Fovea zeigt eine im Alter abnehmende Dichte an Photorezeptoren, wodurch sich eine optimale Sehschärfe von 100 % im 40. Lebensjahr auf etwa 50 % bei einem gesunden 80-Jährigen verringert (Becker & Wahl, 2004). Bei Nachtfahrten ist die Sichtdistanz bei über 60-Jährigen gegenüber 25-jährigen Fahrenden sogar um bis zu 77 % reduziert (Sivak et al., 1981).

Da sowohl Fahrzeugdisplays als auch Fahrumgebung als Informationsquelle dienen, werden Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit des Auges zwischen Nah- und Ferneinstellung gestellt. Die dafür zuständige sensorische Fähigkeit der Akkommodation, die die scharfe Wahrnehmung von Objekten in unterschiedlichen Entfernungen ermöglicht, unterliegt ebenfalls einer im Alter zunehmenden Beeinträchtigung (Cohen, 2008). Für den Fahrkontext besonders relevant ist darüber hinaus die altersabhängige Verschlechterung der dynamischen Sehschärfe, d. h. die Fähigkeit der detaillierten Wahrnehmung bewegter Objekte (Cohen, 2008).

Kontrastwahrnehmung, Blendempfindlichkeit und Dämmerungsvermögen

Fahrten bei Dämmerung, Nacht und regennasser Fahrbahn stellen erhöhte Anforderungen an die visuellen Kompetenzen. Nach der Studie von Lachenmayr et al. (1998) ist die Wahrscheinlichkeit eines

Unfalls im Dunkeln signifikant erhöht, falls die Empfindlichkeit des Auges gegenüber schwach kontrastierten Reizen gering und gegenüber Blendungen durch Lichtreize hoch ist. Im Alter werden die Schichten des Auges trüber, absorbieren mehr Licht und führen zu einer reduzierten Kontrastwahrnehmung, einer erhöhten Blendempfindlichkeit und einem verminderten Dämmerungsvermögen (Lachenmayr, 2003).

Peripheres Sehen

Auch wenn sich die relevanten Informationen überwiegend im zentralen Gesichtsfeld befinden, stellt erst das Zusammenwirken von fovealem und peripherem Sehbereich die Basis für eine erfolgreiche visuelle Orientierung dar (Cohen, 2008). Der Bereich, den eine Person ohne Bewegung der Augen sehen kann – das in der Literatur sogenannte „nutzbare Sehfeld“ (NSF) oder „Useful Field Of View“ (UFOV) – unterliegt einer im Alterungsprozess zunehmenden Einengung und birgt die Gefahr einer späten Wahrnehmung von Verkehrsteilnehmenden und -schildern (Sekuler et al., 2000).

Hörvermögen

Eine weitere, mit dem Alter abnehmende, für die Fahrsicherheit jedoch weniger relevante Sinnesleistung stellt das Hörvermögen dar (Engin et al., 2010). Dieses umfasst zum einen die Fähigkeit akustische Signale wahrzunehmen und zu lokalisieren, zum anderen die Fähigkeit unerwünschte Geräusche herauszufiltern (Dalton et al., 2003; Davidse, 2006). Obwohl auditiv Informationen für Gefahren oder Funktionsstörungen des Fahrzeugs an den Fahrenden übermittelt werden können und eine Minderung des Richtungshörens die visuelle Vororientierungszeit reduziert, stellen Hörbeeinträchtigungen bis zur Gehörlosigkeit nach der Fahrerlaubnisverordnung kein grundsätzliches Ausschlusskriterium zur Erteilung der Fahrerlaubnis dar (Engin et al., 2010; Fahrerlaubnis-Verordnung [FeV]. Einschränkungen der akustischen Sinnesleistung können sogar zu einer Erhöhung der Aufmerksamkeit gegenüber visuellen Reizen führen, d. h. durch eine verstärkte visuelle Informationsaufnahme kompensiert werden (Engin et al., 2010).

Kognitive Kompetenzen

Kognitive Kompetenzen haben eine übergeordnete steuernde Funktion. Fähigkeiten wie die Konzentration, Aufmerksamkeit, Informationsverarbeitung, Reflexionsfähigkeit und die Fähigkeit zur Repräsentation von Gedächtnisinhalten beeinflussen sowohl die verkehrsrelevanten Teilaufgaben der Wahrnehmung, Verarbeitung und Bewertung von Informationen als auch die sich anschließende Handlungsausführung bzw. Reaktion (Engin et al., 2010). Das Autofahren setzt sich als Multitasking-Tätigkeit aus mehreren Teilaufgaben zusammen, die jeweils eine kognitive Belastung platzieren und um begrenzt verfügbare neuronale Ressourcen konkurrieren (Eudave et al., 2018). Dass ältere Fahrende in Unfallsituationen mit hoher kognitiver Beanspruchung überrepräsentiert sind, weist auf alterskorrelierte Einbußen der kognitiven Fähigkeiten hin (McGwin & Brown, 1999). Auch hat sich die Betrachtung der Performance älterer Fahrender in verschiedenen kognitiven Kompetenzbereichen als bewährte Methode zur Prognose der Qualität ihrer Fahrzeugführung bewiesen (Aksan et al., 2017). Pathologische sowie altersbedingt strukturell neuronale Veränderungen wie Schwund von Gewebe und Zellen, Zunahme der Hohlräume im Gehirn und Rückgang von Nervenfasern und biochemische Veränderungen der Neurotransmittersysteme wie Dopaminverlust sind für die Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit verantwortlich (Poschadel et al., 2012). Neben kognitiven Funktionsbereichen, die ab dem frühen Erwachsenenalter einem stetigen Rückgang unterworfen sind und die Gruppe der sogenannten „flüssigen“

Fähigkeiten bilden, verfügen ältere Menschen über ein weiteres kognitives Fähigkeitscluster der „kristallinen“ Fähigkeiten, die vom Alterungsprozess weitestgehend unberührt sind und erworbenes Wissen und gelernte Verhaltensweisen widerspiegeln (Horn & Cattell, 1967)).

Aufmerksamkeit

Die Aufmerksamkeit stellt die Fähigkeit zur Fokussierung des Bewusstseins auf eine Teilmenge verfügbarer Informationen dar: Selektiv wird in der Informationsflut der Fokus auf relevante Reize gerichtet und dabei irrelevante Reize unterdrückt (Engin et al., 2010). Ältere lassen sich zum einen leichter und zum anderen länger durch irrelevante Reize ablenken und können sich neuen Anforderungen in dynamisch verändernden Verkehrssituationen nur erschwert annehmen (Ellinghaus et al., 1990). Die altersbedingte Beeinträchtigung von Inhibitionsprozessen stellt ein in unterschiedlichen Szenarien weitestgehend gut untersuchtes Altersphänomen dar (Falkenstein & Sommer, 2008). Fehlerhafte Situationseinschätzungen und Antizipationen sind auf Fehler in den zentralen, weil grundlegenden Phasen der Wahrnehmung und Aufmerksamkeitssteuerung zurückzuführen (Vollrath et al., 2009): Während sensorische Kompetenzen die Informationsaufnahme ermöglichen, sind kognitive Kompetenzen für die Aufnahme der „richtigen“ bzw. relevanten Informationen zuständig. Forschungsergebnisse zeigen, dass insbesondere die kognitive Aufmerksamkeitsleistung signifikant zur Erklärung der Fahrfähigkeit älterer Personen beiträgt und eine altersbedingte Beeinträchtigung einer der Hauptgründe für ein erhöhtes Unfallrisiko ist (Ball et al., 1998; Clay et al., 2005).

Aufmerksamkeitsintensive Aufgaben, die bewusst und nicht automatisiert durchgeführt werden, platzieren eine kognitive Last und müssen sich bei simultanem Auftreten die gemeinsame Ressource der Aufmerksamkeitskapazität teilen (Shiffrin & Schneider, 1977). Die altersunabhängig limitierten, altersbedingt zusätzlich geschmälernten Aufmerksamkeitsressourcen führen dazu, dass ältere Fahrende eine sowohl verlangsamte, weniger präzise als auch stark variable Gefahrenwahrnehmung aufweisen und gegenüber jüngeren Fahrenden eine höhere Workload empfinden (Feng et al., 2017; Greenbaum, 2012). Dass älteren Fahrenden damit insbesondere Situationen mit Anforderungen an die geteilte Aufmerksamkeit Probleme bereiten, ist vor dem Hintergrund des Autofahrens als Mehrfach Tätigkeit bzw. Kombination aus sensomotorischen und kognitiven Aufgaben besonders bedenklich. Ältere haben Schwierigkeiten, die Aufmerksamkeit flexibel zwischen zwei Aufgaben zu verteilen, dabei einen priorisierten Fokus einzuhalten und zwischen ihnen zu wechseln (Kray & Lindenberger, 2000; Siu et al., 2008).

Als spezielle Art der Aufmerksamkeit bezieht sich die Daueraufmerksamkeit oder Vigilanz auf die Fähigkeit, auf nur gelegentlich auftretende Reize wirkungsvoll und schnell zu reagieren (Engin et al., 2010). Diese gewinnt insbesondere in längeren, monotonen Fahrten an Relevanz, lässt im Gegensatz zur geteilten Aufmerksamkeit aber keine Unterscheidung zwischen der jüngeren und älteren Fahrerschaft zu (Hartley et al., 1992).

Informationsverarbeitung

Dass kognitives Training der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine reduzierende Wirkung auf Fahrfehler hat (Roemer et al., 2003), unterstreicht die Bedeutung der Geschwindigkeit zur Informationsverarbeitung für eine sichere Bewältigung vieler Fahrsituationen, die Entscheidungen in Sekundenbruchteilen und Re-/Aktionen unter Zeitdruck erfordern. Einigkeit besteht bezüglich der altersbedingten Reduktion der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, die sich u. a. in langsameren

Reaktionszeiten älterer Fahrer niederschlägt (Kaiser & Oswald, 2000). Die Verlangsamung der Reaktionszeit im Alter ist insgesamt auf ein Zusammenwirken der nachlassenden Fähigkeiten der verschiedenen Funktionsbereiche zurückzuführen, wobei die Zunahme der Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Entscheidungszeit aufgrund Beeinträchtigungen zentraler kognitiver Funktionen stärker ins Gewicht fällt als die durch motorische Einschränkungen bedingte Verlängerung der Zeit zur Bewegungsausführung (Poschadel et al., 2012).

Gedächtnisfunktion

Die Funktion des Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnisses ist zur Bewahrung und zum Bewusstwerden von während der Fahrt aufgenommenen Informationen wie zur Speicherung von wahrgenommenen Verkehrsschildern erforderlich, die Funktion des Langzeitgedächtnisses spielt bspw. beim Erinnern an gewohnte Fahrstrecken eine Rolle (Engin et al., 2010). Altersabhängige Beeinträchtigungen des echoischen, ikonischen und des Kurzzeitgedächtnisses werden durch den negativen Einfluss der altersbedingt verschlechterten Inhibitionsprozesse und der reduzierten Informationsverarbeitungs-geschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität verstärkt (Engin et al., 2010).

Orientierungsfähigkeit

Die Orientierungsfähigkeit bezieht sich auf das Vermögen zur orientierten Aufmerksamkeitsleistung und beruht auf dem Zusammenspiel von visuellen und kognitiven Fähigkeiten. So zeigen ältere Fahrer bei der visuellen Suche von Reizen in komplexen Umgebungen weniger effizientes Verhalten und ein eingeschränktes Gesichtsfeld, in dem visuelle Reize verarbeitet werden können (Poschadel et al., 2012).

Exekutive Funktionen

Als Kontrollprozesse des Denkens und Handelns kommen den exekutiven Funktionen insbesondere in neuartigen oder anspruchsvollen Situationen, die eine schnelle und flexible Verhaltensanpassung an sich verändernde situative Anforderungen erfordern und keinen Rückgriff auf gewohnheitsmäßig dominante Funktionen ermöglichen, eine entscheidende Bedeutung zu (Zelazo et al., 2003). Dass eine altersbedingte Abnahme der kognitiven Leistung mit einem Rückgang der exekutiven Funktionen zu erklären ist, hat wichtige empirische Bestätigung gefunden (Dempster, 1992). Exekutive Funktionen umfassen die Fähigkeit zum Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus, der Inhibition dominanter Antworttendenzen sowie der Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten (Miyake et al., 2000). Wenngleich die Auswirkungen des Alters auf die kognitiven Teilkompetenzen bereits beschrieben wurden, wurde im Rahmen ihrer gemeinsamen Betrachtung die starke Korrelation der Inhibition als Zeichen ihrer fundamentalen Rolle und Basis für die Güte anderer exekutiver Funktionsbereiche gedeutet (Adrian et al., 2019). Die Inhibitionsfähigkeit besteht neben der Funktion der Resistenz – dem Widerstand gegen irrelevante Reize und der Aufnahme von relevanten Reizen – aus der Unterdrückung dominanter, automatisierter Funktionen, die bspw. dann zum Tragen kommt, wenn Fahrer schnell ihr Fahrverhalten ändern, engagierte Aktionen stoppen oder aus dem automatisierten fahrbezogenen Handlungs- und Bewegungsablauf aussteigen müssen (Adrian et al., 2019).

Motorische Kompetenzen

Veränderungen des Knochen-, Gelenk-, Bänder- und Muskelapparates haben Auswirkungen auf Beweglichkeit, Bewegungsgeschwindigkeit, Gleichgewicht, Koordinationsfähigkeit und Kraft (Engin et al., 2010; Poschadel et al., 2012). Zum einen treten diese motorischen Beeinträchtigungen im Rahmen des normalen Alterungsprozesses auf, zum anderen können sie die Folge alterstypischer Erkrankungen und altersbedingt veränderter Lebensbedingungen wie einer abnehmenden Mobilität sein. Bislang ist unklar, in welcher Intensität motorische Veränderungen das Fahrverhalten negativ beeinflussen (Engin et al., 2010).

Muskelkraft

Die Abnahme der Muskelkraft um bis zu 30-40 % im hohen Lebensalter reduziert die Kraft der Bewegungsausführung und damit die Intensität, in der mit Lenk- oder Bremsmanövern Gefahrensituationen entgegengewirkt werden kann (Engin et al., 2010). Allerdings ist unter Beachtung der unterstützenden Wirkung der Fahrzeugelektronik die Bedeutung der Kraft für eine sichere Fahrzeugführung als eher gering einzustufen (Rinkenauer, 2008).

Beweglichkeit

Für die Ausführung von Lenk- und Bremsmanövern ist die Bewegungsfreiheit der oberen und unteren Extremitäten und für die Wahrnehmung des zurückliegenden Verkehrsgeschehens die Beweglichkeit von Nacken und Rumpf relevant (Rinkenauer, 2008; Staplin et al., 1999). Eine nachlassende Beweglichkeit der Gelenke um etwa 20-30 % im Lebensverlauf (Staplin et al., 1999) schränkt die Bewegungsausführung nicht nur ein, sondern macht sie auch unpräziser und weniger kontrollierbar (Poschadel et al., 2012; Rinkenauer, 2008). Bewegungseinschränkungen im Alter sind insbesondere auf arthrotische Veränderungen zurückzuführen (Engin et al., 2010).

Gleichgewichtssinn und Koordinationsfähigkeit

Negativen Einfluss auf den Gleichgewichtssinn und die Koordinationsfähigkeit haben Einschränkungen der Propriozeption, d. h. Beeinträchtigungen in der Eigenempfindung von Körperbewegung oder -lage im Raum bzw. der Stellung von einzelnen Körperteilen zueinander (Engin et al., 2010). Die erhöhte Stolper- und Sturzgefahr durch den altersabhängigen Zellabbau im vestibulären System ist jedoch hauptsächlich für die Verkehrsteilnahme älterer Personen als Radfahrende und Passanten sicherheitskritisch (Engin et al., 2010; Rinkenauer, 2008).

2.2.2 Relevanz altersspezifischer Leistungsdefizite im Kontext des automatisierten Fahrens

Die Multimodalität und das Multitasking der Fahrtätigkeit erfordern das Zusammenspiel der im Vorangegangenen separiert beschriebenen sensorischen, kognitiven und motorischen Kompetenzbereiche, die sich in ihrer Wirkung wechselseitig beeinflussen. Bis automatisierte Fahrsysteme zur bedingungslosen, eigenständigen Durchführung der gesamten Fahraufgabe imstande sind, erfordern die in absehbarer Zeit verfügbaren Automatisierungssysteme eine intensive Fahrer-Fahrzeug-Interaktion: Da Fahrende im Fall der Detektion einer Systemgrenze oder eines Systemversagens des Automatisierungssystems die manuelle Fahrtätigkeit wieder aufzunehmen haben, verlieren die zuvor beschriebenen

Leistungsvoraussetzungen und altersbedingten Leistungsdefizite im automatisierten Untersuchungskontext nicht an Relevanz.

Während automatisierte Fahrsysteme durch die zeitweise Über- bzw. Abnahme von beanspruchenden Teilaufgaben der Fahrtätigkeit die Arbeitsbelastung der Fahrenden reduzieren können, stellen sie auch neue Anforderungen: So müssen Fahrende bspw. im Fall einer Rückübernahmeaufforderung:

- den Übernahmeantrag des Automatisierungssystems zunächst wahrnehmen und verstehen
- die mögliche Ausführung einer fahrfremden Tätigkeit unterbrechen und den Aufmerksamkeitsfokus wechseln
- in kürzester Zeit ein Bewusstsein für die Fahrsituation sowie Verantwortungsverteilung mit dem Automatisierungssystem erlangen,
- die fahrbereite Sitzposition wieder einnehmen
- durch Lenk- und/oder Bremsmanöver auf die vorliegende Fahrsituation adäquat reagieren.

Bei älteren Fahrenden sind höhere Reaktionszeiten auf Schwierigkeiten bei Aufgabenwechseln, der Informationsaufnahme, Aufmerksamkeitssteuerung und eingeschränkter Inhibitionsfähigkeit zurückzuführen. Die während des Kontrolltransitionsprozesses gegenüber jüngeren Fahrenden signifikant erhöhte mentale Workload älterer Fahrender könnte ein Zeichen der Ausreizung ihrer altersbedingt eingeschränkten Verarbeitungskapazität sein (Molnar et al., 2017). Auch ist der Prozess der Wiederaufnahme der manuellen Fahrtätigkeit nach einer Zeitperiode automatisierten Fahrens dadurch verlangsamt, dass Bewegungseinschränkungen die Repositionierung der Füße auf den Pedalen erschweren (Frison et al., 2018). So sind es ältere Fahrende, die die Kontrolltransition eher als herausfordernd empfinden und Probleme mit der Refokussierung ihrer Aufmerksamkeit, der Beurteilung von Fahrgeschwindigkeit und Geschwindigkeitslimit, dem Timing und der Wiederaufnahme der manuellen Fahrtätigkeit in komplexen Situationen, wie hohen Verkehrsdichten anführen (Molnar et al., 2017).

Auf Basis eines Abgleichs von Anforderungen der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und des kontextspezifischen Leistungsangebots älterer Personen sind technische Unterstützungssysteme zu entwickeln, die eine Kongruenz von Soll- und Ist-Kompetenzen sicherstellen. Für eine bestmögliche Entfaltung des Unterstützungspotenzials technischer Systeme gilt es, Altersdefizite jedoch nicht nur im Rahmen der Identifikation des Unterstützungsbedarfs älterer Fahrender, sondern gleichermaßen im Rahmen ihrer Ausgestaltung zu betrachten. Die fahrerseitige Aufnahme und Verarbeitung von Informationen, die vom HMI zur Unterstützung der primären Fahraufgaben ausgegeben werden, ist als sekundäre fahrfremde Tätigkeit zu verstehen, die die Beachtung der ermittelten, von älteren gegenüber jüngeren Fahrenden eingeschränkten Aufmerksamkeitskapazität für das Engagement in sekundären fahrfremden Tätigkeiten erfordert (Son et al., 2010). Da sich Altersdefizite insbesondere dann in einer fahrähnlichen Aufgabe äußern, wenn Fahrende parallel eine motorisch beanspruchende sekundäre Tätigkeit auszuführen haben, sollten zusätzliche motorische Anforderungen durch „In-Vehicle Information Systems“ vermieden werden (Wild-Wall et al., 2011). Auch ist die altersspezifische Wahrnehmung von Warnsignalen und Sensitivität bezüglich Signalparametern wie Intensität, Frequenz, Tempo bei der Auslegung der Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation zu berücksichtigen (Kim, M. H. et al., 2010). Die Probleme der älteren Probanden bei Kontextwahrnehmung und -aufrechterhaltung in der Studie von Wild-Wall et al. (2011) führen darüber hinaus zur Empfehlung, relevante Informationen kurz vor der erforderlichen Aktion zu präsentieren. Eine Vernachlässigung der eingeschränkten Inhibitionsfähigkeit im Alter birgt die Gefahr konkurrierender Informationen der Primär- und Sekundäraufgaben und verlängerter Informationsverarbeitungs- oder Ausführungszeiten, die in zeitkritischen Situationen besonders problematisch sein

können (Adrian et al., 2019). Wenngleich eine umfassende Anzahl von „Intelligent Transport System Technologies“ das Potenzial haben, sämtlichen Altersdefiziten entgegenzuwirken, könnten im Fall einer unzureichenden Betrachtung ihrer Interaktion und Kompatibilität zu viele und gegebenenfalls sogar sich widersprechende Hinweisreize die Ablenkungsgefahr erhöhen, Verbesserungen eines Funktionsbereichs zu Beeinträchtigungen eines anderen führen und ihre unterstützenden Funktionen reduziert sein (Adrian et al., 2019).

2.3 Kompensationsstrategien

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den folgenden drei Forschungsfragen zusammengefasst:

- F-L2.1: Welche Kompensationsstrategien gibt es beim manuellen sowie beim automatisierten Fahren (ab L1) auf strategischer und taktischer Ebene?
- F-L2.2: Welche Leistungsdefizite sind Ursachen für die ausgebildeten Kompensationsstrategien und wie wirken sich diese Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren aus?
- F-L2.3: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?

2.3.1 Kompensationsstrategien beim manuellen und automatisierten Fahren

Mit dem Alter sinken kognitive, sensorische und motorische Fähigkeiten, die die Ausführung der Fahraufgabe beeinflussen (Feng et al., 2018; Fofanova & Vollrath, 2011; Trick et al., 2010). Auch, wenn teilweise unbewusst (Meng & Siren, 2012), entwickeln ältere Fahrende Fahr- oder Vermeidungsstrategien, um unangenehme oder überfordernde Situationen zu meiden. Diese sogenannten Kompensationsstrategien betreffen die strategische sowie die taktische Ebene der Fahraufgaben nach Donges (1982). Während einzelne Studien Kompensationsstrategien beim assistierten und automatisierten Fahren untersucht haben (z. Bsp. Henze et al., 2016), liegt der Großteil der Untersuchungen unter den Bedingungen des manuellen Fahrens vor (z. Bsp. Andrews & Westerman, 2012; Davis & Conlon, 2017).

Kompensationsstrategien beim manuellen Fahren auf strategischer Ebene

Auf der strategischen Ebene vermeiden ältere Personen die Fahrten mit dem Automobil komplett (Davis & Conlon, 2017), reduzieren die Fahrdistanz (King & Scott-Parker, 2017) oder vermeiden spezifische, als komplex wahrgenommene Situationen bzw. Fahrten (Meng & Siren, 2012). Davis und Conlon (2017) befragten 79 ältere Personen ($M_{\text{Alter}} = 71,5$ Jahre) bezüglich ihres fahrtbezogenen Vermeidungsverhaltens und führten zusätzliche spezifische Leistungstests durch. Je ausgeprägter die (wahrgenommene) Funktionseinschränkung war, desto wahrscheinlicher war die Verhaltensänderung in Form von kompensatorischen Vermeidungsverhalten im Sinne der Vermeidung einzelner Fahrten. King und Scott-Parker (2017) führten ein Leitfaden geführtes Telefoninterview mit $N = 295$ Fahrenden über 60 Jahre durch. Im Gegensatz zu Davis und Conlon (2017) fanden die Autoren, dass die reine Fahrthäufigkeit zwar mit dem Alter nicht abnimmt. Fahrten über längere Distanzen hingegen wurden mit steigendem Alter öfter gemieden sowie bekannte Routen bevorzugt. Auch Meng und Siren (2012) fanden im Rahmen einer Telefoninterviewstudie mit $N = 840$ älteren Teilnehmenden ($M_{\text{Alter}} = 82$ Jahre) einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von kompensatorischen Verhaltensweisen und dem Bewusstsein bezüglich eigener Funktionseinschränkungen. Ältere Personen, die sich ihrer Funktionseinschränkungen bewusst waren, berichteten häufiger explizite Vermeidungsstrategien als solche Personen, die sich der Konsequenzen ihrer funktionalen Einschränkungen für das Fahren nicht bewusst waren. Dies bedeutete allerdings nicht, dass letztere Gruppe keine Verhaltenseinschränkungen an den Tag legten. Vielmehr attribuierten sie das Vermeidungsverhalten auf das „Nicht-Mögen“ einschlägiger Situationen (Fahrten

auf der Autobahn, bei Dunkelheit, auf Strecken mit viel Mischverkehr, z. Bsp. Fahrradfahrenden). Daraus schlossen die Autoren, dass das Kompensationsverhalten teilweise auf unbewusste Anpassungsstrategien zurückzuführen ist und nicht zwingend einer bewussten, auf die Wahrnehmung eigener funktionaler Einschränkungen zurückzuführenden Entscheidung folgt. Frauen waren in der Gruppe der Personen, die sich ihrer Funktionseinschränkungen bewusst waren, überproportional vertreten.

Kompensationsstrategien beim manuellen Fahren auf taktischer Ebene

Auf der taktischen Ebene passen ältere Fahrende zur Kompensation eingeschränkter Funktionen den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug an (Andrews & Westerman, 2012), bewerten komplexe Verkehrssituationen eher als gefährlich (Feng et al., 2018), wenden mehr kognitive Ressourcen (z. Bsp. Aufmerksamkeit) für die Bewältigung der Fahraufgabe auf (Fofanova & Vollrath, 2011; Gold et al., 2015; Molnar et al., 2017; Schwarz et al., 2019), reduzieren die Geschwindigkeit (Reimer et al., 2013; Trick et al., 2010; Vollrath, 2015) und führen seltener Fahrstreifenwechsel durch als jüngere Vergleichsgruppen (Reimer et al., 2013). Andrews und Westerman (2012) untersuchten den Zusammenhang zwischen der kognitiven, perzeptuellen und motorischen Leistungsfähigkeit und dem Fahrverhalten im Fahrsimulator mit 22 älteren Fahrenden ($M_{\text{Alter}} = 67$ Jahre) und 22 jüngeren Fahrenden ($M_{\text{Alter}} = 33$ Jahre). Ältere Fahrende passten den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zur Kompensation kognitiver Einschränkungen an. Darüber hinaus antizipierten ältere Fahrende mit besseren kognitiven Fähigkeiten Bremsvorgänge des vorausfahrenden Fahrzeugs öfters als solche mit geringeren kognitiven Fähigkeiten. Feng et al. (2018) verglichen die Aufmerksamkeitsleistung sowie die Gefahrenwahrnehmung in Kreuzungssituationen zwischen 21 älteren Fahrenden ($M_{\text{Alter}} = 71$ Jahre) und 16 jüngeren Fahrenden ($M_{\text{Alter}} = 24$ Jahre) in einem Laborexperiment. Die Teilnehmenden sahen eine statische Kreuzungssituation und mussten bewerten, ob sie ein vorgegebenes Manöver mit dem Egofahrzeug durchführen oder aufgrund von Gefahren unterlassen würden. Die Autoren fanden, dass ältere Fahrende in komplexeren Verkehrssituationen ihr Entscheidungskriterium für das Vorliegen einer Gefahr anpassten. Je komplexer die Situation, desto eher wurde eine Gefahr identifiziert, auch wenn diese objektiv nicht gegeben war. Feng et al. (2018) werteten dies als eine Kompensationsstrategie, die es älteren Fahrenden trotz eingeschränkter Aufmerksamkeitsleistung erlaubt, sich in komplexen Verkehrssituation fortzubewegen. Fofanova und Vollrath (2011) untersuchten den Einfluss von Doppelaufgaben auf die Fahrleistung von älteren ($N = 10$; $M_{\text{Alter}} = 68$ Jahre) und jüngeren Fahrenden ($N = 10$; $M_{\text{Alter}} = 39$ Jahre) in einem computerbasierten, low-fidelity Fahrsimulator. Die Teilnehmenden mussten als Primäraufgabe einen Lane-Change-Task ausführen und als Zweitaufgabe eine computerbasierte Version des d2-Aufmerksamkeitstests durchführen. Um aufmerksamkeitsbasierte Defizite zu kompensieren fokussierten sich ältere Fahrende im Vergleich zu jüngeren Teilnehmenden stärker auf die Primäraufgabe. Reimer et al. (2013) untersuchten in einem Feldversuch den Einfluss der kognitiven Auslastung auf das Fahrverhalten in drei Altersgruppen (jung: $N = 36$, $M_{\text{Alter}} = 25$ Jahre; mittel: $N = 35$, $M_{\text{Alter}} = 44$ Jahre; alt: $N = 35$, $M_{\text{Alter}} = 63$ Jahre). Die Teilnehmenden führten Fahrstreifenwechselmanöver auf einem US-Highway durch, während sie einen verbalen N-Back-Task (3 Level: 0-back, 1-back und 2-back) durchführten. Während alle Teilnehmenden unabhängig von der Altersklasse die Fahrstreifenwechsel-Häufigkeit mit zunehmender Schwierigkeit des N-Back-Tasks reduzierten, war die Reduzierung in älteren Fahrenden besonders ausgeprägt. Gleichzeitig fuhren die älteren Fahrenden unter kognitiver Last am langsamsten von allen Teilnehmenden und wählten aufgrund dessen auch nur selten den linken Fahrstreifen. Die konservativere Fahrweise kann als Kompensationsstrategie der Älteren für reduzierte kognitive Kapazitäten vor allem bei Doppelaufgaben interpretiert werden.

Kompensationsstrategien beim automatisierten Fahren

Fünf Studien untersuchten Kompensationsstrategien unter den Bedingungen des automatisierten Fahrens (hier eingeschlossen: Level 2 und höher). Ältere Fahrende hielten den Blick trotz Automatisierung häufiger und länger auf die Straße gerichtet (Gold et al., 2015; Molnar et al., 2017; Schwarz et al., 2019) und zeigten eine stärker antizipative Fahrstrategie (Henze et al., 2016). Gleichzeitig nutzen Ältere die Automatisierung stärker, um Fahrweisen, die sie bei manueller Fahrweise nicht zeigten bzw. nicht mehr zeigen konnten, erleben zu können (Hartwich, 2017). Molnar et al. (2017) untersuchte mögliche Unterschiede beim Übernahme- und Blickverhalten bei der Übergabe von automatisierten (Level 3) zum manuellen Fahren im Fahrsimulator in unterschiedlichen Altersklassen. Von $N = 72$ Teilnehmenden gehörten $N_{\text{Ältere}} = 24$ der Gruppe der älteren Fahrenden an (Altersspanne: 65 – 75 Jahre). In sieben verschiedenen Szenarien mussten die Teilnehmenden die Kontrolle über das Fahrzeug nach einem Take-Over-Request (TOR) übernehmen. Während der automatisierten Fahrt konnten die Teilnehmenden ihre Nebentätigkeit frei wählen. Während die mentale Beanspruchung älterer Fahrender beim TOR signifikant höher war als bei den Vergleichsgruppen (jüngere Fahrende; mittel alte Fahrende), engagierten sich Ältere weniger häufig in Nebentätigkeiten und hielten den Blick länger und häufiger auf die Straße gerichtet. Henze et al. (2016) untersuchte kritische Situationen unter dem Einsatz von automatisierten Funktionen (Level 2 und Level 3: Traffic Jam Pilot, ACC, Highway Chauffeur) in einem Feldversuch mit $N = 40$ Teilnehmenden ($N_{\text{Ältere}} = 22$; $M_{\text{Alter}} = 68,8$ Jahre). Bei einer Folgefahrt beschleunigte das Fahrzeug im Automationsmodus stark, sodass es einer Reaktion der Fahrenden bedurfte. Obwohl ältere Fahrende längere Reaktionszeiten hatten, war ihre kalkulierte Kollisionsrate auf vergleichbarem oder sogar niedrigeren Niveau mit den Vergleichsgruppen. Ältere kompensierten die längere Reaktionszeit durch stärkeres Bremsen und zeigten bezüglich des Spurhaltevermögens eine stärker antizipative Fahrstrategie als die Vergleichsgruppen. Hartwich (2017) untersuchte den Fahrspaß, Fahrkomfort und die Akzeptanz von Fahrten unter Hochautomation (Level 4) mit $N = 40$ Teilnehmenden ($N_{\text{Ältere}} = 20$; $M_{\text{Alter}} = 72,1$ Jahre) im Fahrsimulator. Die Teilnehmenden fuhren zuerst manuell in der virtuellen Umgebung (Landstraße und Autobahn mit insgesamt elf Szenarien wie z. Bsp. Auffahren auf langsames Fahrzeug) und fuhren ihre Fahrt unter L4-Automatisierung nach (gewohnte Fahrweise). Mindestens 6 Wochen später kamen die Teilnehmenden zu einer zweiten Session, in der sie die gleiche Strecke unter L4-Automatisierung fuhren, dieses Mal jedoch mit ungewohnten Fahrweisen (L4-Fahrweise unterscheidet sich von eigener Fahrweise bei manueller Fahrt). Im Gegensatz zu jüngeren Fahrenden hatten ältere Fahrende unter den ungewohnten L4-Fahrweisen mehr Fahrspaß, Fahrkomforterleben sowie eine höhere Akzeptanz als unter L4-Fahrweisen, die der eigenen manuellen Fahrweise entsprach. Die Autoren schlussfolgerten, dass ältere Fahrende das automatisierte Fahren nutzen um Fahrweisen „auszuüben“ (oder besser: auszuüben lassen), die sie aufgrund ihrer Leistungsdefizite und entsprechender taktischer Kompensationsstrategien wie z. Bsp. langsamer zu fahren in der manuellen Fahrt nicht realisieren können.

2.3.2 Auswirkungen der Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren

Den oben beschriebenen kompensatorischen Verhaltensweisen liegen verschiedene Leistungsdefizite zugrunde. Andrews und Westerman (2012) fanden, dass ältere Fahrende mit geringerem Leistungsvermögen bezogen auf Wahl-Reaktionsaufgaben, logisches Schlussfolgern, räumliche Wahrnehmung, dem Wechsel zwischen Aufgaben, der Aufmerksamkeit sowie exekutiven Funktionen einen größeren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug hielten als Personen mit höherem Leistungsvermögen in den genannten kognitiven Fähigkeiten. Feng et al. (2018) assoziierten ein Aufmerksamkeitsdefizit bei

älteren Fahrenden mit liberaleren Entscheidungskriterien bezüglich des Vorliegens einer Gefahrensituation in komplexen Verkehrssituationen. Ein Aufmerksamkeitsdefizit beschrieben auch Fofanova und Vollrath (2011), was laut den Autoren zu einer Fokussierung auf die fahrtbezogene Primäraufgabe führt. Dieser Befund kann auch mit längeren Blickdauern auf die Straße während des automatisierten Fahrens (Gold et al., 2015; Molnar et al., 2017) in Bezug gesetzt werden, da zum Zeitpunkt des TOR die Nebentätigkeit als Zweitaufgabe verstanden werden kann. Da ältere Fahrende auch gleichzeitig Probleme beim Wechsel zwischen Aufgaben sowie ein geringeres Reaktionsvermögen aufweisen (Andrews & Westerman, 2012), würde ihnen der Wechsel von einer nicht fahrtbezogenen Aufgaben zurück zur Kontrolle über das Fahrzeug deutlich schwerer fallen. Entsprechend ist auch die mentale Beanspruchung bei Älteren während TORs signifikant höher als bei Vergleichspopulationen (Molnar et al., 2017). Trick et al. (2010) und Vollrath (2015) sahen visuelle und aufmerksamkeitsbezogene Defizite von älteren Fahrenden als Grundlage für Geschwindigkeits-reduktionen unter ungünstigen Umgebungs- und Navigationsbedingungen. Jedoch wird der Einfluss dieser Leistungsdefizite auf die Existenz von Kompensationsstrategien von dem Bewusstsein der älteren Fahrenden für die eigenen Leistungsdefizite moderiert (Davis & Conlon, 2017; Vollrath, 2015). Je stärker die wahrgenommene Funktionseinschränkung, desto wahrscheinlicher kommt es zu einer kompensatorischen (Fahr-)Verhaltensänderung.

2.3.3 Einfluss bestehender Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren

Nach den Ergebnissen der Literaturrecherche ist die Frage, welchen Einfluss bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren haben, noch weitgehend unerforscht. Keine der hier berücksichtigten Studien verglich Kompensationsstrategien, die im manuellen Fahren bestehen, explizit mit dem Verhalten unter den Bedingungen der Automatisierung. Es bestehen jedoch unter dem automatisierten Fahren Verhaltensweisen, die besonders ältere Personen zeigen (z. Bsp. häufigere und längere Blicke auf die Straße, Molnar et al., 2017). Diese können als kompensatorische Verhaltensweisen betrachtet werden, da in derselben Studie ältere Personen die Rückübername der Kontrolle aus dem automatisierten Modus als deutlich beanspruchender bewerteten als jüngere Fahrende. Durch häufigere und längere Blicke auf die Straße wird ein besseres Situationsbewusstsein aufrechterhalten (Lu et al., 2017; Yang et al., 2018), sodass die Rückübernahme leichter fällt, als dies aus einer ressourcenintensiven Nebentätigkeit hinaus gewesen wäre. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse von Hartwich (2017) jedoch, dass ältere Fahrende die Automatisierung nutzen, um Fahrweisen zu erleben, die sie aufgrund ihrer Leistungsdefizite und daraus folgenden Kompensationsstrategien (wie z. B. die Fahrgeschwindigkeit zu reduzieren) im manuellen Fahren nicht realisieren können. Somit beeinflussen Kompensationsstrategien im manuellen Fahren das automatisierte Fahren an sich nicht direkt, erhöhen jedoch den wahrgenommenen Fahrspaß, -komfort und die Akzeptanz gegenüber dem automatisierten Fahren, da sie kompensatorische Verhaltensweisen redundant machen. Alle diese Befunde haben jedoch eine Einschränkung gemeinsam: Sie basieren auf Studien, die den Erstkontakt mit automatisierten Systemen untersuchen. Aussagen über die Gültigkeit dieser Befunde über die Zeit und Erfahrung älterer Fahrenden hinweg können nicht getroffen werden.

2.4 Altersspezifische Erwartungen und Bedürfnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zur Beantwortung der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

F-L3: Welche altersspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse sollten zur HMI Gestaltung berücksichtigt werden?

Dabei wird zunächst auf die Einstellung älterer Personen zum automatisierten bzw. autonomen Fahren eingegangen. Anschließend werden die Studienergebnisse vorgestellt, die das Kontrollbedürfnis von älteren Fahrenden thematisieren, bevor die Ergebnisse zu den Erwartungen an den Fahrstil automatisierter Fahrzeuge sowie den Erwartungen an die HMI Gestaltung zusammengefasst werden.

2.4.1 Einstellung zu automatisierten Fahrzeugen

Ältere Fahrende sehen in automatisierten Fahrzeugen sowohl Vorteile als auch Risiken (Nielsen & Haustein, 2018; Schmargendorf et al., 2018). Einerseits ist der Zugang zu Transportmitteln der älteren Generation generell wichtig (Rahman, Deb, Strawderman, Smith et al., 2019), das automatisierte Fahren birgt für sie das Potenzial, trotz physischer oder durch Medikamente verursachter Einschränkungen, ihre Mobilität aufrecht zu erhalten (Nielsen & Haustein, 2018; Schmargendorf et al., 2018) und sie sind der Auffassung, dass automatisierte Fahrzeuge Unfälle vermeiden, Reisezeiten verkürzen und als Alternative zu öffentlichen Verkehrsmitteln dienen können (Nielsen & Haustein, 2018; Rahman, Deb, Strawderman, Burch et al., 2019; Schmargendorf et al., 2018). Andererseits haben ältere Menschen ein begrenztes Verständnis von automatisiertem Fahren (Robertson et al., 2019), stehen der Technologie skeptisch gegenüber (Nielsen & Haustein, 2018) und haben Bedenken bezüglich der Systemsicherheit (Huff et al., 2019; Schmargendorf et al., 2018). Sie haben Angst davor, dem System ausgeliefert zu sein, das Fahren zu verlernen und somit die Kontrolle zu verlieren (Schmargendorf et al., 2018). Weiterhin fürchten sie sich davor, überwacht oder Opfer eines Hackerangriffs zu werden (Schmargendorf et al., 2018). Sie bezweifeln, dass sie den Umgang mit automatisierten Fahrzeugen erlernen können und sehen Schwierigkeiten darin, die nötige Konzentration und Aufmerksamkeit im Umgang mit der neuen Technologie aufzubringen (Robertson et al., 2019).

Die Eurobarometer-Datensatzanalyse von Hudson et al. (2019) ergab, dass Ältere im Gegensatz zu Jüngeren eher abgeneigt sind, automatisierte Fahrzeuge zu nutzen. Auch ein von Diepold et al. (2017) durchgeführtes Interview mit 12 Teilnehmenden im Alter zwischen 65 und 90 Jahren ergab, dass nur ein Viertel der Befragten in Zukunft automatisiert fahren möchte.

Im Gegensatz dazu zeigten die von Yannis et al. (2010) durchgeführten Interviews mit 158 Fahrenden (50 bis 65 Jahre), dass Ältere neuen sicherheitsfördernden Technologien gegenüber offen sind. Die Autoren begründen diese Offenheit damit, dass Ältere aufgrund ihrer persönlich wahrgenommenen Leistungsdefizite die Nützlichkeit der Technologien erkennen. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass sie die Systeme auch tatsächlich nutzen (Yannis et al., 2010). Weiterhin ist zu beachten, dass es sich bei den betrachteten Systemen in dieser Studie um Assistenzsysteme zur Geschwindigkeitsbegrenzung oder Müdigkeitserfassung handelte und nicht um automatisierte Fahrsysteme.

Die von Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) durchgeführte Fragebogenstudie mit 24 Teilnehmenden (M=71,5 Jahre, SD=5,93 Jahre) ergab jedoch auch, dass ältere Fahrende automatisierten Fahrsystemen

gegenüber allgemein positiv eingestellt sind. Im Vergleich zu den davor genannten Studien hatten die Teilnehmenden bei Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) allerdings bereits Erfahrungen mit automatisiertem Fahren in Form einer Fahrstudie gesammelt und profitierten, laut den Autoren, von diesen Erfahrungen dahingehend, dass sie ein realistisches Verständnis über die Fahrautomatisierung und damit auch ein größeres Vertrauen in diese hatten (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

Befragungen dazu, in welcher Form ältere Personen automatisiertes Fahren zukünftig nutzen wollen, zeigen, dass Ältere deutlich weniger dazu bereit sind ein privates autonomes Fahrzeug zu finanzieren als Jüngere (Abraham et al., 2017). Sie bevorzugen Carsharing Dienste (Faber & van Lierop, 2020) oder wünschen sich, dass ein, in diesem Fall autonomes Fahrzeug von Kirche oder Gemeinde zu Verfügung gestellt wird (Rahman, Deb, Strawderman, Smith et al., 2019).

2.4.2 Bedürfnis nach Kontrolle

Wie bereits beschrieben haben ältere Fahrende die Befürchtung, automatisierten Fahrsystemen ausgeliefert zu sein (Schmargendorf et al., 2018). Sie haben ein großes Bedürfnis nach Kontrolle und sind nicht bereit diese an das System abzugeben.

So konnte bspw. durch die bereits beschriebene Fragebogenstudie von Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) gezeigt werden, dass die Probanden trotz des durch die Vorerfahrungen gesteigerten Vertrauens ein Bedürfnis nach potentieller physischer Kontrolle über das System hatten. Sie forderten ein Monitoring- und Informationssystem, um die Fahrautomatisierung beobachten zu können. Auch bei der Gestaltung eines Windshield Display für ein Fahrzeug mit Level 5 Automatisierung, in der Studie von Riegler et al. (2019) wünschten sich die älteren Teilnehmenden ein Fenster mit Warnhinweisen, obwohl nicht in das Level 5 System eingegriffen werden kann. Die Fragebogenstudie von Huff et al. (2019) mit 39 Teilnehmenden im Alter zwischen 57 und 91 Jahren ergab weiterhin, dass Ältere es bevorzugen würden, wenn autonome Fahrzeuge weiterhin über ein Lenkrad sowie Pedalerie verfügten, damit sie die Kontrolle behalten können.

Generell favorisieren ältere Fahrende Informations- und Warnsysteme statt der Kontrollabgabe an ein automatisiertes System (Bellet et al., 2018; Diepold et al., 2017). Sie fordern die Möglichkeit, das System überstimmen und damit jederzeit die Kontrolle übernehmen zu können (Mok et al., 2016; Saito et al., 2016) und bevorzugen Systeme, die sie in ihrer Fahraufgabe unterstützen und ihnen Feedback bzw. klare Handlungsanweisungen geben (Frison et al., 2018; Petermann-Stock et al., 2013). In der Fragebogenstudie von Kang et al. (2016) wurden dabei besonders Assistenzsysteme positiv bewertet, die die Überwachung der Umgebung unterstützten. Auch in der Online Befragung von Abraham et al. (2017) bevorzugten die älteren Teilnehmenden die Unterstützung durch Kollisionswarnungen sowie eine Lenkunterstützung statt der vollständigen Kontrollabgabe an ein automatisiertes System.

2.4.3 Erwartungen an den Fahrstil automatisierter Fahrzeuge

Bezüglich des Fahrstils automatisierter Fahrzeuge ergab die von Frison et al. (2018) durchgeführte Fahr-simulatorstudie, dass ältere Teilnehmende einen eher defensiven Stil bevorzugen. In der Studie sollten die Probanden in einer 60 bis 120-minütigen Fahrt zu verschiedenen Zeitpunkten nach einem TOR die Fahrzeugkontrolle übernehmen. Die Studie von Hartwich et al. (2015), in der die Probanden zunächst manuell fuhren, anschließend autonom mit ihrem eigenen Fahrstil gefahren wurden und an einem späteren Tag noch einmal autonom mit ihrem eigenen sowie zwei fremden Fahrstilen gefahren wurden, zeigte im Gegensatz dazu, dass sowohl die älteren als auch die jüngeren Teilnehmenden eher mit dem weniger defensiven Fahrstil der Jüngeren gefahren werden möchten. Die bereits beschriebenen Fragebogenstudie von Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) ergab wiederum, dass die älteren Probanden, die bereits Erfahrungen in einer Fahrstudie gesammelt hatten, ein automatisiertes Fahrzeug bevorzugen würden, das ihren Fahrstil imitiert, dabei aber schlechte Angewohnheiten korrigiert.

2.4.4 Erwartungen an die HMI Gestaltung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass vor allem das große Bedürfnis älterer Fahrer nach Kontrolle bei der HMI Gestaltung berücksichtigt werden sollte. Ältere erwarten, dass das HMI sie darin unterstützt, das System zu verstehen und das Systemverhalten nachvollziehen zu können (Riegler et al., 2019; Schmargendorf et al., 2018). Sie wünschen sich Monitoring- und Informationssysteme (Bellet et al., 2018; Diepold et al., 2017; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b) und bevorzugen weniger bzw. kleinere Anzeigen im Sichtfeld, sodass sie weiterhin freie Sicht nach vorne haben (Riegler et al., 2019). Außerdem legen sie großen Wert darauf, das System jederzeit durch den Eingriff über Lenkrad oder Pedalerie überstimmen zu können (Huff et al., 2019; Mok et al., 2016; Saito et al., 2016) und wünschen sich gleichzeitig in Situationen wie bspw. einer Rückübernahmeaufforderung verständliche Handlungsanweisungen durch das HMI (Petermann-Stock et al., 2013). Neben den Informationen über den Status des Fahrzeugs möchten Ältere gerne über die Umgebung informiert werden und würden sich über Systeme wie bspw. einen Tourguide freuen (Diepold et al., 2017). Außerdem erwarten sie, dass automatisierte Fahrzeuge über ein Kommunikationssystem verfügen, welches in Notfällen genutzt werden kann um bspw. den Rettungsdienst kontaktieren zu können (Diepold et al., 2017; Huff et al., 2019).

2.5 Kontrolltransitionen, Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den folgenden drei Forschungsfragen zusammengefasst:

- F-L4.1: Wie muss das HMI gestaltet sein, um effektive und effiziente Handlungen bei einem TOR zu unterstützen?
- F-L4.2. Wie muss das HMI gestaltet sein, um Aufmerksamkeitswechsel zwischen fahrfremden Tätigkeiten (NDRT) und Fahraufgaben zu ermöglichen?
- F-L4.3: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein aufrechtzuerhalten bzw. Situationsbewusstheit schnell wiederzuerlangen bei einem TOR?

2.5.1 Unterstützung effektiver und effizienter Kontrolltransitionen

Um zu beantworten wie ein HMI gestaltet sein muss, um effektive und effiziente Handlungen bei einem TOR zu unterstützen werden im Folgenden zunächst die quantitative und qualitative Übernahmeleistung Älterer sowie deren subjektive Bewertung ihrer Leistung betrachtet. Anschließend werden Faktoren beschrieben, die Einfluss auf die Übernahmeleistung haben. Zuletzt werden die aus den jeweiligen Ergebnissen der Studien abgeleiteten Empfehlungen zur HMI Gestaltung zusammengestellt, welche sich vorrangig mit den Auswirkungen verschiedener Modalitäten und deren Parameterintensitäten befassen.

Quantitative Übernahmeleistung älterer Fahrender

Zur Bewertung der quantitativen Übernahmeleistung werden in den verschiedenen Studien die Orientierungszeit, die Reaktionszeit und die Übernahmezeit betrachtet.

Bezüglich der *Orientierungszeit*, also der Zeit zwischen dem TOR und der Blickausrichtung auf die Fahr-situation lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Fahrenden feststellen (Petermann-Stock et al., 2015; Vlakveld et al., 2018).

Im Gegensatz dazu wird für die *Reaktionszeit*, also die Zeit zwischen dem TOR und der Einnahme einer fahrbereiten Sitzposition, in einigen Studien bei älteren Fahrenden ein längerer Zeit gemessen als bei jüngeren Fahrenden (Henze et al., 2016; Li et al., 2018; Li, Blythe, Guo, Namdeo et al., 2019; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a). In anderen Studien ist der gemessene Unterschied der Reaktionszeit zwischen den Altersgruppen nicht signifikant (Clark & Feng, 2017; Sportillo et al., 2018; Vlakveld et al., 2018) oder zeigt sogar für jüngere Fahrende tendenziell längere Reaktionszeiten an (Clark & Feng, 2017). Molnar et al. (2017) begründen die nicht vorhandenen Unterschiede damit, dass ältere die Kontrolle nicht abgeben wollen, das System aufmerksam beobachten statt sich anderen Tätigkeiten zuzuwenden und damit ein anderes visuelles Verhalten zeigen als die Jüngeren. Obwohl die Unterschiede zwischen den Altersgruppen nicht signifikant sind, konnten Clark und Feng (2017) in ihren Versuchen zeigen, dass durch eine längere Vorlaufzeit bis zur Übernahme der Fahrzeugkontrolle die Reaktionszeiten der Älteren verkürzt werden konnten. Sportillo et al. (2018) stellten weiterhin fest, dass die Reaktionszeiten der Probanden die mit dem Fahrsimulator oder einer VR Brille trainierten ebenfalls verkürzt wurden. Auch Petermann-Stock et al. (2013) konnten einen Lerneffekt dahingehen feststellen, dass die Reaktionszeiten beim zweiten TOR im Versuch verkürzt waren.

Die Messung der *Übernahmezeit*, also der Zeit zwischen dem TOR und der ersten relevanten Fahrtätigkeit, wie einer Drehung des Lenkrades oder einer Veränderung der Brems- bzw. Gaspedalstellung um einen definierten Grenzwert, zeigte in vielen Studien keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen (Körper et al., 2016; Payre et al., 2017; Petermann-Stock et al., 2013; Petermann-Stock et al., 2015; Zhang et al., 2019). Payre et al. (2017) beobachteten dabei allerdings, dass ältere Fahrende einerseits zu häufigerer Pedalinteraktion neigen und andererseits mit Händen und Füßen simultan agieren. Da grundsätzlich die Reaktionszeit der Hände kürzer ist als die der Füße, scheint die Reaktionszeit der Hände einem stärkeren Alterungsprozess zu unterliegen (Payre et al., 2017). In der Studie von Körper et al. (2016) konnte weiterhin gezeigt werden, dass sich auch die Übernahmezeit von Älteren in wiederholten Situationen verkürzt. Berghöfer et al. (2018) fanden mit ihren Wizard of Oz Versuchen zum Übernahmeverhalten heraus, dass die Übernahmezeit einerseits mit der individuellen Reaktionszeit und andererseits mit den bisherigen Erfahrungen mit ACC Systemen korreliert. Je kürzer die individuelle Reaktionszeit bzw. je größer die Erfahrungen mit ACC Systemen waren, desto kürzer war die Übernahmezeit der Probanden. Ein Zusammenhang zwischen Alter und Übernahmezeit wurde dabei nicht festgestellt (Berghöfer et al., 2018). In den Vorversuchen von Feldhütter et al. (2018) konnten im Gegensatz zu den gerade vorgestellten Ergebnissen jedoch signifikant erhöhte Übernahmezeiten bei den älteren Teilnehmenden festgestellt werden. Auch in drei von Li et. al. durchgeführten Studien zeigten ältere Probanden einen signifikant höheren Zeitbedarf zur Übernahme der Fahrzeugkontrolle (Li et al., 2018; Li, Blythe, Guo, Namdeo et al., 2019; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a). Molnar et al. (2017) fanden diesbezüglich heraus, dass Ältere dazu neigen auf die Abschaltung der Automatisierung zu warten, statt diese aktiv zu unterbrechen. Die Studie von Zhou et al. (2018) stellte für die ältere Gruppe ebenfalls einen höheren Zeitbedarf zur Übernahme fest. Ähnlich wie bei Körper et al. (2016) konnte auch hier gezeigt werden, dass Ältere die Rückübernahme besser ausführten, wenn sie über das potentielle Auftreten eines TOR Bescheid wussten oder bereits Beispielszenarien kennengelernt hatten (Zhou et al., 2018).

Qualitative Übernahmeleistung älterer Fahrender

Im Gegensatz zu den Übernahmezeiten, lassen sich für das qualitative Kontrollübernahmeverhalten, also das Durchführen von *Lenk- oder Brems- bzw. Beschleunigungsmanövern* unmittelbar nach der Aufforderung zur Kontrollübernahme, deutlich größeren Unterschiede zwischen den Altersgruppen finden. Zwar gibt es auch hier einige Studien in denen die Differenzen keine Signifikanz erreichen (Feldhütter et al., 2018; Naujoks, Purucker, Neukum et al., 2015), die meisten jedoch zeigen Ergebnisse, die auf einen defensiveren Fahrstil älterer Fahrender hinweisen. Im Vergleich zu den Jüngeren zeigen Ältere ein insgesamt vorsichtigeres Übernahmeverhalten (Miller et al., 2016), wobei die Reaktionen abrupt und teilweise verstärkt ausfallen (Clark & Feng, 2017; Henze et al., 2016; Körper et al., 2016; Zhou et al., 2018). Sowohl die maximale Längsverzögerung (Clark & Feng, 2017; Henze et al., 2016) als auch der maximale Bremsdruck (Zhou et al., 2018) ist bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren signifikant erhöht. Auch die Betätigung des Gaspedals fällt bei der älteren Gruppe im Verlauf der Kontrollübernahme stärker aus (Clark & Feng, 2017). In der Studie von Körper et al. (2016) wurde weiterhin für ältere Fahrende eine höhere maximale Längsbeschleunigung festgestellt als für die jüngere Gruppe. Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit nach der Kontrollübernahme ist für die ältere Gruppe jedoch signifikant niedriger (Clark et al., 2017; Clark & Feng, 2017; Miller et al., 2016). Wie bereits erwähnt, ist auch die Häufigkeit der Pedalinteraktion bei älteren Fahrenden erhöht (Payre et al., 2017). Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sie in plötzlichen Kontrollübernahmesituationen erhöhtem Stress ausgesetzt sind, sich unsicher fühlen und in Folge dessen mit abrupten Brems- bzw. Beschleunigungsmanövern reagieren (Miller et al., 2016; Payre et al., 2017; Zhou et al., 2018). Die intensivierten Bremsmanöver könnten demnach auf

einen höheres Risikoempfinden der Älteren zurückgeführt werden (Körper et al., 2016). Allerdings könnte es sich auch um eine kompensatorische Maßnahme der Älteren zur Zeitverschaffung handeln (Körper et al., 2016). Im Gegensatz zu den Jüngeren sichern die älteren Fahrenden die Kontrollübernahme in den Versuchen von Feldhütter et al. (2018) deutlich häufiger durch Blicke in Seiten- bzw. Rückspiegel ab, was nicht auf eine Überforderung durch die Situation des TOR hinweist. Bezüglich des Blickverhaltens konnten Clark und Feng (2017) sowie Molnar et al. (2017) weiterhin feststellen, dass die Blicke der Älteren sowohl im manuellen als auch im automatisierten Fahrmodus deutlich weniger häufig von der Fahrsituation abweichen als die der Jüngeren.

In Bezug auf die *laterale Fahrzeugführung* erzielt die Gruppe der älteren Fahrenden tendenziell bessere Ergebnisse als die der jüngeren. Die Studie von Clark und Feng (2017) zeigt, dass Ältere bei der Kontrollübernahme vor einer Baustelle weniger von der Fahrbahnmitte abweichen als Jüngere. Auch die Ergebnisse von Favaro, Seewald et al. (2019) zeigen, dass Ältere bei einer Übernahmeaufforderung direkt vor einer S-Kurve in niedrigeren Geschwindigkeitsbereichen (88,5 km/h) weniger von der Fahrbahnmitte abweichen als Jüngere. Allerdings hat die Geschwindigkeit während des TORs einen signifikanten Einfluss auf die Übernahmeleistung der Älteren, sodass bei höheren Geschwindigkeiten (104,6 km/h) die Ergebnisse beider Altersgruppen ähnlich ausfallen. In einer weiteren Studie begründen Favaro, Eurich et al. (2019) die bessere Leistung der Älteren damit, dass diese weniger Vertrauen in die Technologie hatten und das Fahrzeug bzw. die Umgebung genauer beobachteten. Sportillo et al. (2018) konnten keine Alterseffekte auf die lateralen Abweichungen bei der Kontrollübernahme aufgrund fehlender Fahrbahnmarkierungen feststellen. Trotz der guten Ergebnisse Älterer bezüglich der Abweichungen von der Fahrbahnmitte, zeigen Studien auch hier, dass Ältere abruptere bzw. verstärkte Reaktionen zeigen. In den Studien von Li et al. (Li et al., 2018, 2019a) wurden bspw. bei einer plötzlichen Übernahmeaufforderung aufgrund eines liegen gebliebenen Fahrzeugs für die älteren Probanden signifikant größere Lenkwinkel gemessen. Die Studien von Wu et al. (2019) und Zhou et al. (2018) bestätigen dieses Ergebnis. Da für die Älteren Probanden in den Versuchen von Wu et al. (2019) bei einem Ausweichmanöver in einer rein manuellen Fahrt keine größeren Lenkwinkel gemessen werden konnten als für die Jüngeren, lässt sich daraus schließen, dass die verstärkten Reaktionen der Älteren auf das plötzliche Auftreten eines TOR zurückzuführen sind.

Die Auswertung der *minimal Time to Collision* (TTC) zeigt in den verschiedenen Studien unterschiedliche Ergebnisse. Während bei Li et al. (2018) die TTC für die ältere Gruppe signifikant geringer ist, zeigen die Ergebnisse von Körper et al. (2016) eine signifikant höhere TTC für die älteren Probanden. Die Anzahl der, aufgrund einer den Schwellwert von einer Sekunden unterschreitenden TTC, prognostizierten Kollisionen ist in der Studie von Körper et al. (2016) für die Älteren Probanden ebenfalls erhöht. Bei Henze et al. (2016) sinkt die kalkulierte Kollisionsrate allerdings mit dem Alter. Da bei Henze et al. (2016) die gemessene Reaktionszeiten der Älteren länger waren als die der Jüngeren schlussfolgern die Autoren, dass die meisten älteren Fahrenden ihre Reaktionszeiten durch stärkeres Bremsen kompensieren und so die geringere Kollisionsrate erreicht wird.

Subjektives Empfinden der Übernahmeleistung älterer Fahrender

Die Befragung der Probanden nach den Versuchsfahrten ergab, sowohl bei Li, Blythe, Guo, Namdeo et al. (2019) als auch bei Molnar et al. (2017), dass Ältere den Workload einer Kontrollübernahme anhand des NASA-Task-Load-Index signifikant höher bewerteten als Jüngere. Sie empfinden den Vorgang als herausfordernd in Bezug auf die Refokussierung der Aufmerksamkeit sowie die Einschätzung der Geschwindigkeit, fühlten sich aber größtenteils gut auf die Übernahme vorbereitet (Molnar et al., 2017). Trotzdem tauchten bei den Älteren häufiger Unklarheiten bezüglich des Vorgangs der Kontrollübernahme auf (Molnar et al., 2017).

Naujoks, Purucker, Neukum et al. (2015) stellten in ihrer Studie weiterhin fest, dass eine Übernahmeaufforderung aufgrund eines stehenden Fahrzeugs auf der Fahrbahn, die objektiv betrachtet von allen Probanden erfolgreich ausgeführt wurde, im Durchschnitt sowohl von jüngeren als auch von älteren Probanden als unangenehm oder sogar gefährlich eingestuft wurde.

Einflussfaktoren auf die Übernahmeleistung älterer Fahrender

Faktoren, die Einfluss auf die Übernahmeleistung älterer Fahrender haben sind zum einen die *Straßencharakteristik* bzw. die auf der jeweiligen Straße gefahrene *Geschwindigkeit*. So zeigte bspw. die Studien von Li et al. (2018) und Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019a) dass beide Altersgruppen bei der Übernahme der Fahrzeugkontrolle auf der Autobahn signifikant schlechtere Übernahmeleistungen in Bezug auf Reaktions- und Übernahmezeit zeigten als im Stadtverkehr. In der Studie von Favaro, Seewald et al. (2019) konnte weiterhin gezeigt werden, dass eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf die Gruppe der Älteren einen deutlich größeren Einfluss hatte als auf die Gruppe der Jüngeren. Während sich bei einer Erhöhung der automatisierten Geschwindigkeit von 88,5 km/h auf 104,6 km/h bei den Jüngeren die Leistung kaum veränderte, zeigten die Älteren bei der höheren Geschwindigkeit im Gegensatz zur niedrigen Geschwindigkeit eine deutliche schlechtere Leistung bezüglich der lateralen Fahrzeugführung.

Zum anderen hat die *Verkehrsdichte* Einfluss auf die Übernahmeleistung. So zeigte die Studie von Körber et al. (2016), dass eine Erhöhung der Verkehrsdichte in der Situation eines TOR aufgrund eines liegengebliebenen Fahrzeugs bei beiden Altersgruppen zu längeren Übernahmezeiten, einer kürzeren minimalen TTC und einer höheren Anzahl an Kollisionen führt. Weiterhin konnten Körber et al. (2016) feststellen, dass die älteren Fahrenden durch mehrfache Wiederholung der Transitionen ihre quantitative Leistung vor allem in Situationen ohne Verkehr verbessern konnten.

Li et al. (2018) untersuchten weiterhin den Einfluss verschiedener *Wetterbedingungen* auf die Übernahmeleistung älterer Fahrender. Während bei jüngeren Fahrenden die Reaktions- und Übernahmezeiten mit sinkender Sichtweite anstiegen, blieben die gemessenen Werte für die älteren Fahrenden trotz sinkender Sichtweite relativ konstant (Li et al., 2018). Wenngleich die Reaktions- und Übernahmezeit nicht beeinflusst wurden, kam es bei den älteren Probanden vermehrt zu kritischen Situationen und Kollisionen. Die abrupten, verstärkten Reaktionen der Älteren in für sie schwierigen Situationen gleichen damit zwar die Defizite in der quantitativen Übernahmeleistung aus, verschlechtern aber gleichzeitig die qualitative Übernahmeleistung (Li et al., 2018). Zur Unterstützung der älteren Fahrenden schlagen die Autoren zum einen ein Lenkstabilisierungssystem und zum anderen die Einbindung einer Projektion der Strecke zur Kompensation der schlechten Sichtverhältnisse vor.

Als weiterer Einflussfaktor wird in einigen Untersuchungen das zur Verfügung stehende *Zeitbudget* zur Kontrollübernahme betrachtet. Die Studien von Naujoks, Purucker, Neukum et al. (2015), Payre et al. (2017) und Favaro, Seewald et al. (2019) untersuchen die Übernahmeleistung bei TORs mit unmittelbarer Übergabe der Fahrzeugkontrolle. Keine der Studien kann diesbezüglich einen Alterseffekt auf die

Übernahmeleistung feststellen. Die Befragung in der Studie von Naujoks, Purucker, Neukum et al. (2015) ergab allerdings eine subjektive Bewertung dieser Transitionen als unangenehm oder sogar gefährlich. Auch in Studien mit kurzen Zeitbudgets zwischen 4 und 10 Sekunden sind keine signifikanten Unterschiede in der quantitativen Übernahmeleistung zwischen den Altersgruppen festzustellen (Clark & Feng, 2017; Feldhütter et al., 2018; Körber et al., 2016; Molnar et al., 2018; Petermann-Stock et al., 2013; Sportillo et al., 2018; Wu et al., 2019). Bei Molnar et al. (2017) geben über 75 % der Probanden aus beiden Altersgruppen an, sich innerhalb eines 5-sekündigen Zeitintervalls bis zum Abschalten der Automatisierung gut vorbereiten zu können. Trotzdem äußern Ältere häufig Probleme mit der Neuausrichtung ihrer Aufmerksamkeit innerhalb der gegebenen Zeit (Molnar et al., 2017). Clark und Feng (2017) konnten zeigen, dass bereits eine Verlängerung des Zeitbudgets von 4,5 auf 7,5 Sekunden bei den älteren Fahrenden zu einer signifikant kürzeren Reaktionszeit führte. Insgesamt präferieren allerdings sowohl Ältere als auch Jüngere das längere Zeitbudget (Clark & Feng, 2017).

In den Versuchen um Li et al., zur Untersuchung der Übernahmeleistung bei gleichzeitiger Ausführung einer NDRT, steht jeweils ein Zeitbudget von 20 Sekunden zur Verfügung, welches von den Probanden beider Altersgruppen generell als angemessen beurteilt wird (Li et al., 2018, 2019a).

HMI Gestaltung – Eignung verschiedener Modalitäten

In der betrachteten Literatur wurden akustische, optische und haptische Signale verwendet um die Fahrenden auf die bevorstehende Kontrolltransition vorzubereiten. Bei allen Modalitäten ist in der Gestaltung der Parameterintensität darauf zu achten, dass das Signal einerseits von den Fahrenden bemerkt wird, andererseits aber auch nicht als störend empfunden wird. Letzteres birgt die Gefahr, dass Fahrende die Funktion nicht weiter nutzen (Duthoit et al., 2018).

Akustische Signale bieten generell die Vorteile, dass keine aktive Ausrichtung der auditiven Wahrnehmung nötig ist um das Signal entdecken zu können und dass die visuelle Wahrnehmung während des Signal konstant auf die Fahrsituation ausgerichtet bleiben kann. Trotzdem ist eine rein akustische Gestaltung der Aufforderung zur Kontrollübernahme aufgrund altersbedingter Hörbeeinträchtigungen nicht zu empfehlen. So zeigten bspw. in der Studie von Petermann-Stock et al. (2013) zwei ältere Versuchsteilnehmende keine Reaktion auf die Übernahmeaufforderung in Form eines Warngongs, wie er beim ACC verwendet wird. Als Grund wurde von den Betroffenen angegeben, dass der Warngong während der parallelen Ausführung eines Wissensquiz nicht wahrgenommen wurde. Außerdem konnten sie keine Verknüpfung zwischen dem Signal und der damit verbundenen Aufforderung zur Kontrollübernahme herstellen (Petermann-Stock et al., 2013). Um die Rückholung in die Fahraufgabe transparenter zu gestalten, testeten Petermann-Stock et al. (2015) in einer weiteren Studie ein akustisches Signal in Form einer Sprachausgabe mit zwei Intensitätslevel. Der Vorteil einer Sprachausgabe besteht im Vergleich zu einem Warnton in der Möglichkeit zur Einbindung einer Handlungsanweisung. Das niedrige Intensitätslevel bestand aus der Aussage „Bitte übernehmen sie das Fahren“, gesprochen von einer weiblichen Stimme mit einer Frequenz von 55-56 Hz. Das hohe Intensitätslevel bestand aus der Aussage „Übernehmen, Übernehmen!“ und wurde ebenfalls von einer weiblichen Stimme, allerdings mit einer Frequenz von 60 Hz, gesprochen. Das neuartige Signal führte bei den Probanden beider Altersgruppen zunächst zu einem verzögerten Verhalten, folgt allerdings unmittelbar ein bekanntes Signal so ist, nach Aussage der Autoren, mit einer Verkürzung der Reaktionszeit zu rechnen. Die Reaktionen auf die verschiedenen Intensitäten unterscheiden sich in der Zeit die zum Loslösen von der NDRT benötigt wird. Die weiteren Phasen der Übernahme werden davon nicht beeinflusst (Petermann-Stock et al., 2015).

In einem weiteren Teil ihrer Studie betrachteten Petermann-Stock et al. (2015) die alleinige Verwendung eines *optischen Signals* in Form eines LED Lauflichtes von den Seitenscheiben hin zur Frontscheibe als Übernahmeaufforderung. Das rein optische Signal wurde ebenfalls von 8 der 36 Probanden nicht wahrgenommen. Vor allem die älteren Probanden beschrieben im Anschluss an die Versuche lediglich einen Lichtblitz wahrgenommen zu haben (Petermann-Stock et al., 2015). Optische Signale sollten daher durch weitere Signale einer anderen Modalität unterstützt werden. Insbesondere bei älteren Fahrenden ist durch die Reduzierung des Sichtfeldes eine Lenkung der Aufmerksamkeit auf ein optische Signal wichtig (Molnar et al., 2017).

Die in der betrachteten Literatur am häufigsten verwendete *Kombination* besteht dabei aus einem akustischen und einem optischen Signal, meist umgesetzt als ein Warnton und eine visuelle Darstellung der Handlungsanweisung. Sowohl die subjektive Bewertung als auch die Übernahmeleistung der Probanden bestätigen die Eignung einer solchen Kombination (Clark & Feng, 2017; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a).

Da ältere Fahrende ihre Blickrichtung meist auf die Fahrsituation ausrichten (Clark & Feng, 2017; Molnar et al., 2017) sollte ein optisches Signal bzw. die visuelle Darstellung der Handlungsempfehlung ebenfalls in diesem Bereich positioniert werden. Die Analyse der Blickbewegungen von Clark et al. (2019) ergab, dass das Kombiinstrument am längsten betrachtet wurde. Auch Head-Up Displays sind eine potentielle Möglichkeit zur Darstellung optischer Signale bzw. Handlungsempfehlungen, während die Mittelkonsole von beiden Altersgruppen nicht als Informationsquelle betrachtet wird (Clark et al., 2019). Kommunikationsfähige Medien, die zur Ausübung von NDRT verwendet werden, sollten während eines TORs deaktiviert oder dazu genutzt werden die Übernahmeaufforderungen zu kommunizieren (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

Eine weitere in der betrachteten Literatur verwendete Möglichkeit zur TOR Gestaltung ist die Nutzung *vibrotaktile Signale*. In der Studie von Petermann-Stock et al. (2015), in der die Aufforderung zur Rückübernahme über die Vibration der Rückenlehne mitgeteilt wurde, reagierten jedoch 7 von 36 Probanden nicht auf das Signal. Den Autoren zufolge ist dies jedoch nicht auf die fehlende Wahrnehmung des Signals, sondern vielmehr auf die fehlende Zuordnung zur Übernahmeaufforderung zurückzuführen. Allerdings konnte gezeigt werden, dass Ältere in Folge des vibrotaktilen Signals signifikant langsamer reagierten. Im Anschluss an die Versuche äußerten die Älteren, dass sie die Signale schlecht wahrgenommen haben. Eine Variation der Vibrationssignale führte dabei zu keiner Veränderung (Petermann-Stock et al., 2015). Auch die Studien von Duthoit et al. (2018) und Schwalk et al. (2015) zur Untersuchung möglicher Gestaltungen vibrotaktile Signale zeigen, dass bei Älteren die Erkennungsschwelle taktiler Reize höher und damit die Entdeckungsrate geringer ist als bei Jüngeren. Die Entdeckung des Signals nimmt dabei mit steigender Amplitude zu und sinkt mit steigender Impulslänge (Duthoit et al., 2018). Im Frequenzbereich zwischen 100 und 300 Hz sind Ältere dabei am sensitivsten (Duthoit et al., 2018). Sowohl Duthoit et al. (2018) als auch Schwalk et al. (2015) untersuchten auch die Vibrationsmuster. Während jedoch bei Duthoit et al. (2018) die Entdeckungsrate für die Signalbewegung von Rückenlehne zur Sitzfläche höher ist, zeigen die Probanden beider Altersgruppen bei Schwalk et al. (2015) bei der Signalbewegung von der Sitzfläche zur Rückenlehne die höchste Entdeckungsrate. Die Bewegung von der Rückenlehne zur Sitzfläche wird bei letzteren von den Probanden als Signal zur Kontrollabgabeaufforderung bevorzugt (Schwalk et al., 2015).

Zusammenfassend ergibt sich, dass sowohl Warntöne als auch haptische Signale, den Ergebnissen der betrachteten Studien nach, aufgrund ihres eingeschränkten Informationsgehalts nicht dazu geeignet sind als alleinstehendes Signal für einen TOR zu fungieren. Eine Kombination der verschiedenen Modalitäten scheint jedoch geeignet und wird von beiden Altersgruppen gewünscht (Bazilinsky & Winter, 2015).

Insbesondere Warntöne können genutzt werden um die Aufmerksamkeit der Fahrenden zu erregen und somit die Kontrollübernahmeaufforderung einzuleiten. Die visuelle sowie die akustische Modalität können genutzt werden um über Symbole oder Schriftzüge bzw. über Sprachausgabe einerseits die Blickausrichtung auf relevanten Informationen zu lenken und andererseits konkrete Handlungsanweisungen zu geben, die das erwartete Verhalten erklären (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b; Petermann-Stock et al., 2015). Insbesondere letzteres wird von älteren Probanden explizit gewünscht (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Neben den Handlungsanweisungen sollte das HMI für ältere Fahrende auch den Grund für die Übernahmeaufforderung vermitteln, da dies zu einer Reduktion der Reaktions- und Übernahmezeit führen kann (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Es ist jedoch zu beachten, dass sich bei jüngeren Fahrenden eine gegenteilige Reaktion zeigte.

Obwohl die beschriebenen Studienergebnisse keine positiven Auswirkungen unterschiedlicher Intensitäten der Modalitätsparameter auf die Übernahmeleistung feststellen konnten, fordern ältere Fahrende die Darstellung der Dringlichkeit der Kontrollübernahme über die jeweilige Intensität des Signals (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Weiterhin wünschen sie sich ein Monitoringsystem, dass die Intensität des Signals an den Zustand des Fahrenden anpasst (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Außerdem sollte ein HMI so gestaltet sein, dass die Intensität der Modalitätsparameter an die persönlichen Präferenzen und vor allem an die individuellen Leistungsdefizite Älterer angepasst werden kann (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

Zur Gestaltung des Zeitbudgets für die Kontrolltransition kann festgehalten werden, dass, wie bereits beschrieben, beide Altersgruppen sich nach einem Zeitraum von 5 Sekunden gut auf die Kontrollübernahme vorbereitet fühlen (Molnar et al., 2017), dass jedoch ein längeres Zeitbudget zu kürzeren Reaktionszeiten führt und von beiden Altersgruppen bevorzugt wird (Clark & Feng, 2017). Bei gleichzeitiger Ausführung einer NDRT während des Zeitpunkts des TOR halten beide Altersgruppen einen Zeitraum von 20 Sekunden für angemessen (Li et al., 2018, 2019a). Ob lange Zeitbudgets negative Auswirkungen auf die Übernahmeleistung haben können, wurde in der gefundenen Literatur nicht betrachtet.

2.5.2 Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und der Fahraufgabe

Zur Beantwortung der Frage, wie das HMI gestaltet sein muss, um Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und Fahraufgaben zu ermöglichen, werden im Folgenden die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammengefasst. Dabei werden zunächst die von älteren Fahrenden bevorzugten NDRT vorgestellt. Anschließend wird auf die Auswirkungen der NDRT auf die Fahrleistung älterer Fahrender eingegangen, bevor zuletzt die Empfehlungen zur HMI Gestaltung zur Unterstützung des Aufmerksamkeitswechsels zwischen NDRT und der Fahraufgabe zusammengefasst werden.

Bevorzugte NDRT älterer Fahrer

Zur Erfassung der von Älteren präferierten NDRT führten bspw. Fofanova und Vollrath (2011) eine Studie zur Untersuchung der Anfälligkeit Älterer für Ablenkungen während der manuellen Fahrt durch. Dabei konnte gezeigt werden, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren weniger dazu bereit sind sich in Sekundäraufgaben zu engagieren, was laut den Autoren einen selbstregulatorischen Prozess im Sinne einer Kompensationsstrategie darstellen könnte. Bei einer von Prat et al. (2015) durchgeführten Beobachtungsstudie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren während der manuellen Fahrt deutlich weniger NDRT ausüben. Führten ältere Fahrer eine sekundäre Tätigkeit aus, so handelte es sich im Gegensatz zu den jüngeren Fahrern eher um Tätigkeiten, die keine verstärkte visuelle Wahrnehmung erfordern, wie bspw. Essen, Trinken, Rauchen oder Reden. Da es sich bei den letzten beiden Studien allerdings um rein manuelle Fahrten handelte, ist es fraglich in wieweit die Ergebnisse auf das automatisierte Fahren übertragbar sind. Die Ergebnisse der Studie von Clark und Feng (2017) zeigten jedoch, dass auch bei einer Fahrt mit Level 3 Automatisierung ältere Fahrer im Vergleich zu den jüngeren weniger ihre elektronischen Geräte nutzten um sich zu beschäftigen und sich stattdessen häufiger mit anderen Personen unterhielten. Die Untersuchungen von Dixit et al. (2019), bei denen die Probanden während einer Autobahnfahrt mit Level 3 Automatisierung eine NDRT ausführen sollten, was bei richtiger Ausführung zu Geldgewinnen führte, zeigte ebenfalls, dass ältere Personen risikoaverser und trotz der potentiellen Geldgewinne weniger dazu bereit waren sich in NDRT zu engagieren. Der Vorversuch der Studie von Feldhütter et al. (2018) zeigte, dass ältere Fahrer bei einer Fahrt mit Level 3 Automatisierung und TOR im Vergleich zu jüngeren Fahrern in den Phasen der automatisierten Fahrt selbstständig keine Ablenkungen suchten sondern ihre Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe gerichtet hielten. Der Hauptversuch der Studie, bei dem den Probanden verschiedene FFT zur Verfügung standen, sie aber nicht explizit angewiesen wurden diese zu nutzen, zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen bzgl. der Zeit bis zur ersten Aufnahme einer NDRT. Allerdings beschäftigten die älteren Probanden sich häufiger bzw. länger mit Tätigkeiten, die eine Kombination aus visueller, auditiver und kognitiver Belastung darstellen, wie bspw. Video schauen auf einem Tablet. Die Jüngeren wählten im Vergleich dazu eher Tätigkeiten, die zusätzlich noch eine motorische Komponente beinhalteten, wie bspw. das Spielen auf einem Tablet. Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) fanden mit Interviews heraus, dass ein Großteil der Älteren entspannende Tätigkeiten, wie Radio hören, Lesen, Gespräche führen, Meditieren, Atemübungen oder aus dem Fenster schauen bevorzugten. Die Hälfte der Probanden wollte jedoch auch hier keine NDRT ausüben, sondern das System bei der Fahrt beobachten. Eine Untersuchung von Voinescu et al. (2018), bei der die von Älteren bevorzugten Funktionen eines HMI für autonome Fahrzeuge betrachtet wurden, ergab allerdings, dass ältere Fahrer die Funktionen positiv bewerteten, die sie während einer autonomen Fahrt langfristig beschäftigten. Dazu zählten bspw. Surfen im Internet, Fernsehen und Musik hören. Da es sich hierbei allerdings um eine autonome Fahrt ohne TOR handelte und die Probanden explizit dazu aufgefordert wurden die Funktionen zu testen ist es ebenfalls fraglich in wie weit die Ergebnisse auf eine automatisierte Fahrt übertragbar sind.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Ältere im Vergleich zu jüngeren weniger häufig NDRT ausüben, sondern das Fahrsystem beobachten möchten. Werden NDRT gewünscht, sind dies meist entspannende Tätigkeiten, die keine starken Einbußen in der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit erfordern, sodass eine Beobachtung des Systems bzw. die Blickausrichtung auf die Fahrsituation weiterhin möglich ist.

Im Gegensatz zu den jüngeren zeigen ältere Fahrende in den Phasen der automatisierten Fahrt eine geringere Erschöpfung als in langen manuellen Abschnitten (Wu et al., 2019). Während bei älteren Fahrenden die Qualität der lateralen Fahrzeugführung nicht von der Dauer der automatisierten Fahrt beeinflusst wird, zeigen jüngere nach längeren Phasen automatisierter Fahrt schlechtere Leistungen als nach kürzeren Phasen (Favaro, Seewald et al., 2019). Der Versuch von Wu et al. (2020) mit dem Einsatz von NDRT, Müdigkeit zu bekämpfen, zeigt bei den älteren Probanden im Gegensatz zu den jüngeren keine Wirkung (vgl. Clark et al., 2017). Da ältere Fahrende laut Wu et al. (2020) jedoch allgemein besser dazu in der Lage sind ein geringes Level der Müdigkeit während der automatisierten Fahrt aufrecht zu erhalten, scheint eine dahingehende Maßnahme für Ältere nicht notwendig zu sein. Die Erkenntnisse, dass ältere Fahrende anfälliger für eine durch die mentale Arbeitsbelastung einer NDRT verursachten Erschöpfung sind, scheint es sogar unangebracht sie zu ermutigen sich in NDRT zu engagieren, wenn sie gleichzeitig mit einem TOR konfrontiert werden können (Wu et al., 2020).

Auswirkungen der NDRT auf die Fahrleistung älterer Fahrender

Untersuchungen zu den Auswirkungen der NDRT auf die Fahrleistungen älterer Fahrender zeigen allerdings, dass bei paralleler Ausführung der Fahraufgabe mit der NDRT in Bezug auf die Fahrleistung keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen festzustellen sind, jedoch die Älteren Probanden in der Ausführung der NDRT signifikant schlechtere Ergebnisse erzielen als die Jüngeren (Naujoks, Purucker & Neukum, 2015; Son et al., 2010). Wird eine Aufgabe jedoch nicht parallel zur Fahraufgabe sondern während der automatisierten Fahrt durchgeführt, erzielen Ältere sogar bessere Ergebnisse als Jüngere (Petermann-Stock et al., 2013). Untersuchungen zu den Auswirkungen der NDRT bei einem TOR zeigen, dass Ältere und Jüngere sich nach der Aufforderung zur Rückübernahme vergleichbar schnell von der Nebenaufgabe lösen (Petermann-Stock et al., 2015). Auch für die Beeinflussung der lateralen Fahrzeugkontrolle durch NDRT lassen sich keine Alterseffekte feststellen, beide Altersgruppen zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Übernahme mit und ohne NDRT (Körber et al., 2016). Zhang et al. (2019) führen die nicht vorhandenen Unterschiede allerdings darauf zurück, dass Ältere weniger stark in die NDRT eintauchen.

Mit zunehmender Anzahl frei gewählter NDRT ist bei der Gruppe der Älteren eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit zu beobachten (Clark et al., 2017). Die Anzahl, Dauer und Art der vor dem TOR ausgeführten Tätigkeiten hat in der Studie von Clark et al. (2019) in der Gruppe der Älteren keinen negativen Einfluss auf die Reaktionszeit in der Übernahme. Die Ausführung einer rein visuellen oder rein auditiven NDRT führt in beiden Altersgruppen sogar zu einer kürzeren Reaktionszeit. Die Autoren vermuten diesbezüglich, dass das Eingebunden Sein in eine FFT die Aufmerksamkeit unterstützt und somit schnellere Reaktionen begünstigt. Clark und Feng (2017) konnten hingegen feststellen, dass ältere Fahrende, die sich stark in einer NDRT engagieren, auf einen TOR mit verstärktem Bremsen reagierten. Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019a) zeigten ebenfalls, dass ein vollständiges Losgelöst Sein von der Fahraufgabe aufgrund einer NDRT sowohl bei jüngeren als auch bei älteren Fahrenden zu höheren Übernahmezeiten und einer geringeren Übernahmequalität führte. Weiterhin führte die Bearbeitung einer NDRT mit hohem Beanspruchungslevel bei Petermann-Stock et al. (2013) zu einer signifikant längeren Reaktionszeit in beiden Altersgruppen. Da in der Studie von Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) die älteren Fahrenden den Wunsch nach einem Informationssystem äußerten um das Fahrsystem beobachten und dessen Funktionsfähigkeit überwachen zu können, kann allerdings angenommen werden, dass Ältere sich nicht so sehr in NDRT engagieren, wenn sie nicht explizit dazu aufgefordert werden.

Anhand der physiologischen Klassifizierung nach Young et al. (2003) lassen sich NDRT in visuell beanspruchende, auditiv beanspruchende, biomechanisch bzw. motorisch beanspruchende und kognitiv

beanspruchende Tätigkeiten unterteilen. Die anhand der systematischen Literaturrecherche gefundenen Studien untersuchen allerdings lediglich die Auswirkungen von visuell bzw. auditiv beanspruchenden Tätigkeiten.

Der Vergleich des Einflusses von akustisch beanspruchenden NDRT und visuell beanspruchenden NDRT zeigt, dass ältere Fahrende durch die Ausführung einer visuell beanspruchenden NDRT wie dem Vorlesen stärker beeinträchtigt werden als durch ein Telefongespräch (Körber et al., 2016; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a). Die Durchführung des Telefongesprächs hat zwar einen leistungsmindernden Effekt in Form einer geringen Erhöhung der Übernahmezeit, jedoch gelingt es den älteren im Vergleich zu den jüngeren Fahrenden durch stärkeres und häufigeres Bremsen insgesamt sogar höhere Werte der minimalen TTC zu erzielen (Körber et al., 2016). Im Gegensatz dazu sind im Fall der fahrfremden Tätigkeit Vorlesen zwar bei älteren Fahrenden die Reaktions-, Übernahme- und Indikationszeit deutlich erhöht und die minimale TTC reduziert Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019a). Daraus lässt sich schließen, dass den älteren Fahrenden primär solche fahrfremden Tätigkeiten Probleme bereiten, die mit dem visuellen Sinneskanal interferieren.

HMI Gestaltung zur Unterstützung des Aufmerksamkeitswechsels

Um den Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und der Fahraufgabe zu unterstützen, ist es vor allem wichtig, den älteren Fahrenden einen ausreichenden Zeitraum zur Kontrollübernahme zu verschaffen (Clark et al., 2019). Der in den Studien von Li et al. (2018) betrachtete Zeitraum von 20 Sekunden wurde diesbezüglich von beiden Altersgruppen als angemessen beurteilt.

In der Studie von Petermann-Stock et al. (2015) konnte gezeigt werden, dass sowohl das optische als auch das vibrotaktile Signal bei gleichzeitiger Ausführung eines Wissensquiz von mehreren Probanden beider Altersgruppen nicht wahrgenommen wurde. Da im Falle einer akustischen NDRT ein Signal mit der identischen Modalität schlecht wahrgenommen werden kann, sollte die Übernahmeaufforderung bei gleichzeitiger Ausführung fahrfremder Tätigkeiten aus zwei Signalen verschiedener Modalität bestehen. Wird zur Ausübung der NDRT ein kommunikationsfähiges Medium verwendet, sollte dieses im Falle eines TOR deaktiviert oder selbst zur Vermittlung der Übernahmeaufforderung verwendet werden (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

Um vor allem den älteren Probanden die Rückkehr in die Fahrsituation sowie die Kontrollübernahme zu erleichtern sollte das HMI so gestaltet sein, dass relevante Informationen schnell erkannt werden und das erwartete Verhalten deutlich kommuniziert wird (Petermann-Stock et al., 2015). Dazu kann, wie bereits beschrieben, einerseits eine Sprachausgabe und andererseits eine Darstellung über Text bzw. Symbolik verwendet werden, die die Blickausrichtung leitet und klare Handlungsanweisungen gibt (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b; Petermann-Stock et al., 2015).

2.5.3 Situations- und Modusbewusstsein bei einem TOR

Die systematische Literaturrecherche zeigt, dass sich bislang noch keine Studien exklusiv mit der Erhaltung des Situationsbewusstseins bzw. dem Modusbewusstseins älterer Fahrer im Kontext des automatisierten Fahrens auseinandergesetzt haben. Aus der Analyse der thematisch verwandten Literatur lassen sich jedoch die folgenden Erkenntnisse ziehen.

Die in Kapitel 1 beschriebenen visuellen und kognitiven Beeinträchtigungen älterer Fahrer führen genauso wie beim manuellen Fahren auch beim automatisierten Fahren zu Problemen bezüglich der Aufmerksamkeitssteuerung, Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung (Molnar et al., 2017; Petermann-Stock et al., 2015; Vollrath, 2015). Vor allem im Bereich der geteilten Aufmerksamkeit weisen ältere Fahrer im Vergleich zu jüngeren ein Defizit auf (Vollrath, 2015). Das führt dazu, dass Älteren im Vergleich zu Jüngeren eine korrekte und vollständige Erfassung einer neuen Fahrsituation deutlich schwerer fällt und ihre Gefahrenwahrnehmung verlangsamt wird (Zhou et al., 2018). Die Analyse des Blickverhaltens in der Studie von Molnar et al. (2017) zeigte diesbezüglich, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren keine breite Blickstreuung sondern eingeschränkte Abtastmuster aufwiesen, was auf eine erhöhte kognitive Beanspruchung der Älteren hinweist.

Durch Kompensationsstrategien wie der Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit (Clark & Feng, 2017) oder dem verstärkten Bremsen nach einer Rückübernahmeaufforderung (Henze et al., 2016; Zhou et al., 2018) verschaffen ältere Fahrer sich Zeit, um die Situation vollständig erfassen zu können und gleichen damit ihre Defizite aus. Besteht für sie jedoch keine Möglichkeit zur Zeitverschaffung äußert sich dies in einem, im Vergleich zu den Jüngeren, deutlich schlechteren Übernahmeverhalten (Li et al., 2018). Es ist also wichtig Älteren einen entsprechenden großen Zeitraum zur Kontrollübernahme zur Verfügung zu stellen. Eine weitere Strategie zur Kompensation ihrer Defizite ist die Vermeidung von NDRT, die es erfordern den Blick von der Fahrsituation abzuwenden (Clark & Feng, 2017; Feldhütter et al., 2018). Durch die konstante Wahrnehmung der Umgebung vermeiden sie Situationen, in denen sie plötzlich und in kurzer Zeit viele Informationen aufnehmen und verarbeiten müssten, um angemessen reagieren zu können. Als Hilfsmittel wünschen sich Ältere dazu, wie bereits erwähnt, ein HMI, das relevante Informationen über die Umgebung sowie den Zustand und das Vorhaben des Fahrsystems bereitstellen (Bellet et al., 2018; Diepold et al., 2017).

Vorteile, die ältere Fahrer gegenüber jüngeren haben, sind ihre Fahrerfahrung und die kritische Selbsteinschätzung ihrer Fähigkeiten (Clark & Feng, 2017; Petermann-Stock et al., 2015). Sie verfügen über ein ausgeprägtes erlerntes Situationsbewusstsein. Dass diese Erfahrung und damit das Wissen darüber, in welcher Situation welche Verhaltensweise angebracht ist, für Ältere besonders wichtig ist, zeigt auch ihr Bedürfnis nach der Möglichkeit in einer sicheren Umgebung, bspw. im Zuge eines Trainings, Erfahrungen mit dem Umgang von automatisierten Fahrzeugen zu sammeln (Robertson et al., 2019). Den Ergebnissen von Vollrath (2015) nach ist in kritischen Situationen vor allem die korrekte Wahrnehmung relevanter Reize von Bedeutung. Diesbezüglich bemängelten in der Studie von Molnar et al. (2017) einige Fahrer die Transparenz des Systems. Sie konnten nicht erkennen welche Faktoren in der jeweiligen Situation relevant waren und zu einer Übernahmeaufforderung führten. Auch die Diskussion in der Fokusgruppe bei Robertson et al. (2019) zeigte, dass Ältere großes Interesse daran haben, genau zu verstehen unter welchen Bedingungen die Automation funktioniert, welche Situationen zu einem TOR führen und wie die Kontrolltransition abläuft. Um ältere Fahrer in ihrem Situationsbewusstsein zu unterstützen, sollte demnach die Komplexität des Systems reduziert und das HMI dahingehen optimiert werden, dass relevante Informationen, bspw. auch durch ein stimmliches Navigieren des Blickverhaltens, schnell wahrgenommen werden (Clark et al., 2019; Vollrath, 2015). Es sollte

jederzeit ersichtlich sein, aufgrund welcher Faktoren das System in einem Zustand ist, in welchem Zustand es ist und was das System als nächstes macht (Andre & Degani, 1997). Außerdem wünschen sich Ältere ein HMI, das ihnen in der noch unbekannteren Situation eines TOR klare Handlungsanweisungen gibt, an die sie sich halten können (Frison et al., 2018; Petermann-Stock et al., 2013).

Obwohl ältere Fahrer, wie bereits in Kapitel 2.4 beschrieben, tendenziell weniger Vertrauen in neue Technologien haben, besteht die Gefahr, dass sie sich zu sehr auf die Automation verlassen ohne dass ihnen die Grenzen des Systems bewusst sind (Donmez et al., 2006). Es ist demnach wichtig, dass Ältere jederzeit wissen, in welchem Modus sich das System befindet und welchen Leistungsgrenzen dieser Modus unterliegt. Trainingseinheiten in einer sicheren Umgebung können älteren Fahrern dabei helfen das System kennenzulernen und zu verstehen (Zhou et al., 2018). Welche Faktoren des HMI Einfluss auf das Modusbewusstsein älterer Fahrer haben und wie eine dahingehend optimierte HMI Gestaltung für automatisierte Fahrzeuge aussieht wurde bisher jedoch nicht näher untersucht.

2.6 Vertrauen, Akzeptanz und User Experience

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu folgender Forschungsfrage zusammengefasst:

F-L5: Welche Informationsstrategien sind dazu geeignet, um durch das HMI Vertrauen, Akzeptanz und User Experience zu erzeugen?

2.6.1 Vertrauen

Obwohl ältere Fahrende in automatisierten Fahrzeugen eine Möglichkeit sehen ihre Mobilität trotz altersbedingter Einschränkungen aufrecht zu erhalten (Nielsen & Haustein, 2018; Schmargendorf et al., 2018), haben sie weniger Vertrauen in die neue Technologie und befürchten ein Versagen des Systems ohne die Möglichkeit eingreifen zu können (Abraham et al., 2017; Diepold et al., 2017; Faber & van Lierop, 2020; Haghzare et al., 2019). Dabei sinkt das Vertrauen mit steigendem Automatisierungsgrad (Rödel et al., 2014). Generell favorisieren ältere Fahrende Assistenzsysteme statt der vollständigen Kontrollabgabe an ein automatisiertes System (Bellet et al., 2018; Diepold et al., 2017). Sie zeigen dabei allerdings auch ein höheres Vertrauen in die Assistenzsysteme als die jüngeren Fahrenden (Shimazaki et al., 2018). So ist bspw. ihr Sicherheitsempfinden in Fahrzeugen mit ACC und Spurhalteassistent höher als das der jüngeren Fahrenden (Naujoks, Purucker & Neukum, 2015). Es scheint als würden Ältere aktive Assistenzsysteme ablehnen, solange ihnen das Verständnis für die Funktionsweise bzw. das Verhalten des Systems fehlt. Mit steigender Erfahrung und damit steigendem Wissen steigt auch das Systemvertrauen (Ito et al., 2018).

Unabhängig vom Alter zeigen die Teilnehmenden der Studie von Molnar et al. (2018), dass Fahrende die ein hohes Komfortempfinden dabei haben einer anderen Person die Fahrzeugkontrolle zu überlassen auch ein höheres Vertrauen in automatisierte Systeme haben. Obwohl Ältere häufiger Beifahrende sind als Jüngere (Molnar et al., 2018), war es für die älteren Probanden in den Versuchen von Molnar et al. (2017) unangenehmer die Kontrolle abzugeben und automatisiert zu fahren, als für die jüngeren. Ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Nutzung technischer Geräte und dem Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge konnte nicht festgestellt werden (Molnar et al., 2018). Auch die Erfahrung mit ACC-Systemen hatte keinen Einfluss auf das Sicherheitsgefühl und das damit verbundenen Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge (Naujoks, Purucker & Neukum, 2015). Allerdings besteht ein negativer Zusammenhang zwischen der Fahrerfahrung und dem Vertrauen in die Leistung des Fahrsystems (Haghzare et al., 2019).

Die Diskussionen in den Fokusgruppen zeigten bei Faber und van Lierop (2020), dass die Äußerung eines älteren Teilnehmenden, der sein Vertrauen in das System kommunizierte, auch bei anderen älteren Teilnehmenden zu gesteigertem Systemvertrauen führte. Auch bei Robertson et al. (2019) ergaben die Diskussionen der Fokusgruppen, dass 75 % der Teilnehmenden automatisierte Fahrzeuge nutzen würden, wenn sie feststellten, dass andere diese Technologie ohne Komplikationen nutzen. Ältere Fahrende äußerten allerdings, dass sie mehr Erfahrung mit automatisierten Fahrzeugen benötigen um ein größeres Vertrauen ausbilden zu können (Robertson et al., 2019). Verschiedene Studien zeigten dahingehend, dass durch eine praktische Erfahrung des automatisierten Fahrsystems, bspw. in Form von Simulatorfahrten, das Systemvertrauen bereits nach einer Fahrt gesteigert werden konnte (Feldhütter et al., 2018; Hartwich et al., 2019; Schwarz et al., 2019; Trübswetter, 2015). Dabei bewerteten die älteren Probanden

in der Studie von Gold et al. (2015) sowohl ihr Systemvertrauen als auch ihr Sicherheitsgefühl und ihre Nutzungsabsicht höher als die jüngeren Probanden. Da allerdings auch die Kaufabsicht abgefragt wurde, könnte die tendenziell geringere Finanzkraft der jüngeren Teilnehmenden negative Auswirkungen auf deren Bewertungen gehabt haben.

Weiterhin äußerten die ältere Teilnehmenden der Fokusgruppen bei Robertson et al. (2019), dass auch ein besseres Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen der automatisierten Systeme dazu dienen würde ihr Vertrauen zu steigern. Auch in den Versuchen von Molnar et al. (2017) geben die älteren Probanden an, erfahren zu wollen unter welchen Bedingungen automatisierte Fahrzeuge die Kontrolle übernehmen können, welche Situationen zu einer Kontrollübernahmeaufforderung führen und wie diese ablaufen würde. Ferner führte auch eine reduzierte Geschwindigkeit von 88,5 km/h statt 104,6 km/h während eines TOR in allen Altersgruppen zu einem größeren Systemvertrauen, wobei der Unterschied in der Gruppe der Älteren am größten ausfiel.

Zur Steigerung des Systemvertrauens sollte das HMI eines automatisierten Fahrzeugs daher benutzerfreundlich und transparent gestaltet sein. Es sollte jederzeit Informationen zum Systemzustand sowie zu dem von den Fahrenden erwarteten Verhalten bereitstellen, sodass die kognitive Belastung für ältere Fahrende reduziert wird (Molnar et al., 2017; Robertson et al., 2019). Diesbezüglich führten in der Studie von Donmez et al. (2006), in welcher Strategien zur Vermeidung von Ablenkungen untersucht wurden, visuelle Warnungen zu größerem Vertrauen als akustische Warnungen. Außerdem sollten Möglichkeiten zu Trainingseinheiten bestehen, in denen ältere Fahrende Erfahrungen bezüglich des Systemverhaltens sammeln können. Da in den Versuchen von Zhou et al. (2018) vor allem eine Vorbereitung mit Hilfe von impliziten Anweisungen zum erwarteten Verhalten und Szenario basierten Beschreibungen der Systemgrenzen zu einem gesteigerten Vertrauen der älteren Teilnehmenden führte, sollten diese ebenfalls in solche Trainingseinheiten implementiert werden. Insbesondere das Verständnis der Systemgrenzen ist für ältere Fahrende wichtig, da die Gefahr besteht, dass sie dem System zu sehr vertrauen und dessen Leistungspotenzial überschätzen (Donmez et al., 2006).

2.6.2 Akzeptanz

Wie auch das Vertrauen ist die Akzeptanz älterer Fahrender für Assistenzsysteme, wie Kollisionswarnsystemen, Parkassistenten und Spurhalteassistenten, in den meisten Studien deutlich höher als die Akzeptanz für automatisierte Fahrsysteme (Bazilinskyy & Winter, 2015; Bellet et al., 2018; Donmez et al., 2006; Liu et al., 2019; Son et al., 2015). Bellet et al. (2018) führen die sinkende Akzeptanz bei steigendem Automatisierungsgrad auf das steigende Gefühl des Kontrollverlusts zurück. Im Gegensatz dazu konnte Hartwich (2017) in ihrer Studie bei den älteren Teilnehmenden eine hohe Akzeptanz feststellen, wenn gleich die Selbstwirksamkeit und die Umgebungsbedingungen zur Erleichterung der Nutzung des Systems von den Älteren niedrig bewertet wurden. Daraus lässt sich schließen, dass die Möglichkeit zur Aufrechterhaltung ihrer Mobilität für Ältere von hoher Bedeutung ist, sodass sie das Gefühl des Kontrollverlusts in Kauf nehmen. Die szenarienbasierte Online Befragung mit 336 Teilnehmenden von Rödel et al. (2014) ergab ebenfalls, dass Ältere einen höheren Automatisierungsgrad bevorzugen, da dieser ihnen das Fahren erleichtert. Trübswetter (2015) identifizierte dahingehend die Entlastung und den Komfort der älteren Fahrenden als wichtigste Aspekte der wahrgenommenen Nützlichkeit. Im Gegensatz zum Systemvertrauen lässt sich demnach die Akzeptanz älterer Fahrender gegenüber automatisierten Fahrsystemen dadurch verbessern, dass sie in der neuen Technologie den Nutzen sehen ihre altersbedingten Leistungsdefizite kompensieren und weiterhin mobil sein zu können.

Auch wenn der potentielle Nutzen dazu beiträgt die Akzeptanz für automatisierte Fahrzeuge zu steigern, ist die Kontrolle über das Fahrzeug für ältere Fahrende trotz allem ein wichtiger Faktor. So bewerteten sie in der Studie von Saito et al. (2016) ein System zur Lenkunterstützung zwar sowohl als nützlich als auch als zufriedenstellend, besonders positiv wurde dabei jedoch bewertet, dass das System jederzeit überstimmt werden konnte. Auch Frison et al. (2018) konnten in ihrer Fahrsimulatorstudie zeigen, dass die Akzeptanz neben der wahrgenommenen Nützlichkeit auch von der Einfachheit der Nutzung und der Einfachheit des Erlernens sowie vom Gefühl der Sicherheit und Selbstbestimmtheit abhängt.

Die Befragung von 32 älteren Fahrenden zur Diskrepanz zwischen dem Wunsch nach Unterstützung und der niedrigen Nutzungsrate von automatisierten Systemen von Trübswetter (2015) ergibt ebenfalls, dass die fehlende wahrgenommene Nützlichkeit den häufigsten Grund für die Ablehnung der Assistenzsysteme darstellt. Die Teilnehmenden geben an die Unterstützung des Systems aufgrund ihrer guten Fahrleistungen und ihrer Erfahrung nicht zu benötigen. Weitere Faktoren, die zu einer Ablehnung der automatisierten Systeme führen sind vermutete funktionelle Einschränkungen wie Defizite der Sensorik, fehlende Systemeigenschaften oder auch eine geringe Systemzuverlässigkeit (Trübswetter, 2015). Außerdem nennen die Teilnehmenden die Anschaffungs- und Wartungskosten, ein ungeeignetes Systemdesign, mangelndes Systemvertrauen, Sicherheitsbedenken und die Befürchtung die komplexe Bedienung nicht zu beherrschen als Nutzungsbarrieren (Trübswetter, 2015).

Weiterhin konnte Trübswetter (2015) zeigen, dass durch das Angebot von Trainingseinheiten das Systemvertrauen sowie die Akzeptanz gesteigert werden kann. In den Untersuchungen von Hartwich (2017) konnte die Akzeptanz und dabei insbesondere die wahrgenommene Nützlichkeit und Zufriedenheit ebenfalls durch praktische Erfahrung in Form einer automatisierten Fahrt im Fahrsimulator gesteigert werden.

2.6.3 User Experience

Die User Experience bei automatisiertem Fahren wird von der empfundenen Sicherheit und Kontrolle, dem Fahrspaß sowie dem empfundenen Komfort beeinflusst. Laut Frison et al. (2018) ist die User Experience subjektiv, sehr individuell und nicht vom Alter der Person abhängig. Trotzdem lassen sich zu den genannten Einflussfaktoren altersspezifische Unterschiede feststellen.

Wie schon mehrfach beschrieben haben ältere Fahrende ein hohes Bedürfnis nach *Autonomie und Sicherheit* (Frison et al., 2017; Frison et al., 2018). Während jüngere Fahrende in automatisiertem Fahren eine Möglichkeit sehen ihre Reisezeit durch die Ausübung fahrfremder Tätigkeiten effektiver Nutzen zu können, erhoffen Ältere sich von der neuen Technologie unterstützt zu werden, sodass sie ihre altersbedingten Leistungsdefizite ausgleichen und weiterhin sicher am Straßenverkehr teilnehmen können (Frison et al., 2018). Für Ältere hängt die Freude am Fahren stark mit einem Gefühl der Sicherheit und Kontrolle zusammen. Zur Verbesserung des Sicherheitsgefühls und somit auch der User Experience sollten Informationen zum Systemzustand sowie die relevante Informationen aus der Umgebung bereitgestellt werden (Bellet et al., 2018; Diepold et al., 2017; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Wie auch das Vertrauen in und die Akzeptanz von automatisierten Fahrsystemen fällt die Bewertung der User Experience unabhängig vom Alter signifikant höher aus, wenn bereits Erfahrungen mit automatisiertem Fahren gesammelt wurden (Rödel et al., 2014).

Hartwich (2017) konnte in ihren Versuchen zur Untersuchung des *Komforts und Fahrspaßes* in automatisierten Fahrzeugen feststellen, dass sowohl bei älteren als auch jüngeren Fahrenden der Komfort in automatisierten Fahrzeugen höher ist als in manuellen Fahrzeugen (vgl. Hartwich et al., 2015). Während

jedoch für die jüngeren Fahrenden der Komfort automatisierter Fahrzeuge von der Möglichkeit zur effektiven Nutzung der Reisezeit abhängt, bedeutet Komfort für die älteren Fahrenden auch hier eine Unterstützung durch das System in Form von Informationssystemen, die den Fahrzeug- und Umgebungszustand kommunizieren, sodass sie weiterhin, trotz Leistungseinschränkungen, selbständig die Fahraufgaben ausüben können (Frison et al., 2018; Li, Blythe, Guo, Namdeo et al., 2019). Im Gegensatz zum Komfort ist bei den jüngeren Fahrenden der Fahrspaß bei automatisierten Fahrten signifikant geringer als bei manuellen Fahrten (Hartwich et al., 2015; Hartwich, 2017). Bei den Älteren konnte Hartwich (2017) in den Versuchen im Fahrsimulator jedoch keine Reduzierung des Fahrspaßes durch die Automatisierung feststellen. Die Online Fragebogenstudie von Rödel et al. (2014) ergab im Gegensatz dazu sowohl bei jüngeren als auch bei älteren eine Reduzierung des Fahrspaßes mit steigendem Automatisierungsgrad. Allerdings umfasst die Gruppe der Älteren in dieser Studie alle Teilnehmenden im Alter zwischen 26 bis 65 Jahren. Eine Steigerung des Fahrspaßes konnte in den Versuchen von Hartwich (2017) bei den älteren Probanden durch einen ungewohnten Fahrstil des automatisierten Fahrzeugs erreicht werden. Während Jüngere den gewohnten Fahrstil bevorzugen, steigt der Fahrspaß bei Älteren an, wenn der Fahrstil dem der Jüngeren entspricht. Trotzdem bevorzugen sie eine eher defensive Fahrweise (Frison et al., 2017).

2.7 Anforderungen älterer Fahrender an das HMI - Gestaltungsmaßnahmen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den folgenden zwei Forschungsfragen zusammengefasst:

F-L6: Wie können Anforderungen Älterer an das HMI klassifiziert werden?

F-L7: Durch welche Gestaltungsmaßnahmen können die anfangs formulierten Anforderungen konkret umgesetzt werden?

Zur Klassifizierung der Anforderungen älterer Fahrender an das HMI wurden die Kategorien Modalität, Ausgestaltung, Konfiguration bzw. Einstellbarkeit, Erlernbarkeit und benötigte Informationen und Informationsstrategien verwendet.

2.7.1 Modalität

Die anhand der systematischen Literaturrecherche gefundenen Erkenntnisse zur Verwendung verschiedener Modalitäten für ältere Fahrende beziehen sich jeweils auf die Situation eines TOR. Daher wurde in Kapitel 2.5 bereits ausführlich beschrieben, welche Modalitäten geeignet sind um ältere Fahrende im Falle eines TOR in der Übernahme der Fahrzeugkontrolle zu unterstützen. Es werden deshalb hier lediglich die wichtigsten Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst dargestellt.

Sowohl Warntöne als auch haptische Signale sind aufgrund ihres eingeschränkten Informationsgehalts nicht dazu geeignet als alleinstehendes Signal für einen TOR zu fungieren. Eine Kombination der verschiedenen Modalitäten scheint jedoch geeignet und wird von beiden Altersgruppen gewünscht (Bazilinsky & Winter, 2015). Insbesondere Warntöne können genutzt werden um die Aufmerksamkeit der Fahrenden zu erregen und somit die Kontrollübernahmeaufforderung einzuleiten. Die visuelle sowie die akustische Modalität können genutzt werden um über Symbole oder Schriftzüge bzw. über eine Sprachausgabe einerseits die Blickausrichtung auf relevanten Informationen zu lenken und andererseits konkrete Handlungsanweisungen zu geben, die das erwartete Verhalten erklären (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b; Petermann-Stock et al., 2015). Obwohl die beschriebenen Studienergebnisse keine positiven Auswirkungen unterschiedlicher Intensitäten der Modalitätsparameter auf die Übernahmeleistung feststellen konnten, fordern ältere Fahrende die Darstellung der Dringlichkeit der Kontrollübernahme über die jeweilige Intensität des Signals (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

2.7.2 Ausgestaltung

Zur Ausgestaltung der Modalitätsparameter konnten in der Literatur die im Folgenden beschriebenen Empfehlungen gefunden werden. Wichtig dabei ist, dass es sich in bei den Ergebnissen um Einzelbefunde handelt. Es hat kein systematischer Vergleich verschiedener HMI Gestaltungen stattgefunden.

Für die Ausgestaltung des HMI gilt, dass die Gestaltung eines HMI nicht mit dem gewohnten Design brechen sollte, da ältere Fahrende sich nur schlecht an neuartige Bedien- und Anzeigekonzepte anpassen können (Millonig, 2019). Außerdem sollte ein HMI so gestaltet sein, dass die Intensität der verschiedenen Modalitätsparameter an die persönlichen Präferenzen und vor allem an die individuellen Leistungsdefizite Älterer angepasst werden kann (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b).

Um den Leistungsdefiziten älterer Personen gerecht zu werden sollte bei *auditiven Signalen* darauf geachtet werden, dass Warntöne mit mindestens 60 dB ausgeführt werden (Morgan et al., 2018). Kim, M. H. et al. (2010) zeigen in ihrer Studie weiterhin, dass auditive Signale im Bereich von 3-4 kHz liegen, 200 ms andauern und 480 ms vor dem Zeitpunkt der durchzuführenden Handlung dargeboten werden sollten. In der Studie von Saito et al. (2016) wurde allerdings auch ein Warnton mit 1,6 kHz und einer Länge von 1000 ms, der parallel zu einer visuellen Warnung erschien, als geeignet beurteilt, ältere Fahrer darauf vorzubereiten Fahrradfahrenden auszuweichen. Wird eine Sprachausgabe verwendet so gilt, dass eine männliche Stimme zwar besser wahrgenommen wird, eine weibliche Stimme jedoch bei auditiven Hinweisen, wie sie bspw. bei einem Navi vorkommen, bevorzugt wird (Bazilinskyy & Winter, 2015).

Für *visuelle Signale* gilt, dass ältere Fahrer analoge Anzeigen im Armaturenbrett bevorzugen (Kim, S. et al., 2010). Die Studie von Clark et al. (2019) zeigte weiterhin, dass visuelle Signale entweder über das Kombiinstrument oder über das HUD angezeigt werden sollten. Bei einer Darstellung über das HUD wünschen sich Ältere im Vergleich zu Jüngeren tendenziell kleinere Content Fenster, die im unteren Sichtbereich positioniert sind (Riegler et al., 2019). Zur Darstellung der Informationen sollten große Symbole verwendet werden um eine bessere Sichtbarkeit gewährleisten zu können (Kim, S. et al., 2010). Bezüglich der Farbwahl konnte in der bereits erwähnten Studie von Saito et al. (2016) gezeigt werden, dass eine weiße Schrift bzw. ein weißes Bild vor einem schwarzen Hintergrund, welches 2 Sekunden lang über ein HUD gezeigt wurde, in Kombination mit einer auditiven Warnung dazu geeignet war ältere Fahrer darauf vorzubereiten Fahrradfahrenden auszuweichen. Bei einer Verwendung von Schriftzügen sollte besonders auf die Lesbarkeit geachtet werden (Pauzie, 2002). Weiterhin sollten einfache Dialoge gewählt werden (Pauzie, 2002).

Bezüglich der Gestaltung *vibrotaktiler Signale* ist zu beachten, dass die Sensitivität Älterer im Bereich zwischen 100 und 300 Hz am stärksten ist (Duthoit et al., 2018).

2.7.3 Konfiguration und Einstellbarkeit

HMIs automatisierter Fahrzeuge sollten so gestaltet sein, dass die Intensität der Modalitätsparameter an die persönlichen Präferenzen und vor allem an die individuellen Leistungsdefizite Älterer angepasst werden kann (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019b). Insbesondere akustische Warnungen sollten laut Miller et al. (2016) an die sensorischen Einschränkungen Älterer angepasst werden. In den Versuchen von Li, Blythe, Guo und Namdeo (2019b) äußern Ältere außerdem den Wunsch nach einem Monitoringsystem, dass die Signalintensität an den momentanen Zustand des Fahrenden anpasst.

2.7.4 Erlernbarkeit

Aktuelle Trainingsmethoden zur Nutzung von Fahrerassistenzsystemen beschreiben die Möglichkeiten und Grenzen der Systeme nicht ausreichend und sind demnach nicht geeignet, um Nutzer zu schulen (Manser et al., 2019). Um den individuellen Bedürfnissen und Präferenzen gerecht zu werden, sollten verschiedenen Methoden wie Tutorials, Benutzerhandbücher oder Trainings für verschiedene Nutzergruppen entwickelt werden (Manser et al., 2019). Obwohl Ältere, aufgrund ihres geringen Vertrauens in neue Technologien, wenig Interesse daran haben, dass das Fahrzeug ihnen den Umgang mit den darin enthaltenen Systemen vermittelt (Abraham et al., 2017), zeigen Studien, dass das Systemvertrauen, die

Akzeptanz und auch die Übernahmeleistung der Älteren bei zunehmender Erfahrung mit automatisiertem Fahren verbessert werden kann (Hartwich, 2017; Totzke, 2013; Trübswetter, 2015; Zhou et al., 2018). Für den Fall der Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle schlagen Li, Blythe, Guo, Namdeo et al. (2019) einen Test der quantitativen und qualitativen Rückübernahmeleistung vor der ersten Fahrt vor, auf dem ein individuelles Training der Kontrollübernahme aufgebaut wird.

2.7.5 Benötigte Informationen und Informationsstrategien

Älteren Fahrenden steht im Vergleich zu jüngeren eine geringere Kapazität zur Ausführung kognitiver Aufgaben parallel zur Fahraufgabe zur Verfügung (Son et al., 2010). Gleichzeitig fällt es ihnen schwerer irrelevante Informationen auszublenden, wodurch sie längere Zeit zur Erfassung einer Situation und Ausführung einer Reaktion benötigen (Adrian et al., 2019).

Um Älteren den erfolgreichen Umgang mit einer Situation zu erleichtern, sollte daher eine ausreichende Zeitspanne zur Reaktion vorhanden sein (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a, 2019a; Petermann-Stock et al., 2013).

Außerdem sollten nur relevante Informationen in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen (Adrian et al., 2019). Dabei sollte die Erfassung der relevanten Informationen es nicht erfordern, dass der Blick von der Straße abgewendet werden muss (Aksan et al., 2017). Die Analyse der Blickdaten bei Petermann-Stock et al. (2013) zeigte, dass besonders zu Beginn der Systemnutzung das Kombiinstrument geeignet ist, um Informationen bereitzustellen.

Da ältere Fahrende tendenziell Probleme damit haben, die Systemgrenzen zu erfassen und dementsprechend zu verstehen, wann sie selbst und wann das System die Kontrolle übernimmt, sollte der Systemzustand sowie die erwartete Handlung klar kommuniziert werden (Aksan et al., 2017; Li, Blythe, Guo, Namdeo et al., 2019; Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a). Die Strategie zur Unterstützung des Fahrenden sollte dabei an die Umgebung angepasst sein und bspw. ein längeres Zeitbudget zur Reaktion auf der Autobahn (Li, Blythe, Guo & Namdeo, 2019a) oder spezielle Hilfsmittel wie die Projektion der Strecke bei schlechter Sicht (Li et al., 2018) beinhalten.

2.8 Forschungslücken

Im Zuge der Thematisierung der zu Beginn dieses Kapitels präsentierten Fragestellungen mit einschlägiger Literatur wurden die folgenden Forschungslücken identifiziert:

- Es existieren keine Studien zur Interaktion zwischen automatisierten Fahrsystemen und bestehenden Kompensationsstrategien älterer Fahrer.
- Es existieren keine Studien, welche Informationen von Älteren benötigt werden, um das Systemverständnis zu unterstützen.
- Es existieren kaum Studien zum Einfluss verschiedener HMI Lösungen auf die Übernahmeleistung Älterer bei einem TOR.
- Es existieren keine Studien, wie unterschiedliche NDRT die Bewertung verschiedener HMI Lösungen durch Ältere beeinflussen.
- Es existieren keine Studien, wie verschiedene HMI Lösungen das Situations- und Modusbewusstsein Älterer beeinflussen.
- Es existieren keine Studien, wie die Informationsstrategien verschiedener HMI Lösungen Vertrauen, Akzeptanz und User Experience der Älteren beeinflussen.

Nach der initialen Beantwortung der Forschungsfragen mithilfe der vorgestellten Literaturanalyse, wurden unter Berücksichtigung der identifizierten Forschungslücken die folgenden Forschungsfragen zur Ermittlung der altersspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse an die HMI Gestaltung automatisierter Fahrzeuge abgeleitet:

- Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?
- Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
- Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung, Informationsgehalt und Zeitbudget gestaltet sein, um Handlungen bei TOR zu unterstützen?
- Welchen Einfluss hat die Art der NDRT (nach physiologischer Klassifizierung) auf die Bewertung der TOR - HMI Gestaltungslösungen?
- Wie beeinflussen Modalität, Darstellung und Informationsgehalt der in diesem Projekt entwickelten HMI Lösungen das Situations- und Modusbewusstsein?
- Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?

3 Ermittlung altersspezifischer Erwartungen und Bedürfnisse (AP 3)

Kapitel 3 stellt das Vorgehen und die Ergebnisse der Untersuchungen dar, die zur Beantwortung der weiter zu verfolgenden Forschungsfragen durchgeführt wurden (siehe Kapitel 3.1).

3.1 Forschungsfragen und Untersuchungsansätze für AP3

Eine Auswahl der auf Basis identifizierter Forschungslücken in Kapitel 2.8 erarbeiteten Fragestellungen wurde weiter untersucht. Diese sind im Folgenden aufgeführt und in Abbildung 5 grün umrandet. (Aufgrund der COVID-19 Pandemie konnten keine Versuche im Fahrsimulator durchgeführt werden, so dass die weiter zu bearbeitenden Fragestellungen so ausgewählt wurden, dass sie durch Befragungsstudien und Workshops bearbeitet werden konnten.)

- F-U2: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?
- F-U3: Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
- F-U4.1: Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung und Informationsgehalt gestaltet sein, um Handlungen bei TOR zu unterstützen?
- F-U5: Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?

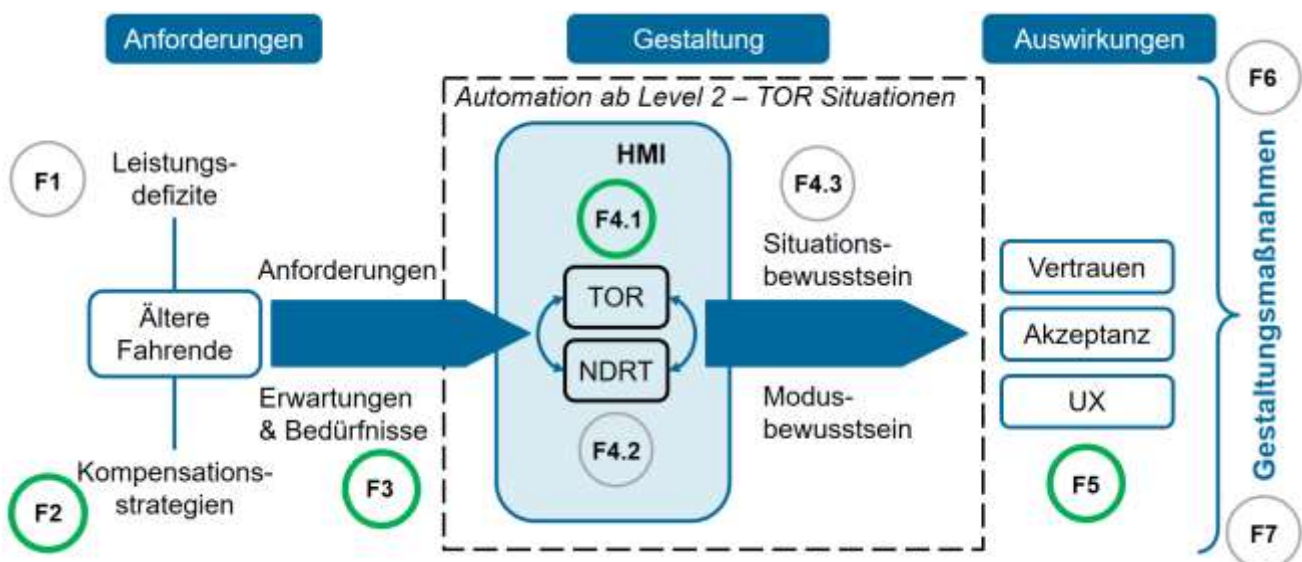





Abbildung 5: „Advanced Organizer“ – grün umrandete Forschungsfragen für Untersuchungen in AP 3

Tabelle 3 bietet eine Übersicht über die Konzepte zur weiteren Untersuchung der Forschungsfragen. Das jeweilige Vorgehen wird in den folgenden Kapiteln 3.2 bis 3.4 genauer beschrieben.

Tabelle 3: Konzepte zur Untersuchung der Forschungsfragen

	Expertenworkshop F2	Befragung 1 F3 F4.1 F5	Befragung 2 F3 F4.1 F5
Input	Literaturrecherche zu Leistungsdefiziten, Kompensationsstrategien und Anforderungen an den Fahrenden bei Level 2 und Level 3	Auf Grundlage der Literaturrecherche entwickelte HMI Lösungen, Szenarien automatisierte Fahrt und TOR	Anhand der Ergebnisse der ersten Befragung angepasste HMI Lösungen, Szenarien automatisierte Fahrt und TOR
Methode	Card Sorting; Gruppen- und Individualbewertung 	Szenarienbasierte Interviews Älterer / älterer Experten mit Filmsequenzen und Paper-Prototypes 	Szenarienbasierte Interviews Älterer mit Filmsequenzen und Paper-Prototypes 
Output	Potentielle Konflikte zwischen Kompensationsstrategien und Anforderungen der Automatisierung	Bewertung der HMI Gestaltung (Modalität, Darstellung und Informationsgehalt) hinsichtlich der kontinuierlichen Unterstützung, bei einem TOR und der Beeinflussung des Vertrauens der Akzeptanz und der User Experience	Bewertung der HMI Gestaltung (Modalität, Darstellung und Informationsgehalt) hinsichtlich der kontinuierlichen Unterstützung, bei einem TOR und der Beeinflussung des Vertrauens der Akzeptanz und der User Experience

3.2 Expertenworkshop

Um die folgende Forschungsfrage zu beantworten, wurde ein Expertenworkshop durchgeführt:

F-U2: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?

Das Vorgehen sowie die Ergebnisse des Expertenworkshops werden in diesem Kapitel beschrieben.

3.2.1 Vorgehen

Zur Vorbereitung des Expertenworkshops wurde eine Literaturrecherche zu den bestehenden Strategien älterer Fahrer zur Kompensation ihrer altersbedingter Leistungsdefizite in Level 0 bis Level 3 automatisierten Fahrzeugen durchgeführt (siehe Kapitel 2.3). Anschließend wurde im Zuge eines Online Workshops mit den Mitarbeitenden sowie studentischen Hilfskräften der Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion und Mobilität des IAD diskutiert, welche potentiellen Auswirkungen diese Kompensationsstrategien auf die Fahrleistung Älterer sowie auf ihr Vertrauen in Level 3 automatisierten Fahrzeugen haben können. Weiterhin wurden Lösungsansätze ermittelt, die möglichen negativen Auswirkungen der Kompensationsstrategien entgegenwirken können.

3.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Expertenworkshops sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Tabelle 4 enthält die strategischen Kompensationsstrategien, deren potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren sowie mögliche Lösungsansätze, die identifizierten negativen Auswirkungen entgegenwirken können. Tabelle 5 umfasst die entsprechenden Ergebnisse für die taktischen Kompensationsstrategien.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass infolge der Nutzung automatisierter Fahrzeuge durch ältere Fahrer sowohl strategische als auch taktische Kompensationsstrategien zu erwarten sind. Insbesondere könnten ältere Fahrer im Fall eines TOR und der darauffolgenden manuellen Fahrt als unangenehm empfundenen oder sie überfordernden Situationen ausgesetzt werden. Dadurch könnte einerseits die Übernahmeleistung beeinträchtigt, andererseits das Vertrauen in das automatisierte Fahren geschwächt werden. Um dies zu verhindern, könnten zum einen vor Fahrtantritt entsprechende Warnhinweise bezüglich der möglicherweise auftretenden Situationen und zum anderen die Möglichkeit zur Auswahl der Strecke nach Kriterien wie bspw. der vorhandenen Streckenbeleuchtung oder der Höhe des Verkehrsaufkommens gegeben werden. Um negativen Auswirkungen taktischer Kompensationsstrategien entgegenzuwirken, sollte das Fahrverhalten des automatisierten Fahrzeugs an das Fahrverhalten Älterer angepasst werden. So sollten bspw. Fahrstreifenwechsel vermieden oder der üblicherweise vergrößerte Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug eingehalten werden. Weiterhin sollte – wenn möglich – im Fall eines TOR ein möglichst großes Zeitpensum zur Kontrollübernahme eingeplant, die Fahrgeschwindigkeit automatisch verringert bzw. der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug automatisch vergrößert werden. Einige Kompensationsstrategien, wie die häufigere und längere Blickausrichtung auf die Straße oder die Kompensation längerer Reaktionszeiten durch verstärkte Bremsreaktionen, könnten allerdings auch positive Auswirkungen auf die Übernahmeleistung im Fall eines TOR haben (Vgl. Henze et al., 2016; Lu et al., 2017; Yang et al., 2018).

Tabelle 4: Strategische Kompensationsstrategien: Potentielle Auswirkungen auf automatisiertes Fahren und Lösungsansätze

Strategische Kompensationsstrategien - Planung			
Vermeidung spezifischer, als komplex wahrgenommener Situationen			
Kompensationsstrategie	Quelle	potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren	mögliche Lösungsansätze
komplette Vermeidung von Fahrten	Davis & Conlon, 2017	Je nachdem welcher Grund für das Vermeiden der Fahrten mit manuellen Fahrzeugen existiert hat, könnte dieser im Falle eines TOR Auswirkungen auf die Übernahmeleistung haben.	Evtl. vor Fahrtritt Warnhinweise vorsehen bzgl. der Situationen die bei einer Fahrt mit dem automatisierten Fahrzeug auftreten können.
Vermeidung unbekannter Routen	King & Scott-Parker, 2017	Wenn das System die Route auswählt wird auf diese Präferenzen des Fahrenden evtl. nicht eingegangen. Dies könnte dazu führen, dass der Fahrer im Falle eines TOR und der anschließenden manuellen Fahrt überfordert und in Folge das Systemvertrauen geschmälert sein könnte.	Es sollte eine Möglichkeit zur Auswahl der Strecke nach entsprechenden Kriterien geben, anstatt wie bisher die schnellste oder kürzeste Route zu wählen.
Vermeidung von Fahrten bei schlechter Sicht - bei Nacht - bei schlechtem Wetter - Routen mit schlechter Beleuchtung	Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad, 2010 Eby et al., 2003 Sommer, Falkmer, Bekiaris, & Panou, 2004	Der Fahrer könnte im Falle eines TOR und der anschließenden manuellen Fahrt überfordert und in Folge das Systemvertrauen geschmälert sein.	Evtl. vor Fahrtritt Warnhinweise vorsehen bzgl. der Situationen die bei einer Fahrt mit dem automatisierten Fahrzeug auftreten können.
Vermeidung von Routen und Fahrzeiten mit viel Verkehr	Ball et al., 1998 Borowsky et al., 2010 Molnar et al., 2013		
Vermeidung ermüdender Situationen			
Kompensationsstrategie	Quelle	potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren	mögliche Lösungsansätze
Reduzierung der Fahrdistanz und Einplanung regelmäßiger Pausen	King & Scott-Parker, 2017	Es besteht die Gefahr der Ermüdung bei längeren Fahrten mit automatisierten Fahrzeugen, wobei Ältere im Vergleich zu Jüngeren weniger anfällig für Vigilanz Probleme sind (Wu et al., 2020).	Ältere könnten während der Fahrt regelmäßig auf den Fahrmodus hingewiesen werden. Ältere könnten regelmäßig vom System in die Fahrsituation zurückgeholt werden, wobei dies nicht das Ziel von automatisiertem Fahren ist. Auf längeren Fahrten sollten regelmäßige Pausen durch das System eingeplant bzw. als Option angeboten werden.

Tabelle 5: Taktische Kompensationsstrategien: Potentielle Auswirkungen auf automatisiertes Fahren und Lösungsansätze

Taktische Kompensationsstrategien - Fahrerverhalten			
antizipative und passive Fahrweise			
Kompensationsstrategie	Quelle	potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren	mögliche Lösungsansätze
häufigere und längere Ausrichtung des Blickes auf die Straße und seltenere / weniger intensive Ausführung von NDRT	Fofanova und Vollrath, 2011 Gold et al., 2015 Molnar et al., 2017 Schwarz et al., 2019	Diese Kompensationsstrategie hat tendentiell positive Auswirkungen auf die Übernahmeleistung im Falle eines TOR, da Ältere im Vergleich zu Jüngeren ihre Aufmerksamkeit konstant auf die Verkehrssituation richten.	
Reduzierung der Geschwindigkeit	Reimer et al., 2013 Trick et al., 2010 Vollrath, 2015	Bei einem TOR bei einer hohen Geschwindigkeit könnte die Übernahmeleistung beeinträchtigt sein.	Es sollte eine Möglichkeit zur Einstellung der maximalen Geschwindigkeit vorgesehen sein, z.B. in Abhängigkeit des Tempolimits oder des Straßentyps. Wenn möglich sollte ein entsprechend großes Zeitpensum zur Kontrollübernahme eingeplant und die Geschwindigkeit in Falle eines TOR automatisch verringert werden.
Vergrößern des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeugs	Andrews & Westerman, 2012	Es besteht die Gefahr von Unsicherheit / geringem Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge, wenn diese einen geringeren Abstand halten als gewohnt. Bei einem TOR in einer Situation in der der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug geringer ist als gewohnt könnte die Übernahmeleistung beeinträchtigt sein.	Es sollte eine Möglichkeit zur Einstellung des Abstandes im System vorgesehen sein. Wenn möglich sollte ein entsprechend großes Zeitpensum zur Kontrollübernahme eingeplant und der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug automatisch vergrößert werden.
Vermeidung spezieller Fahrmanöver			
Kompensationsstrategie	Quelle	potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren	mögliche Lösungsansätze
Vermeidung von Fahrstreifenwechseln, Bevorzugung des rechten Fahrstreifens	Reimer et al. 2013	Der Fahrer könnte im Falle eines TOR auf der linken Fahrspur / in einer Situation die Fahrstreifenwechsel erfordert überfordert und in Folge das Systemvertrauen geschmälert sein.	In TOR-Situation sollte der Assistent so gestaltet sein, dass auf der geplanten Route minimale Fahrstreifenwechsel zu vollziehen sind. Die Möglichkeit zur Nutzung von Hilfsmitteln wie Spiegel und Rückfahrkameras sollte vorgesehen werden um Drehbewegungen vermeiden zu können.
Vermeidung von Links-Abbiegungen	Rusch, Schall, Lee, Dawson, & Rizzo, 2014	Wenn das System die Route auswählt wird auf diese Präferenzen des Fahrenden evtl. nicht eingegangen. Dies könnte dazu führen, dass der Fahrer im Falle einer manuellen Fahrt auf einer Route mit vielen Links-Abbiegungen überfordert und in Folge das Systemvertrauen geschmälert sein könnte.	Die Auswahl der Route sollte so gestaltet sein, dass Links- Abbiegungen vermieden werden. Die Möglichkeit zur Nutzung von Hilfsmitteln wie Spiegel und Rückfahrkameras sollte vorgesehen werden um Drehbewegungen vermeiden zu können.
verstärkte Reaktion			
Kompensationsstrategie	Quelle	potentielle Auswirkungen auf das automatisierte Fahren	mögliche Lösungsansätze
Kompensation der längeren Reaktionszeit durch stärkere Reaktionen wie bspw. stärkeres Bremsen	Henze et al., 2016	Bei einem TOR mit einer kurzen Vorlaufzeit könnte eine verstärkte Reaktion positive sowie negative Auswirkungen auf die Übernahmeleistung haben.	Wenn möglich sollte ein entsprechend großes Zeitpensum zur Kontrollübernahme eingeplant werden, sodass Antizipation möglich ist.

3.3 Befragung I

Für die Beantwortung der folgenden Forschungsfragen wurden die zwei aufeinander aufbauenden Studien „Befragung I“ und „Befragung II“ durchgeführt:

- F-U3: Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
- F-U4.1: Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung und Informationsgehalt gestaltet sein, um Handlungen bei TOR zu unterstützen?
- F-U5: Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?

Das Vorgehen und die Ergebnisse der ersten Befragungsrunde werden in diesem Kapitel erläutert.

3.3.1 Szenarien und HMIs

Auf Grundlage der Literaturrecherche (siehe Kapitel 2) wurden in einem Workshop mit den Mitarbeitenden sowie studentischen Hilfskräften der Forschungsgruppe Mensch-Maschine-Interaktion und Mobilität des IAD Szenarien für eine kontinuierliche automatisierte Fahrt und einen TOR sowie verschiedene HMI Gestaltungslösungen entwickelt.

Im Rahmen der Szenariogestaltung wurde dabei insbesondere betrachtet, welche Situationen das Anzeigen besonderer Informationen und ein besonderes Vertrauen in das automatisierte Fahren erfordern und wie eine Fahrt in einem automatisierten Fahrzeug mit Hilfe eines Videos vermittelt werden kann. Für die erste Befragungsrunde wurden die in Abbildung 6 dargestellten Szenarien ausgewählt, um möglichst viele verschiedene Situationen darzustellen, die während einer automatisierten Fahrt auftreten können. Als Ausgangsszenario dient eine Fahrt auf der Autobahn bzw. auf der Landstraße. Die Szenarien außerorts umfassen eine Autobahnabfahrt und das Anhalten und anschließende Rechtsabbiegen an einem Stoppschild. Die Szenarien innerorts umfassen das Anhalten an einem Fußgängerüberweg und das Anhalten an einer Kreuzung zur Gewährung der Vorfahrt eines von rechts kommenden Fahrzeugs. Die Besonderheit dieser beiden Szenarien liegt in der Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmender, wodurch das Vertrauen in das automatisierte System im Untersuchungsfokus stand. Um Besonderheiten von automatisierten Fahrten darzustellen, wurden weiterhin die Szenarien Raststätte und Baustelle inkl. TOR ausgewählt, die beide eine Handlungsaufforderung beinhalten. Im Szenario Raststätte werden Fahrende auf eine systemseitig erkannte Müdigkeit hingewiesen und gefragt, ob sie an dieser Raststätte eine Pause einlegen möchten. Im Szenario Baustelle inkl. TOR werden Fahrende aufgefordert aufgrund einer vorausliegenden Baustelle die Fahrzeugkontrolle zu übernehmen. Als Zeitbudget wurde ein aus der Literaturrecherche gemittelter Wert von acht Sekunden ausgewählt (siehe Kapitel 2.5.1).

Um eine Fahrt in einem automatisierten Fahrzeug möglichst gut vermitteln zu können, wurden alle Szenarien bis auf das TOR Szenario zu einem Einführungsvideo zusammengefügt. Die Szenarien wurden jeweils mit der Software SILAB erstellt und im Fahrsimulator aus der Perspektive des Fahrenden abgefilmt.

Ausgangsszenario

Autobahn



Landstraße



Außerorts

Autobahnabfahrt



Stoppchild



Innerorts

Fußgängerüberweg



Rechts vor Links



Besondere Situationen

Raststätte



Baustelle inkl. TOR



Abbildung 6: Szenarien – Befragung I

In Bezug auf die HMI Gestaltung wurde thematisiert, welche Informationen in verschiedenen Situationen unbedingt notwendig sind, welche Informationen zusätzlich hilfreich sind und welche bzw. wie viele Informationen dargestellt werden können, um einerseits das Informationsbedürfnis älterer Fahrer zu bedienen, sie andererseits aber nicht zu überfordern.

Da die Literaturanalyse keine eindeutigen Gestaltungshinweise für die Art der auditiven Informationsübermittlung lieferte, wurde in Befragung I die Wirkung der auditiven HMI Gestaltung sowohl als Piepton als auch als Sprachausgabe untersucht. Auch in Bezug auf die visuell dargestellten Informationen konnten aus der Literaturanalyse keine konkreten Gestaltungshinweise hinsichtlich der Ausführlichkeit der Informationsdarstellung abgeleitet werden. In Befragung I wurde daher auch die Wirkung einer ausführlichen und einer reduzierten, im Folgenden als Basic bezeichneten, visuellen HMI Gestaltung untersucht. Die erstellten HMI Varianten wurden mit Adobe Premiere Pro in die Videos eingefügt. Für eine bessere Erkennbarkeit wurde das HMI Display im Vordergrund vergrößert dargestellt. Dabei wurde den Teilnehmenden mitgeteilt, dass das HMI Display als Kombiinstrument oberhalb der Lenksäule positioniert ist.

Abbildung 7 zeigt die Matrix, die der HMI Gestaltung der ersten Befragungsrunde zugrunde lag. Durch die Kombination der jeweiligen Ausprägung der auditiven und visuellen Informationsübermittlung wurden pro Szenario vier HMI Varianten erstellt, die im Folgenden für das Ausgangsszenario der kontinuierlichen automatisierten Fahrt auf der Autobahn bzw. Landstraße (Abbildung 6) und für das TOR Szenario (Abbildung 6) vorgestellt werden. Wie die jeweilige konkrete visuelle und akustische Informationsübermittlung in den verschiedenen Szenarien bzw. für die verschiedenen Fahrmanöver aus Abbildung 6 gestaltet wurde, können über die in Abbildung 12 eingebetteten Links die Videos eingesehen werden.

		auditive Informationsübermittlung	
		Ton 🎵	Sprachausgabe 🗣️
visuelle Darstellung der Informationen	Ausführlich	Variante 1	Variante 2
	Basic	Variante 3	Variante 4

Abbildung 7: Matrix der HMI Varianten – Befragung I

Abbildung 8 stellt die ausführliche visuelle Informationsdarstellung der HMI Varianten 1 und 2 für das Ausgangsszenario der kontinuierlichen automatisierten Fahrt auf der Autobahn bzw. Landstraße dar. Das Display umfasst auf der linken Seite die Tankfüllung, die aktuelle Geschwindigkeit sowie die verbleibende Zeit bis zum Erreichen des Ziels. Auf der rechten Seite sind im oberen Bereich die Verkehrsschilder des Streckenabschnittes, mittig das Fahrzeug mit Sicherheitskäfig zur Darstellung der Hinderniserkennung, Fahrstreifen und aktuellem Manöver und im unteren Bereich der Fahrmodus als Schriftzug angezeigt. Ergänzt wird die Anzeige des Fahrmodus durch drei Symbole, welche die Funktionen des automatisierten Fahrzeugs darstellen. Dazu gehören die Regelung der Geschwindigkeit, das

Einhalten des Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug sowie die Regelung der Lenkbewegung. Der Fahrmodus wird außerdem über den blauen Farbrahmen des Displays dargestellt.

In HMI Variante 1 wurde die ausführliche visuelle Darstellung mit einem Piepton kombiniert, der bei jeder Manöveränderung ertönt. In HMI Variante 2 wurde die ausführliche visuelle Darstellung mit einer Sprachausgabe kombiniert, die ein bevorstehendes Manöver ankündigt.



Abbildung 8: HMI Varianten 1 und 2 für die kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I

Abbildung 9 zeigt die weniger ausführliche visuelle Informationsdarstellung der HMI Varianten 3 und 4 für das Ausgangsszenario der kontinuierlichen automatisierten Fahrt auf der Autobahn bzw. der Landstraße. Die linke Displayseite zeigt die aktuelle Geschwindigkeit sowie die verbleibende Zeit bis zum Erreichen des Ziels. Die rechte Displayseite umfasst das Fahrzeug mit Sicherheitskäfig zur Hinderniserkennung, Fahrstreifen und aktuellem Manöver und den Fahrmodus als Schriftzug. Zusätzlich wird der Fahrmodus über den blauen Farbrahmen des Displays dargestellt.

Auch hier wurde die reduzierte visuelle Informationsdarstellung in HMI Variante 3 mit einem Piepton und in HMI Variante 4 mit einer Sprachausgabe zur Manöverankündigung kombiniert.



Abbildung 9: HMI Varianten 3 und 4 für die kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I

Für das Szenario Baustelle inkl. TOR wurde sowohl bei der ausführlichen als auch bei der Basic HMI Variante die Abbildung des Fahrzeugs und des Fahrmodus auf der rechten Displayseite durch die Handlungsaufforderung und einen Countdown bis zur Abschaltung der Automatisierung ersetzt. Wie in Abbildung 10 für die ausführliche Displaygestaltung der HMI Varianten 1 und 2 und in Abbildung 11 für die reduzierte Displaygestaltung der HMI Varianten 3 und 4 zu sehen ist, besteht die Handlungsaufforderung jeweils aus zwei Symbolen und dem darunter stehenden Schriftzug „Baustelle – Bitte übernehmen Sie das Fahrzeug!“. Die beiden Symbole – das Lenkrad mit zwei Händen und der das Pedal betätigende Fuß – dienen als Hinweis, dass sowohl die manuelle Quer- als auch Längsführung des Fahrzeugs aufzunehmen sind.

Der Piepton in den HMI Varianten 1 und 3 besteht aus drei aufeinanderfolgenden Tönen. Die Sprachausgabe in den HMI Varianten 2 und 4 besteht aus der Mitteilung und Aufforderung „Achtung Baustelle! Bitte übernehmen Sie das Fahrzeug!“.



Abbildung 10: HMI Varianten 1 und 2 für TOR Szenario – Befragung I

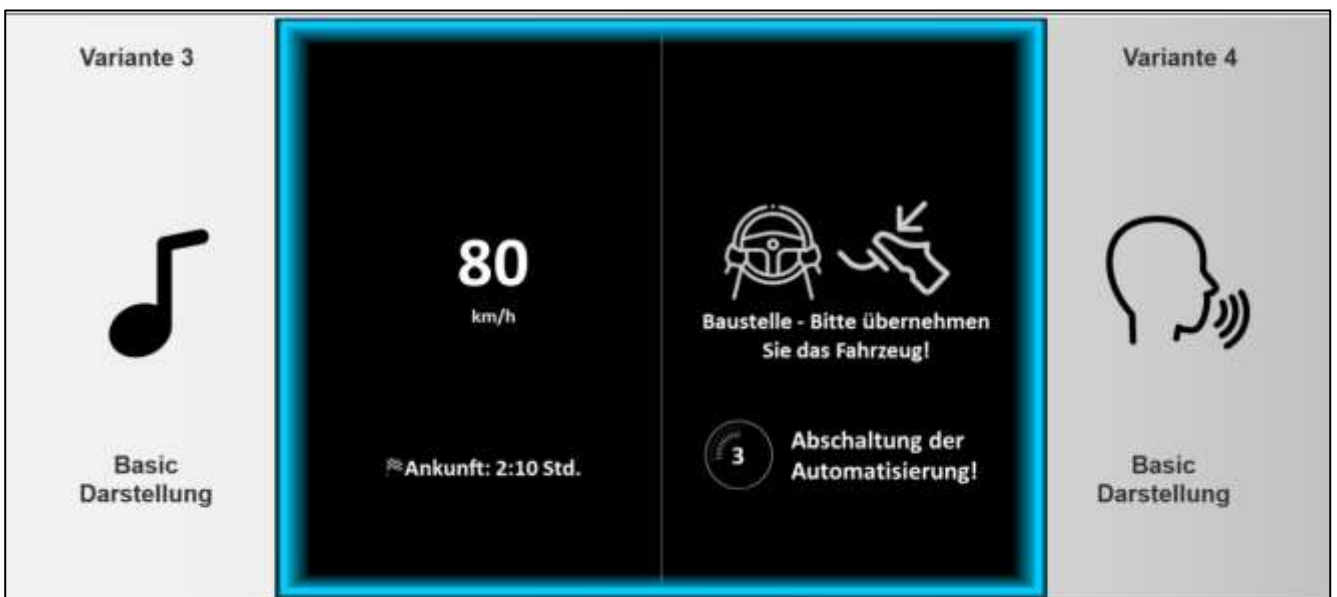


Abbildung 11: HMI Varianten 3 und 4 für TOR Szenario – Befragung I

3.3.2 Interviewablauf

Abbildung 12 stellt eine Übersicht über den Interviewablauf der Befragung I bereit. Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Beide Gruppen füllten vor dem Interview einen Online Fragebogen aus, mit dem Angaben zur Person, zu den Fahrgewohnheiten und zum Fahrzeug sowie mit Hilfe des Fragebogens nach Liu et al. (2019) die Intention zur Nutzung automatisierter Fahrzeuge erfasst wurden. Die Interviews wurden teilweise in Präsenz unter Einhaltung von Hygiene- und Abstandsregeln, doch überwiegend über das Online Konferenztool Zoom durchgeführt. Zu Beginn der Interviews wurde mit Hilfe eines Einführungsvideos, das alle Szenarien als eine zusammenhängende kontinuierliche automatisierte Fahrt zeigte, die Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge erläutert. Beide Gruppen starteten mit einem Ausgangsszenario, das für Gruppe 1 eine kontinuierliche automatisierte Fahrt auf der Autobahn, für Gruppe 2 eine kontinuierliche automatisierte Fahrt auf der Landstraße war. Im Anschluss wurden beiden Gruppen das Szenario Raststätte sowie jeweils ein Szenario aus den Kategorien „Außerorts“ und „Innerorts“ gezeigt (siehe Abbildung 6). Die Reihenfolge dieser Szenarien wurde permutiert. Das Szenario Baustelle inkl. TOR bildete stets den Abschluss der Interviews. Die HMI Varianten wurden den Probanden in allen Szenarien in permutierter Reihenfolge präsentiert. Die Videos können über die in Abbildung 12 eingebetteten Links angesehen werden.

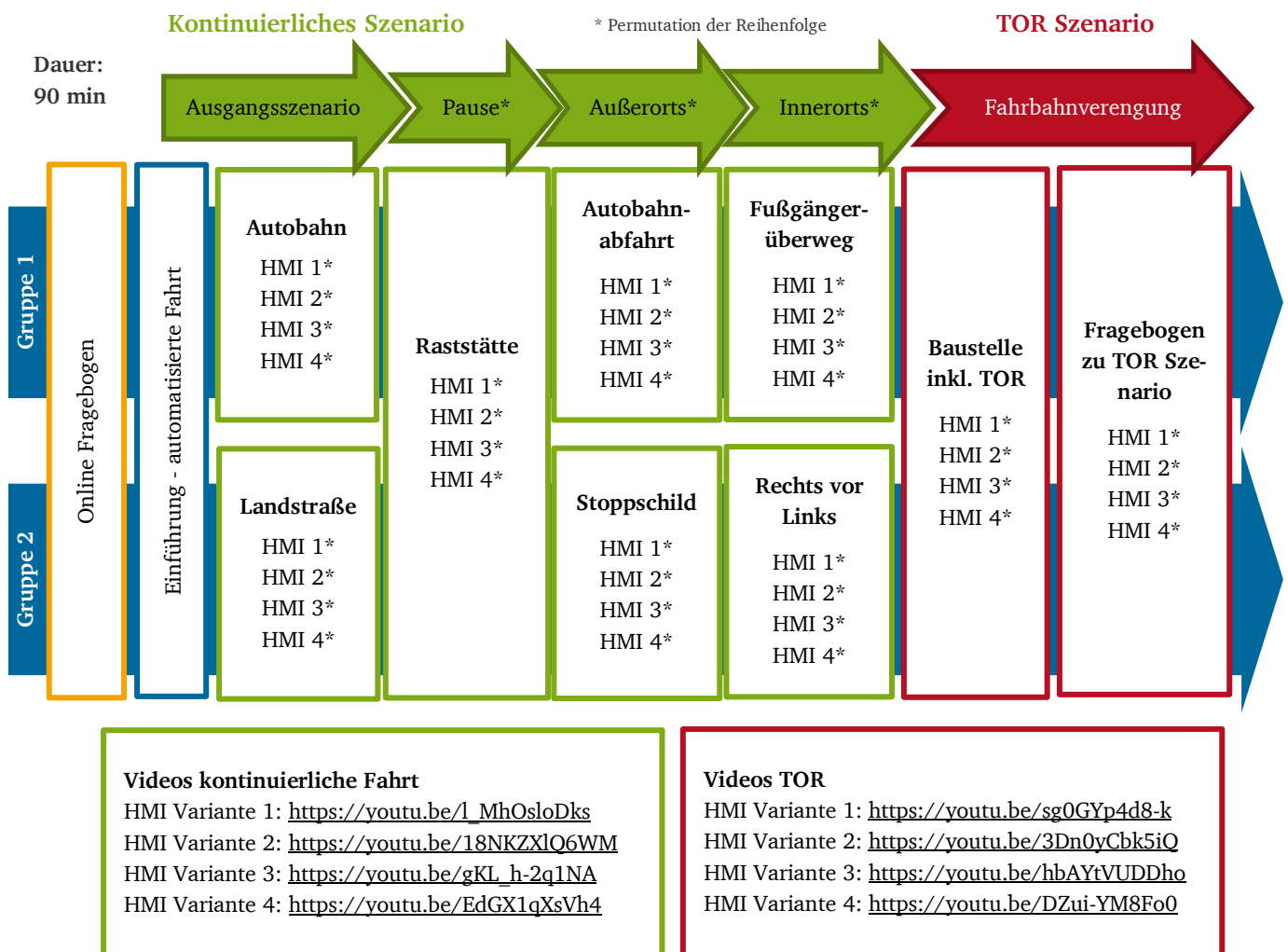


Abbildung 12: Interviewablauf – Befragung I

Im Zuge der Interviews wurde in allen Szenarien zunächst überprüft, ob die Probanden die Bedeutung der jeweils visuell dargestellten HMI Elemente verstanden haben. Weiterhin wurde gefragt, was den Probanden an den jeweiligen HMI Varianten auf visueller und akustischer Ebene gefallen hat und was nicht, welche Änderungen vorgenommen werden sollten, welche Informationen entfernt werden könnten oder zusätzlich benötigt werden würden und wie diese dargestellt werden sollten. Darüber hinaus wurden die Probanden gebeten, die bevorzugte HMI Variante in dem betrachteten Szenario anzugeben.

Da das TOR Szenario eine kritische und besondere Situation während einer automatisierten Fahrt darstellt, wurden die Interviewfragen um den Short-User-Experience-Questionnaire nach Schrepp et al. (2017) ergänzt. Weiterhin wurden in Anlehnung an den Fragebogen von Körber (2018) die folgenden vier Fragen zum Systemvertrauen gestellt:

- Wie gut konnten Sie die Situation einschätzen?
- Wie gut konnten Sie erkennen in welchem Zustand sich das System befunden hat?
- Wie gut konnten Sie nachvollziehen warum etwas passiert ist?
- Wie gut konnten Sie erkennen was das System als nächstes macht?

Abschließend wurden die Probanden gebeten, eine Rangfolge der beim TOR Szenario bevorzugten HMI Varianten zu bilden.

3.3.3 Ergebnisse

Zur Auswertung wurden die Interviews zunächst transkribiert. Anschließend wurde eine Auswertungstabelle erstellt, in welcher die Kernaussagen der Probanden nach den entsprechenden Szenarien und HMI Varianten einsortiert wurden. Die Antworten auf die standardisierten Fragen wurden tabellarisch erfasst und ihre Häufigkeitsverteilungen visualisiert. Aus den Bewertungen der HMI Varianten wurden Gestaltungsempfehlungen abgeleitet, die zur Überarbeitung der HMIs für die zweite Befragungsrunde und zur Erstellung des Anforderungskatalogs dienten. Die Probandencharakteristika und die Ergebnisse der ersten Befragungsrunde werden im Folgenden beschrieben.

Probanden

In der ersten Befragungsrunde wurden 23 Probanden im Alter zwischen 55 und 81 Jahren interviewt. Bei 17 der überwiegend männlichen Probanden handelte es sich um PKW-Fahrende. Weiterhin wurden vier LKW-Fahrer und zwei Experten im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion interviewt. In Abbildung 13 ist die Häufigkeitsverteilung der Probanden hinsichtlich des Geschlechts, des Alters, der Kategorie, der Fahrpraxis und der Fahrleistung dargestellt. Abbildung 14 gibt eine Übersicht über die Ausstattung der von den Probanden gefahrenen Fahrzeuge.

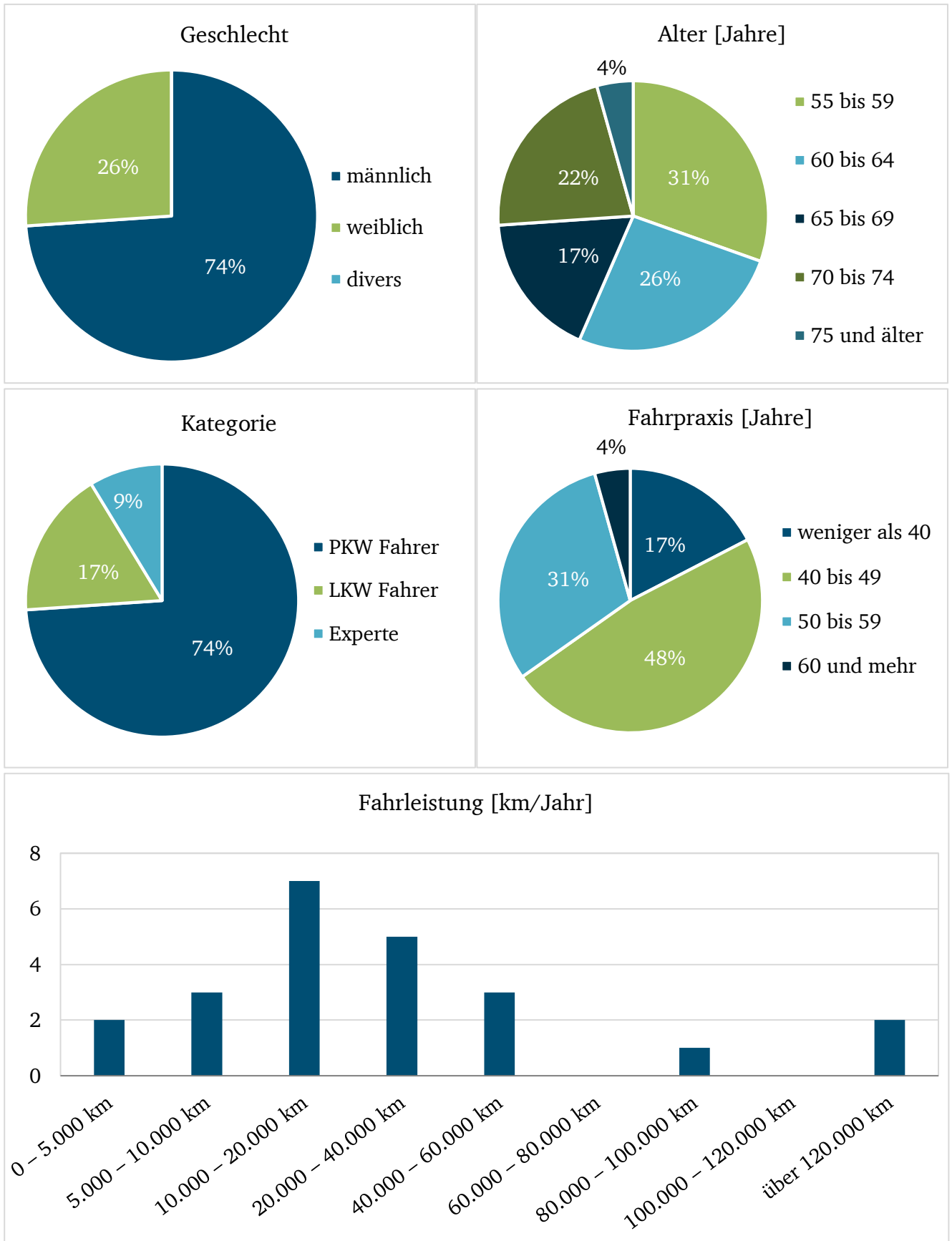


Abbildung 13: Geschlecht, Alter, Kategorie, Fahrpraxis und Fahrleistung der Probanden – Befragung I (N=23)

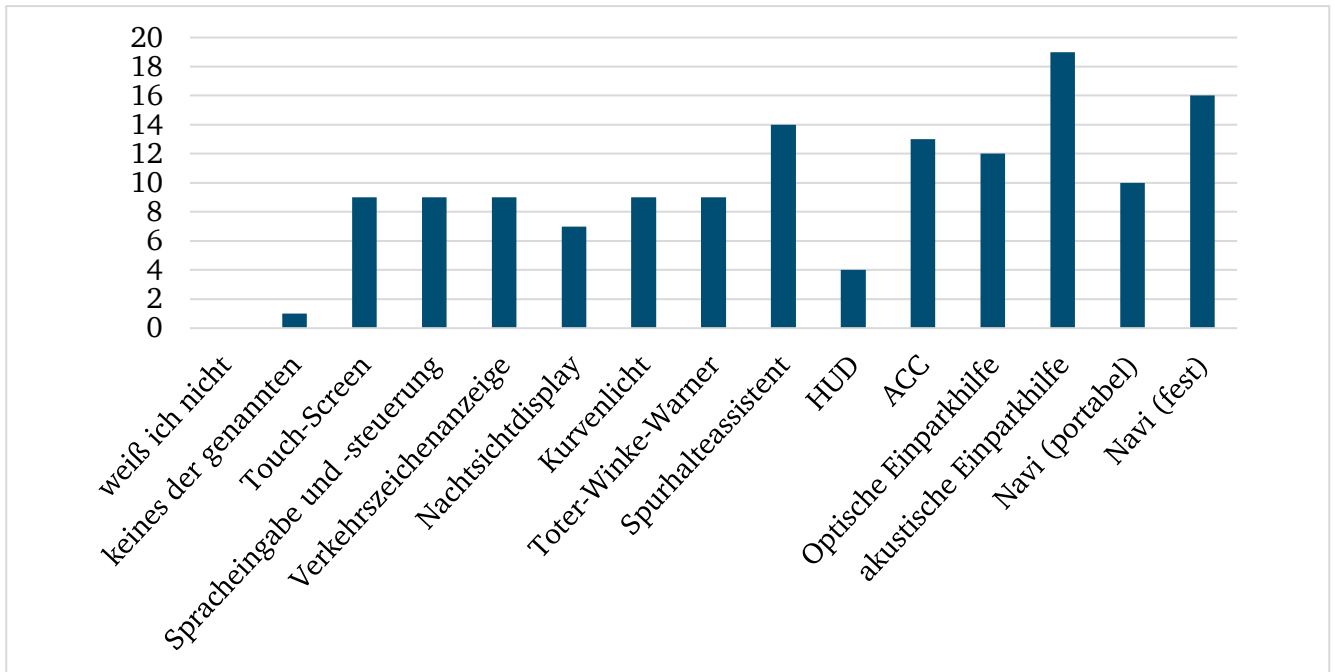


Abbildung 14: Ausstattung der von den Probanden am häufigsten gefahrenen Fahrzeuge – Befragung I (N=23, Mehrfachnennung möglich)

Nutzungsintention

Abbildung 15 stellt die von den Probanden angegebene Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen dar, die mithilfe des Fragebogens nach Liu et al. (2019) erhoben wurde. 60 % der Probanden beabsichtigen, ein automatisiertes Fahrzeug in Zukunft zu nutzen. Etwa die Hälfte der Probanden weist eine Bereitschaft auf, ein automatisiertes Fahrzeug zu kaufen. Dem steht ein fast gleich großer Anteil an Probanden gegenüber, die eine geringe bis keine Kaufbereitschaft haben. Ein Drittel der Probanden würde eine Empfehlung für die Nutzung automatisierter Fahrzeuge aussprechen wollen. Ein weiteres Drittel steht einer Empfehlung indifferent gegenüber, das verbleibende Drittel würde automatisierte Fahrzeuge nicht empfehlen.

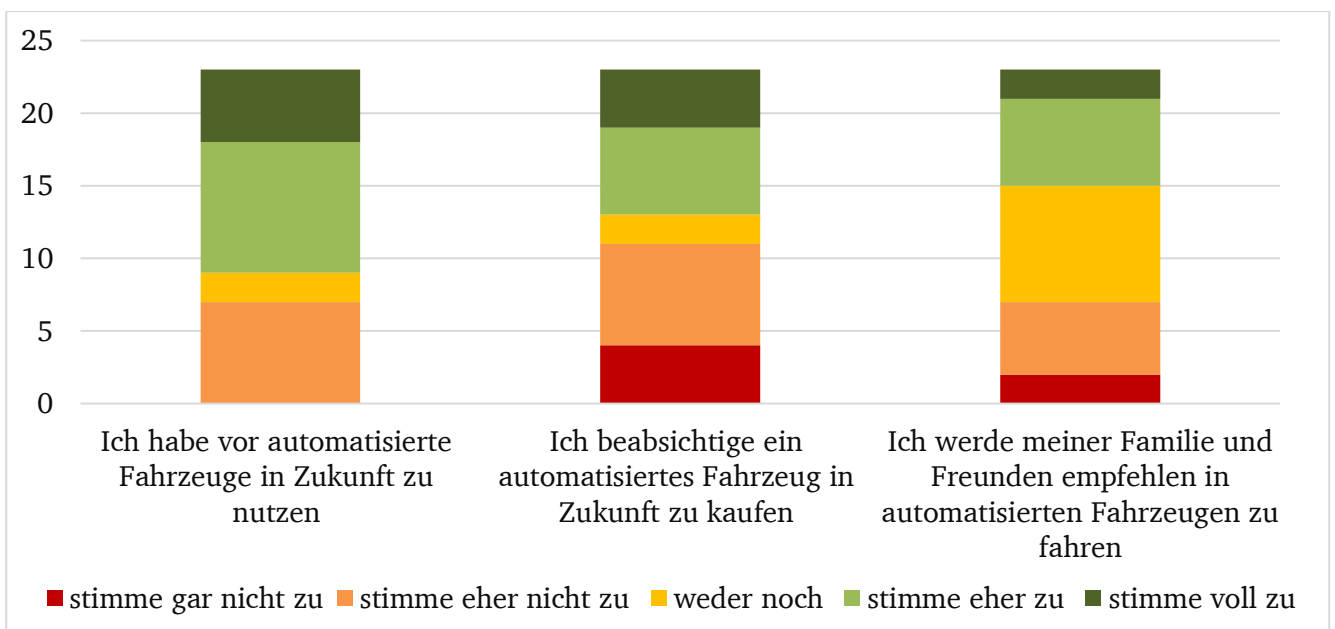


Abbildung 15: Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen – Befragung I (N=23)

User Experience

Die Ergebnisse des Short User Experience Questionnaire in Abbildung 16 zeigen, dass die Sprachausgabe gegenüber dem Ton und die ausführliche gegenüber der reduzierten visuellen Darstellung beim TOR bevorzugt werden. Die Differenz in der Bewertung von Sprachausgabe und Ton ist am stärksten ausgeprägt. Das reduzierte visuelle Basic Display schneidet bei der pragmatischen Qualität gleich gut, bei der hedonischen Qualität jedoch schlechter als das ausführliche visuelle Display ab.

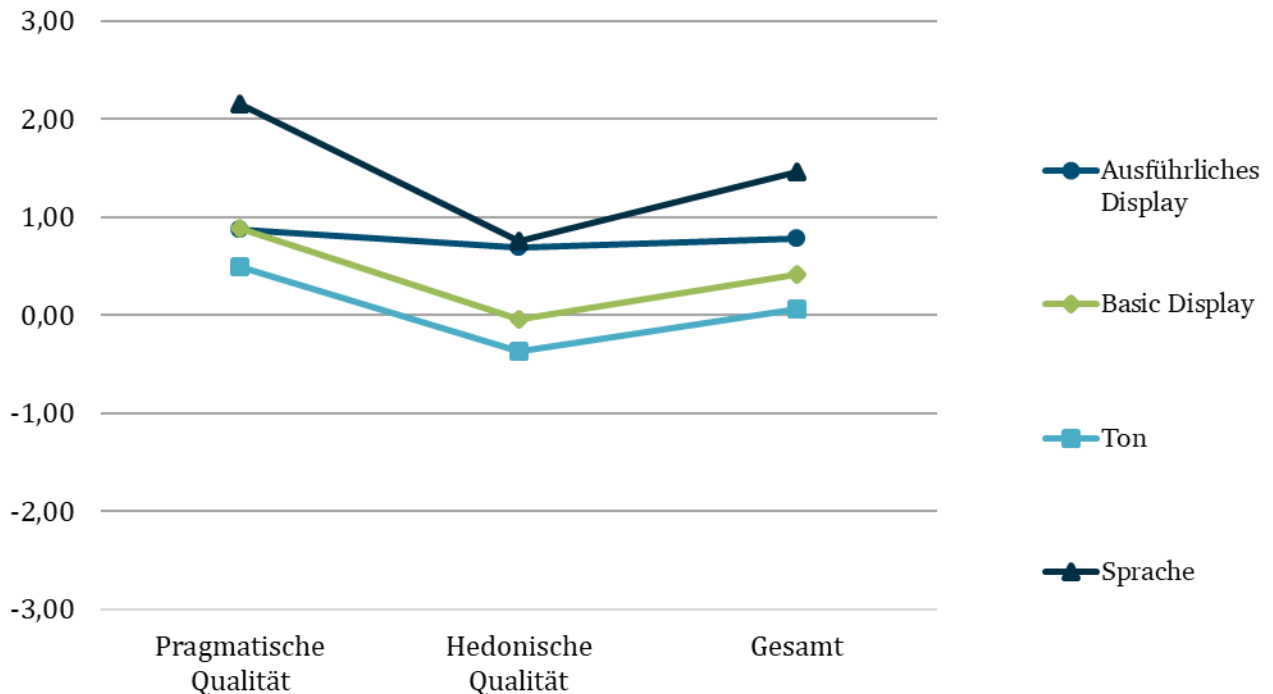


Abbildung 16: User Experience der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I (N=23)

Vertrauen

Die Ergebnisse zu den vier Fragen zum Systemvertrauen sind in Abbildung 17 dargestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Einschätzen der Situation, das Erkennen des Systemzustands, das Nachvollziehen und Antizipieren des Systemverhaltens beim TOR mit der ausführlichen visuellen Darstellung besser möglich ist als mit der reduzierten visuellen Darstellung und mit der Sprachausgabe bedeutend besser als mit dem Ton.

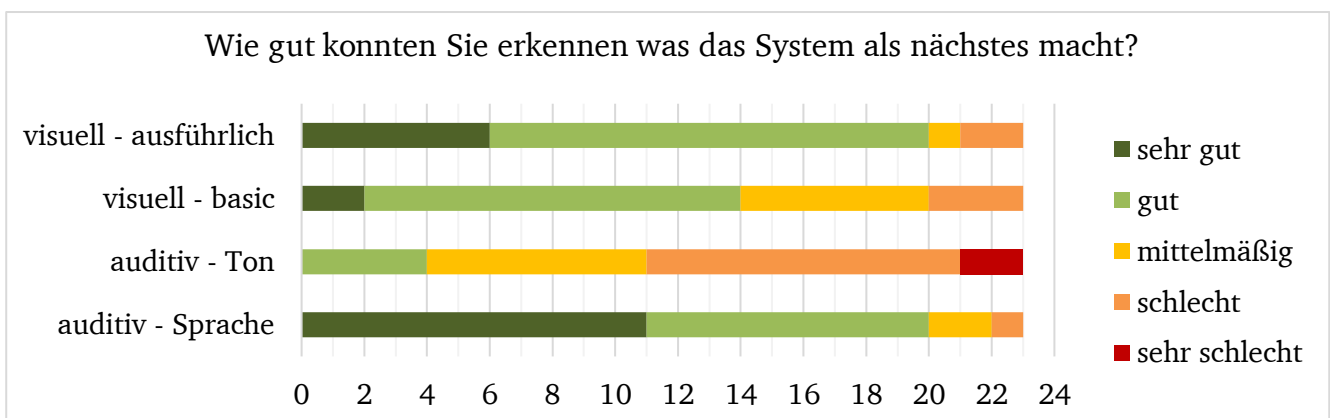
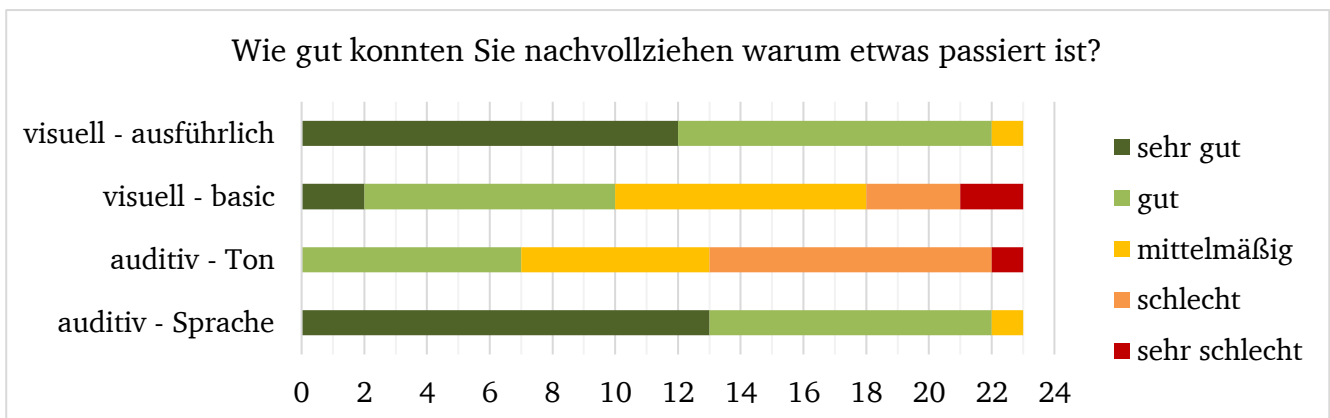
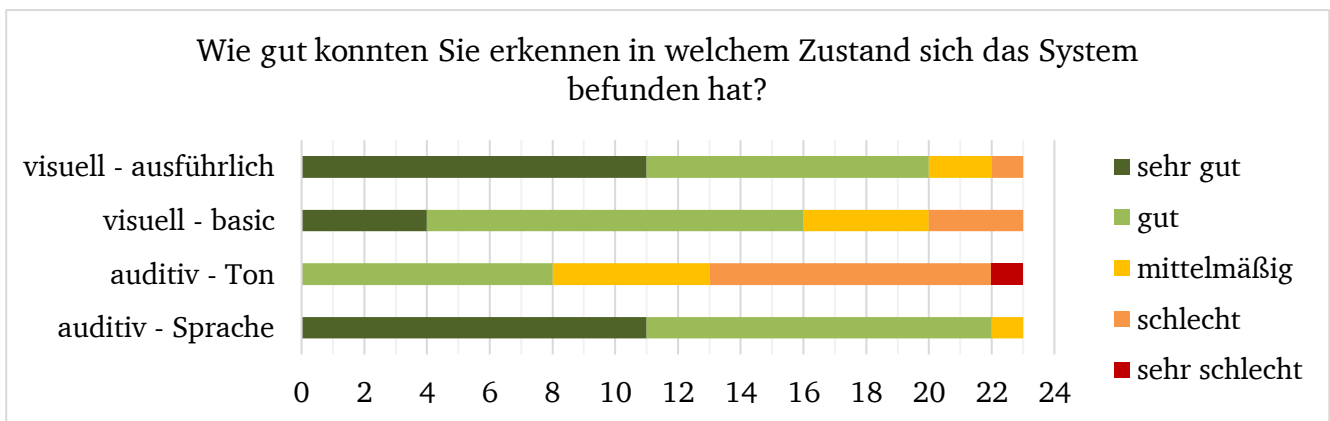
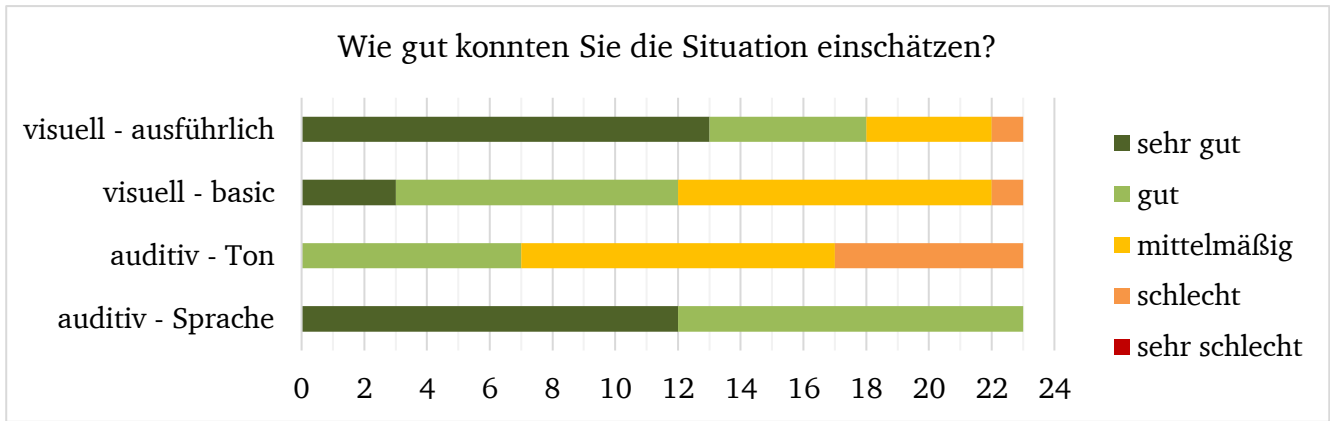


Abbildung 17: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I (N=23)

Rangfolge

Die Probanden wurden abschließend gebeten, eine Rangfolge der beim TOR Szenario bevorzugten HMI Varianten zu bilden. Der erste Balken in Abbildung 18 macht deutlich, dass beim TOR die ausführliche visuelle Darstellung in Kombination mit der Sprachausgabe präferiert wird. Weiterhin zeigt der Vergleich des zweiten und dritten Balkens, dass eine Sprachausgabe gegenüber einer ausführlichen visuellen Darstellung bevorzugt wird. Anhand des vierten Balkens ist schließlich zu sehen, dass die Kombination aus reduzierter visueller Darstellung und Ton am schlechtesten bewertet wurde.

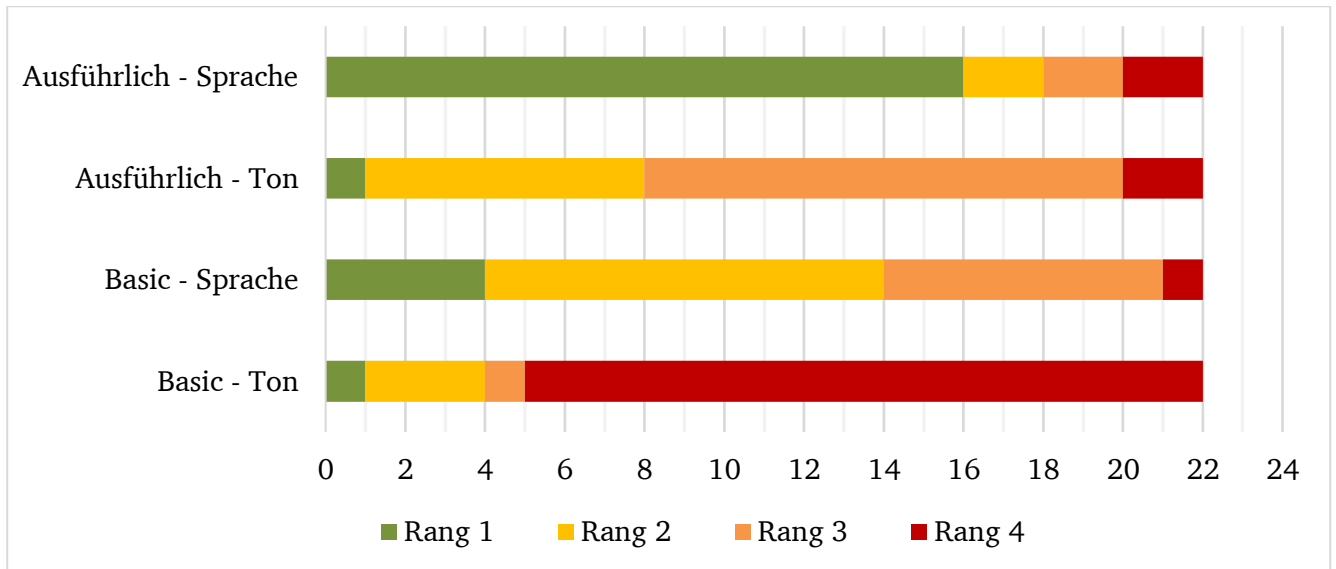


Abbildung 18: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung I (N=23)

Gestaltungshinweise Befragung I

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die identifizierten Gestaltungshinweise zusammengefasst. In Klammern ist jeweils die Anzahl der Probanden angegeben, die die entsprechende Aussage getätigt haben. In Tabelle 6 sind die aus den Szenarien zur kontinuierlichen automatisierten Fahrt abgeleiteten Gestaltungshinweise mit einer Kurzbeschreibung zur näheren Erläuterung und dem zugrundeliegenden Szenario gelistet. In Tabelle 7 sind die speziell für das Szenario Baustelle inkl. TOR identifizierten Gestaltungshinweise separat aufgeführt. Tabelle 8 stellt konträre Aussagen einander gegenüber, die von einer fast gleichen Anzahl von Probanden vorgetragen wurden. Bei den Szenarien zur kontinuierlichen automatisierten Fahrt wurde bspw. die ausführliche bzw. Basic Anzeige von 11 bzw. 10 Probanden präferiert. Ein ähnliches Bild ergab sich in Bezug auf die Sprachausgabe bzw. den Ton, die bzw. der von 5 bzw. 4 Probanden in einem Szenario zur kontinuierlichen automatisierten Fahrt bevorzugt wurde. Beim TOR standen 9 Probanden, die das systemseitige Feedback „Übernahme erfolgreich“ für gut befanden, 11 Probanden gegenüber, die angaben, diese Rückmeldung nicht zu benötigen.

Tabelle 6: Gestaltungshinweise: kontinuierliche automatisierte Fahrt – Befragung I

Gestaltungshinweise - kontinuierliche automatisierte Fahrt		
Gestaltungshinweis	Beschreibung	Szenario
Informations- & bedarfsgerechte Darstellung	Keine dauerhafte Darstellung der Tankanzeige – stattdessen Warnung bei Erreichung eines bestimmten Tankniveaus & Möglichkeit zur Abrufung (N=13 von 21)	Basis HMI – Autobahn/ Landstraße
Keine Redundanz	Erklärende Symbole für Funktionen der automatisierten Fahrt nicht hilfreich – ausschließliche Darstellung des Schriftzugs ausreichend (N=6 von 10)	Basis HMI - Autobahn
	Keine zweifache Darstellung des Zebrastreifens (N=3 von 10)	Fußgängerüberweg
Konsistente Anordnung nach Inhalt & Priorität	Besseren Soll-Ist-Vergleich durch Anordnung der Geschwindigkeitsvorgabe in der Nähe der aktuellen Geschwindigkeit (N=5 von 21)	Basis HMI - Autobahn/ Landstraße
	Berücksichtigung der Priorität in der Anordnung (von oben wichtig nach unten unwichtig) (N=2 von 10)	Basis HMI - Autobahn
Rückgriff auf erlernte Assoziationen	Blinker als akustisches Signal (wie heute auch) (N=4 von 10)	Autobahnabfahrt
Darstellung des Systemzustands	Nur Informationen über variable Funktionen darstellen (bspw. wenn nur ACC oder Spurhalteassistent aktiviert werden kann) (N=9 von 10)	Basis HMI - Autobahn
	Blauer Rand zur Darstellung des Fahrmodus sinnvoll (muss aber erlernt werden) (N=10 von 10)	Basis HMI - Autobahn
Antizipation ermöglichen	Darstellung weiterer Informationen zum nächsten Manöver (N=5 von 22)	Stoppschild/ Autobahnabfahrt
Transparenz & Nachvollziehbarkeit	Anzeigen von Manöver und Grund (N=3 von 11)	Stoppschild
Abbildung der Realität	Darstellung der Fußgängerposition entsprechend der Situation (N=6 von 10)	Fußgängerüberweg
Differenzierung nach Streckentyp	Weniger Informationen auf bekannten als auf längeren, unbekanntem Strecken – Reisemodus (N=2 von 21)	Basis HMI - Autobahn/ Landstraße
Eindeutigkeit der Kommunikation – egozentrisch/allozentrisch	Vermeidung eines verwirrenden der Sprachausgabe (N=3 von 11)	Rechts vor Links
Selbstbestimmtes & effizientes Handeln ermöglichen	Anzeige von Handlungsoptionen inkl. Alternativen (N=6 von 22)	Raststätte
Differenzierung zwischen informierendem & aufforderndem Charakter	Sprachausgabe bevorzugt, falls Handlung durch Passagier erfolgen soll (N=11 von 22)	Raststätte
Differenzierung nach Kritikalität & Komplexität (des Verkehrsszenarios)	Akustische Signale (Töne und/oder Sprache) sollten sich je nach Risikolevel der Situation und Verkehrsdichte unterscheiden (N=14)	Autobahnabfahrt + Stoppschild
Darstellung abhängig vom Erfahrungsgrad mit AD	Lernmodus mit mehr Informationen anreichern (N=3)	Fußgängerüberweg + Stoppschild

Tabelle 7: Gestaltungshinweise: TOR – Befragung I

Gestaltungshinweise - TOR		
Gestaltungshinweis	Beschreibung	Szenario
Akustische Gestaltung	Bevorzugung der Sprache (N=15 von 22)	Baustelle inkl. TOR
	Ton ist nichtssagend, liefert zu wenig Informationen, stressverursachend (N=6 von 22)	Baustelle inkl. TOR
Handlungsanweisung geben	Handlungsanweisungen sind verständlich (N=18 von 22)	Baustelle inkl. TOR
	Ein Symbol als Handlungsanweisung ausreichend - es ist klar, dass Lenkrad und Pedale übernommen werden müssen (N=10 von 22)	Baustelle inkl. TOR
Transparenz & Nachvollziehbarkeit erhöhen	Angabe der Ursache zur schnelleren Einschätzung der Situation (N=15 von 22)	Baustelle inkl. TOR
Codierung von Dringlichkeit/Kritikalität & Handlungsbedarf	Bei TOR Änderung der Rahmenfarbe in rot (N=8 von 22)	Baustelle inkl. TOR
	Blinken des Rahmens als Eskalationsstufe (N=3 von 22)	Baustelle inkl. TOR
Darstellung der Realität	Darstellung der Verkehrszeichen beim TOR (N=10 von 22)	Baustelle inkl. TOR

Tabelle 8: Konflikte zwischen den Gestaltungshinweisen – Befragung I

Konflikte zwischen den Gestaltungshinweisen		
Konflikte - kontinuierliche automatisierte Fahrt		
Ausführliche Anzeige wird bevorzugt (N=11 von 21)	vs.	Basic Anzeige wird bevorzugt (N=10 von 21)
Sprachausgabe wird bevorzugt (N=5 von 10)	vs.	Ton wird bevorzugt (N=4 von 10)
Darstellung der Verkehrsschilder ist wichtig (N=6 von 21)	vs.	Darstellung der Verkehrsschilder wird nicht benötigt (N=6 von 21)
Konflikte - TOR		
Countdown führt zu einer ruhigeren/kontrollierteren Übernahme (N=6 von 22)	vs.	Countdown ist nicht notwendig - die Übernahme sollte sofort passieren (N=8 von 22)
"Übernahme erfolgreich" ist hilfreich (N=9 von 22)	vs.	"Übernahme erfolgreich/Automatisierung abgeschaltet" wird nicht benötigt (N=11 von 22)

3.3.4 Fazit

Zusammenfassend betrachtet, sieht die Altersgruppe der aktiven Fahrenden über 55 Jahren dem automatisierten Fahren gespannt entgegen.

Über die Interviews hinweg zeigte sich, dass Persönlichkeitsfaktoren wie z. B. die Risikoneigung und bestehende Gewohnheiten das Vertrauen in das automatisierte Fahren und die Akzeptanz des automatisierten Fahrens beeinflussen. Unabhängig davon schaffen ausführliche visuelle Darstellungen ein höheres Systemvertrauen als reduzierte visuelle Darstellungen und eine mittelmäßige bis gute User Experience. Eine sprachliche auditive Ausgabe wirkt vertrauensstiftend und führt zu einer guten bis sehr guten User Experience. Dementsprechend hat sich beim TOR die Gestaltungslösung bestehend aus einer ausführlichen Anzeige und einer Sprachausgabe als favorisierte Alternative bei den über 55-Jährigen herauskristallisiert. Allerdings ist diese Präferenz nicht uneingeschränkt auf das kontinuierliche automatisierte Fahren zu übertragen. Hier zeigte sich eine hohe Diversität in den Präferenzen über die untersuchten unterschiedlichen Szenarien des kontinuierlichen automatisierten Fahrens hinweg.

Den im Zuge der Interviewauswertung identifizierten Kategorien zufolge prägen u. a. die Vertrautheit mit der zu fahrenden Strecke und die Komplexität und Kritikalität einer spezifischen Situation den adaptiven und adaptierbaren Gestaltungsbedarf. Demnach scheinen situative Modi, die sich in den betrachteten visuellen und auditiven Gestaltungsdimensionen unterscheiden, geeignet zu sein, um eine situationspezifische optimale Abstimmung von Informationsbedarf und -angebot sicherzustellen.

Weiterhin wurde im Zuge der Interviews deutlich, dass der Informationsbedarf von der Erfahrung mit dem automatisierten Fahren abhängt. Daher sollten erfahrungsbasierte Modi Automationsanfängern eine Gestaltungslösung mit einem hohen Informationsgehalt, z. B. durch eine Kombination aus einer ausführlichen visuellen Anzeige und einer Sprachausgabe bieten. Umso mehr Erfahrung mit dem automatisierten Fahren gesammelt wurde, desto geringer wird der Informationsbedarf sein.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass die hiesigen Ergebnisse unter Einschränkungen zu betrachten sind. Zum einen konnten die Videos nur einen begrenzten Grad an Immersion erzeugen. So hatten einige Interviewte Schwierigkeiten, sich durchgängig auf das Szenario des automatisierten Fahrens einzulassen. Zum anderen beziehen sich alle Aussagen auf die hier präsentierten konkreten Gestaltungslösungen.

3.4 Befragung II

Im Rahmen der zweiten Befragung wurden dieselben Forschungsfragen, wie bei der ersten Befragung untersucht:

- F-U3: Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
- F-U4.1: Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung und Informationsgehalt gestaltet sein, um Handlungen bei TOR zu unterstützen?
- F-U5: Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?

Das Vorgehen und die Ergebnisse der auf der ersten Befragungsrunde aufbauenden zweiten Befragungsrunde werden in diesem Kapitel erläutert.

3.4.1 Szenarien und HMIs

Die Auswertung der ersten Befragungsrunde hat ergeben, dass der Informationsbedarf zum einen von der empfundenen Kritikalität der Situation und zum anderen vom Handlungsbedarf abhängt. Um die situationsspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse älterer Fahrer zu ermitteln, wurden für die zweite Befragungsrunde vier Szenarien gewählt, die sich einerseits in der Kritikalität und andererseits im Vorhandensein eines Handlungsbedarfs unterscheiden. Abbildung 19 zeigt die Klassifizierung, die den gebildeten Szenarien zugrunde liegt. Als unkritische Situation ohne Handlungsbedarf wird die Autobahnabfahrt gewählt. Aus der ersten Befragungsrunde wird weiterhin der Fußgängerüberweg als kritische Situation ohne Handlungsbedarf übernommen. Als unkritische Situation mit Handlungsbedarf dient das in der ersten Befragungsrunde bereits verwendete Raststättenszenario, als kritische Situation mit Handlungsbedarf die Baustelle inkl. TOR.





		empfundene Kritikalität	
		unkritisch	kritisch
Handlungsbedarf	ohne	Autobahnabfahrt 	Fußgängerüberweg 
	mit	Raststätte 	Baustelle inkl. TOR 

Abbildung 19: Szenarien – Befragung II

Zur Überarbeitung der visuellen und akustischen Gestaltung des Basis HMI für die zweite Befragungsrunde wurden zunächst alle allgemeingültigen, situationsunabhängigen Gestaltungshinweise aus den Ergebnissen der ersten Befragungsrunde genutzt. Dabei wurden u. a. die Anordnung und die Darstellungsgröße der Informationen auf dem Display sowie die Gestaltung der Sprachausgabe angepasst. Aus diesem neuen Basis HMI wurden anschließend, unter Berücksichtigung der situationsspezifischen Gestaltungshinweise aus Befragung I, für die vier, oben beschriebenen Situationskategorien aus Abbildung 19 jeweils drei HMI Varianten gebildet. Die Gestaltung der situationsspezifischen HMI Varianten wird im Folgenden beschrieben. Die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Informationsübermittlung kann über die in Abbildung 24 eingebetteten Links zu den Videos eingesehen werden. Zur besseren Erkennbarkeit wurde auch in den Videos der zweiten Befragungsrunde das HMI Display vergrößert im Vordergrund dargestellt und den Probanden mitgeteilt, dass das HMI Display als Kombiinstrument oberhalb der Lenksäule positioniert ist.

HMI Varianten Autobahnabfahrt - unkritische Situation ohne Handlungsbedarf

In Situationen ohne Handlungsbedarf zeigten die Ergebnisse der ersten Befragungsrunde zwar konkrete Gestaltungshinweise hinsichtlich der visuellen Informationsübermittlung, nicht aber in Bezug auf die akustische Informationsübermittlung. Daher wurden für die zweite Befragungsrunde die drei HMI Varianten in Abbildung 20 erstellt, die zwar eine identische visuelle Displaygestaltung umfassen, sich aber in der akustischen Informationsübermittlung unterscheiden. Mittig zeigt das Display das Fahrzeug mit Sicherheitskäfig zur Hinderniserkennung und dem aktuellen Manöver an. Für eine realitätsnahe Abbildung der Situation wird neben dem Fahrstreifen die Abfahrt inklusive der Bezeichnung dargestellt. Auf der linken Displayseite ist zum einen die Ist- und die Soll-Fahrgeschwindigkeit und zum anderen die Zeit bis zur Zielerreichung angezeigt. Der Fahrmodus wird sowohl über den blauen Schriftzug „Automatisierte Fahrt“ als auch über den blauen Farbrahmen vermittelt. In HMI Variante 1 wird die Manöveränderung lediglich über das Display ohne akustisches Signal kommuniziert. In HMI Variante 2 ertönt bei der Manöveränderung ein Piepton. In HMI Variante 3 wird die Manöveränderung über eine Sprachausgabe übermittelt. Die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Informationsübermittlung kann über die in Abbildung 24 eingebetteten Links zu den Videos eingesehen werden.

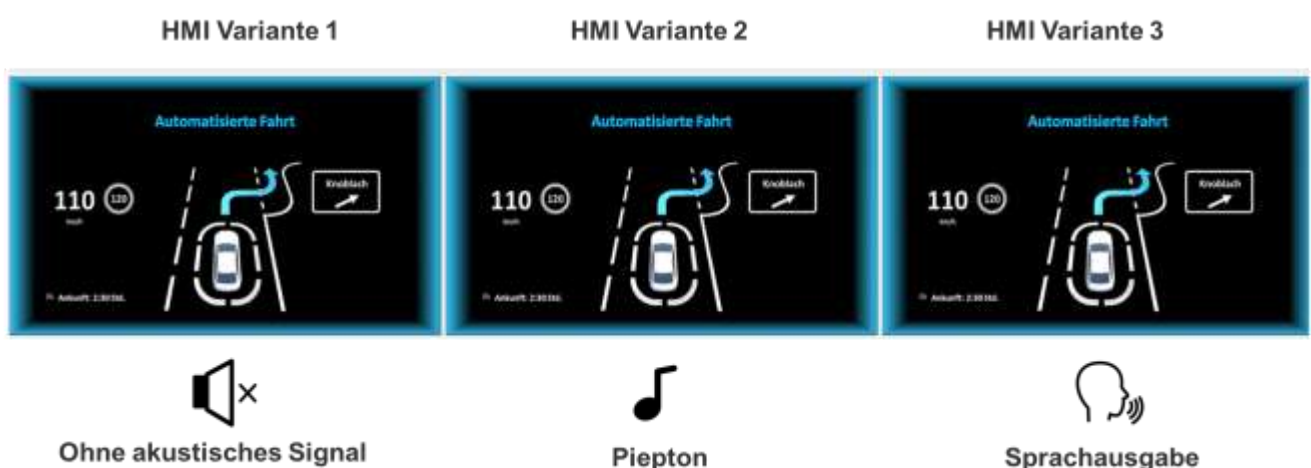


Abbildung 20: HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt – Befragung II

HMI Varianten Fußgängerüberweg - kritische Situation ohne Handlungsbedarf

Da auch das Szenario Fußgängerüberweg eine Situation ohne Handlungsbedarf darstellt, unterscheiden sich die in Abbildung 21 dargestellten HMI Varianten für dieses Szenario ebenfalls lediglich auf akustischer, nicht aber auf visueller Ebene. Mittig zeigt das Display das Fahrzeug mit Sicherheitskäfig zur Hinderniserkennung und dem aktuellen Manöver an. Für eine realitätsnahe Abbildung wird neben dem Fahrstreifen der Zebrastreifen sowie die Position des Fußgängers dargestellt. Auf der linken Displayseite ist zum einen die Ist- und die Soll-Fahrgeschwindigkeit und zum anderen die Zeit bis zur Zielerreichung angezeigt. Der Fahrmodus wird sowohl über den blauen Schriftzug „Automatisierte Fahrt“ als auch über den blauen Farbrahmen vermittelt. In HMI Variante 1 wird die Manöveränderung lediglich über das Display ohne akustisches Signal kommuniziert. In HMI Variante 2 ertönt bei der Manöveränderung ein Piepton. In HMI Variante 3 wird die Manöveränderung über eine Sprachausgabe übermittelt. Die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Informationsübermittlung kann über die in Abbildung 24 eingebetteten Links zu den Videos eingesehen werden.

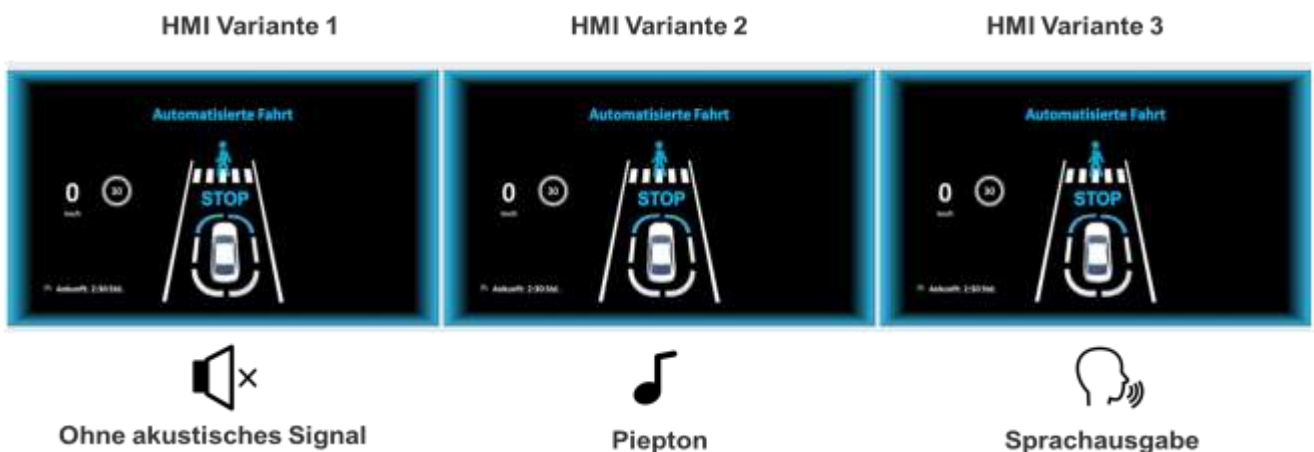


Abbildung 21: HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg – Befragung II

HMI Varianten Raststätte - unkritische Situation mit Handlungsbedarf

Den Ergebnissen der ersten Befragungsrunde zufolge, sollte in Situationen mit Handlungsbedarf die Aufforderung zur Handlung stets über eine Sprachausgabe kommuniziert werden. Daher unterscheiden sich die in Abbildung 22 abgebildeten drei HMI Varianten des Raststättenszenarios lediglich auf Ebene der visuellen Gestaltung. Dabei wurde die in Befragung I identifizierte Präferenz älterer Fahrer für die Hervorhebung zentraler Informationen im Display, wie bspw. der erwarteten Handlung berücksichtigt. Demgegenüber ist die Position der Gestaltungselemente in allen drei HMI Varianten gleich. Mittig wird die Kaffeetasse als Symbol für die systemseitig erkannte Müdigkeit und die Frage, ob die Raststätte angefahren werden soll, mit den entsprechenden Antwortmöglichkeiten dargestellt. Oberhalb ist mithilfe des üblichen Raststättenverkehrsschilds die Charakteristik der Raststätte angegeben. Rechts davon ist ebenfalls über das entsprechende Verkehrsschild die nächste, alternative Raststätte dargestellt. Auf der linken Displayseite ist die Ist- und die Soll-Fahrgeschwindigkeit angezeigt. Die Angabe der Restreichweite und der Zeit bis zur Zielerreichung sollen dem Fahrenden eine selbstbestimmte, verantwortungsvolle Handlung ermöglichen. Der Fahrmodus wird sowohl über den blauen Schriftzug „Automatisierte Fahrt“ als auch über den blauen Farbrahmen vermittelt. In HMI Variante 1 sind die mittig platzierten zentralen Informationen nicht hervorgehoben, d. h. statisch und in weißer Schrift dargestellt. In HMI Variante 2 sind die mittig platzierten zentralen Informationen durch eine gelbe Farbgebung gekennzeichnet. In HMI Variante 3 werden die mittig platzierten zentralen Informationen

durch die gelbe Farbgebung und durch das Blinken von Kaffeetasse und der Antwortmöglichkeiten betont. Die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Informationsübermittlung kann über die in Abbildung 24 eingebetteten Links zu den Videos eingesehen werden.



Abbildung 22: HMI Varianten für Szenario Raststätte – Befragung II

HMI Varianten Baustelle inkl. TOR - kritische Situation mit Handlungsbedarf

Da den Ergebnissen der ersten Befragungsrunde zufolge Situationen mit Handlungsbedarf stets eine akustische Informationsübermittlung über eine Sprachausgabe erfordern, unterscheiden sich die in Abbildung 23 dargestellten und untersuchten HMI Varianten des Szenarios Baustelle inkl. TOR lediglich auf Ebene der visuellen Gestaltung. Mittig wird ein Symbol mit einem von zwei Händen gehaltenen Lenkrad und dem Schriftzug „BAUSTELLE – Übernehmen Sie das Fahrzeug!“ abgebildet. Unterhalb wird die verbleibende Zeit bis zur Abschaltung der Automatisierung über einen Countdown kommuniziert. Auf der linken Displayseite wird die aktuelle sowie die vorgegebene Geschwindigkeit, auf der rechten Displayseite werden die weiteren Verkehrsschilder angezeigt. Der Fahrmodus wird sowohl über den blauen Schriftzug „Automatisierte Fahrt“ als auch über den blauen Farbrahmen vermittelt. In HMI Variante 1 sind die mittig platzierten zentralen Informationen nicht hervorgehoben, d. h. statisch und in weißer Schrift dargestellt. In HMI Variante 2 sind die mittig platzierten zentralen Informationen durch eine gelbe Farbgebung gekennzeichnet. Um die gegenüber dem Raststättenszenario hohe Kritikalität des TOR Szenarios abzubilden, werden die mittig platzierten zentralen Informationen in HMI Variante 3 durch eine Rotfärbung und ein Blinken betont. Die konkrete Ausgestaltung der visuellen und akustischen Informationsübermittlung kann über die in Abbildung 24 eingebetteten Links zu den Videos eingesehen werden.

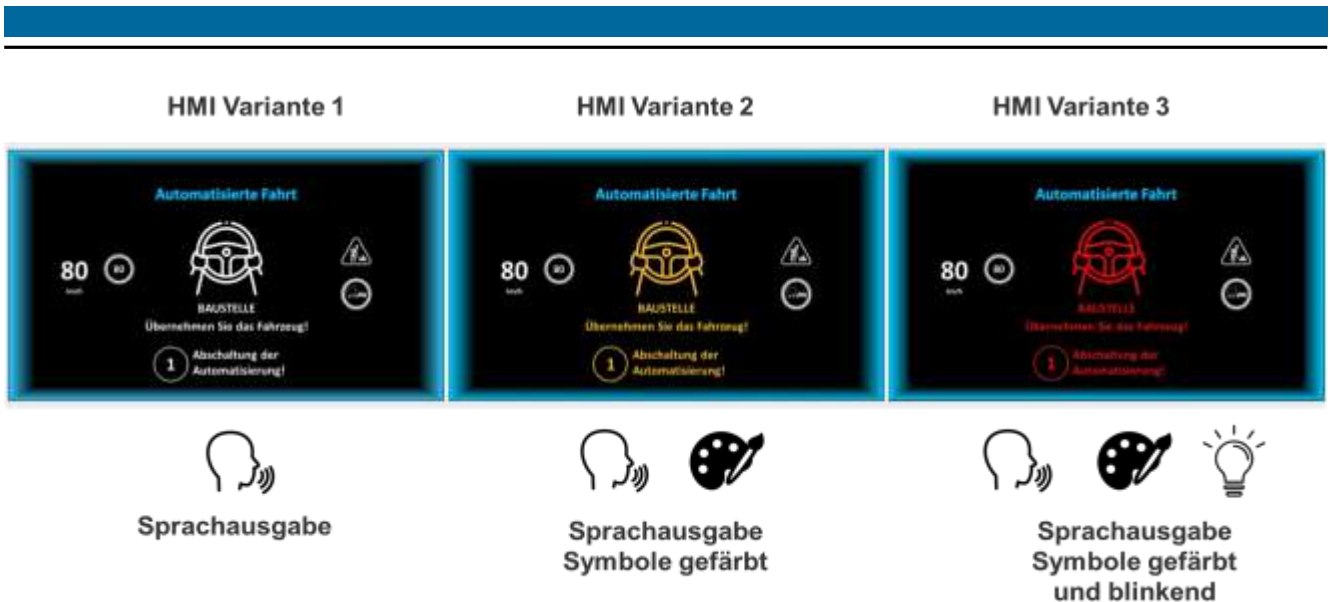


Abbildung 23: HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR – Befragung II

3.4.2 Interviewablauf

Abbildung 24 stellt eine Übersicht über den Interviewablauf der Befragung II bereit. Entsprechend Befragung I füllten die Probanden auch in Befragung II vor den Interviews einen Online Fragebogen aus, mit dem Angaben zur Person, zu den Fahrgewohnheiten und zu den von den Probanden gefahrenen Fahrzeugen erhoben wurden. Darüber hinaus beinhaltet der Online Fragebogen einen Fragebogen zur Nutzungsintention nach Liu et al. (2019), einen Fragebogen zur Technikaffinität nach Parasuraman und Colby (2015), einen Fragebogen zum Technikvertrauen nach Körber (2019), einen Fragebogen zum Kontrollbedürfnis nach Burger und Cooper (1979) und Fragen zu altersbedingten Leistungsdefiziten (Newson & Kemp, 2006). Zu Beginn der über das Online Konferenztool Zoom durchgeführten Interviews wurde – wie in Befragung I – mit Hilfe eines Einführungsvideos die Funktionsweise automatisierter Fahrzeuge erklärt. Anschließend wurden den Probanden die vier verschiedenen Szenarien in permutierter Reihenfolge präsentiert. In jedem Szenario wurden den Probanden zunächst ein Video der Situation ohne HMI gezeigt. Daraufhin sollten sie mit Hilfe der Skala nach (Naujoks & Neukum, 2013) die subjektiv empfundene Kritikalität der Situation bewerten. Dann wurden den Probanden die HMI Varianten in allen Szenarien in permutierter Reihenfolge präsentiert. Im Anschluss an jede Filmsequenz sollten Nützlichkeit und Komfort der präsentierten HMI Variante mithilfe des Fragebogens nach Van der Laan et al. (1997) beurteilt werden. Bei der anschließenden vergleichenden Betrachtung der drei HMI Varianten wurden die Probanden gefragt, welche Unterschiede ihnen zwischen den HMI Varianten aufgefallen sind, was ihnen an den HMI Varianten gefallen und nicht gefallen hat und welche Änderungen sie vornehmen würden. Außerdem sollten sie eine Rangfolge der bevorzugten HMI Varianten bilden. Für die jeweils auf Rang 1 gewählte HMI Variante sollten im Anschluss die auch in Befragung I verwendeten Fragen zum Systemvertrauen nach Körber (2018) beantwortet sowie der Short-User-Experience-Questionnaire nach Schrepp et al. (2017) ausgefüllt werden.

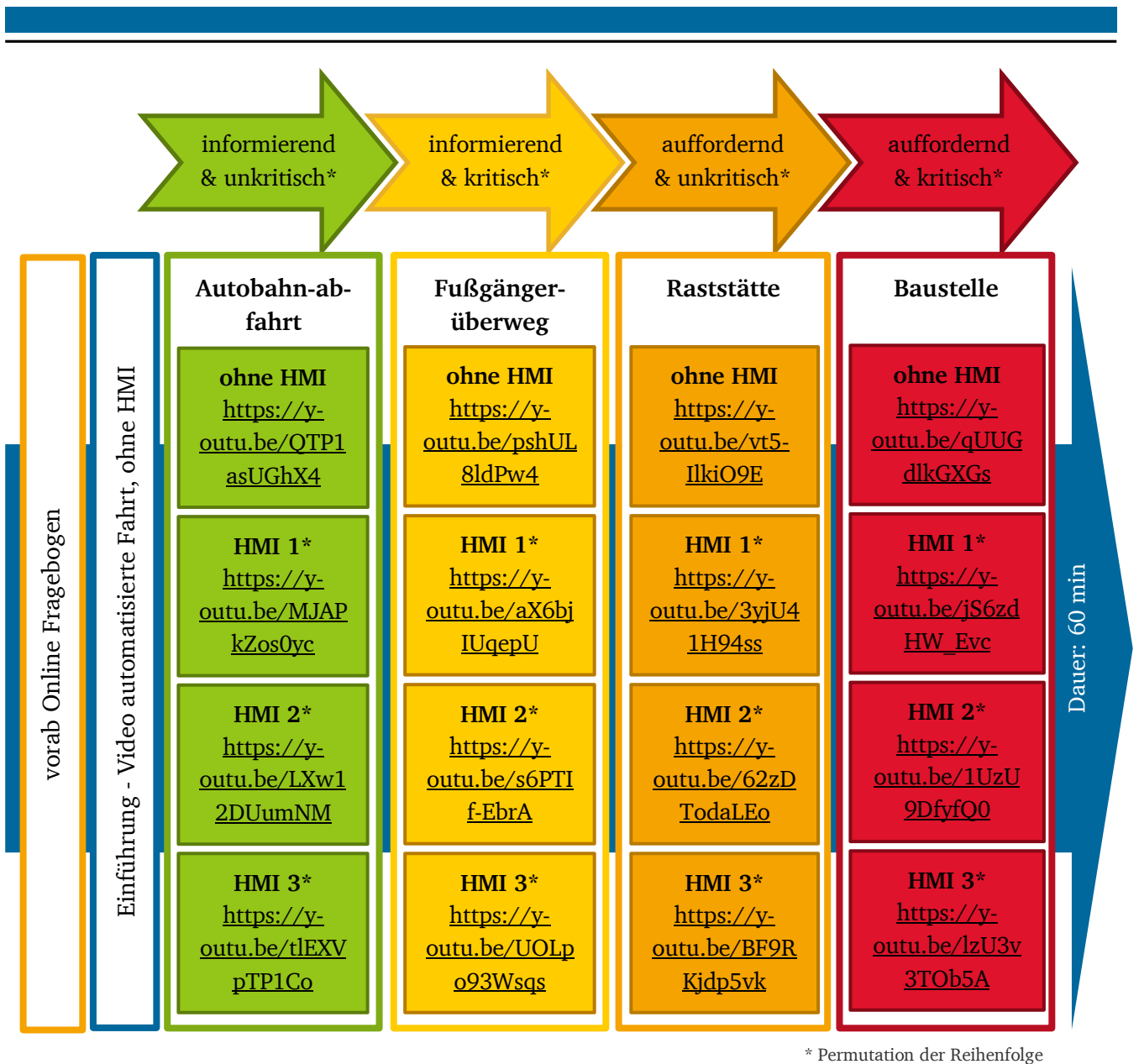


Abbildung 24: Interviewablauf – Befragung II

3.4.3 Ergebnisse

Probanden

In der zweiten Befragungsrunde wurden 19 Probanden im Alter zwischen 55 und 74 Jahren interviewt. Bei 17 der Probanden handelte es sich um PKW-Fahrende. Weiterhin wurden zwei Experten im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion interviewt. Da die Interviews der zweiten Befragungsrunde aufgrund der verschärften Corona-Pandemiesituation nur online durchgeführt werden konnten und die potenziell zu interviewenden LKW-Fahrenden nicht über die dafür notwendige technische Ausstattung verfügten, konnten im Rahmen der zweiten Befragungsrunde keine LKW-Fahrenden interviewt werden. In Abbildung 25 ist die Häufigkeitsverteilung der Probanden hinsichtlich des Geschlechts, des Alters, der Kategorie, der Fahrpraxis und der Fahrleistung dargestellt.

Abbildung 26 gibt eine Übersicht über die Ausstattung der von den Probanden gefahrenen Fahrzeuge.

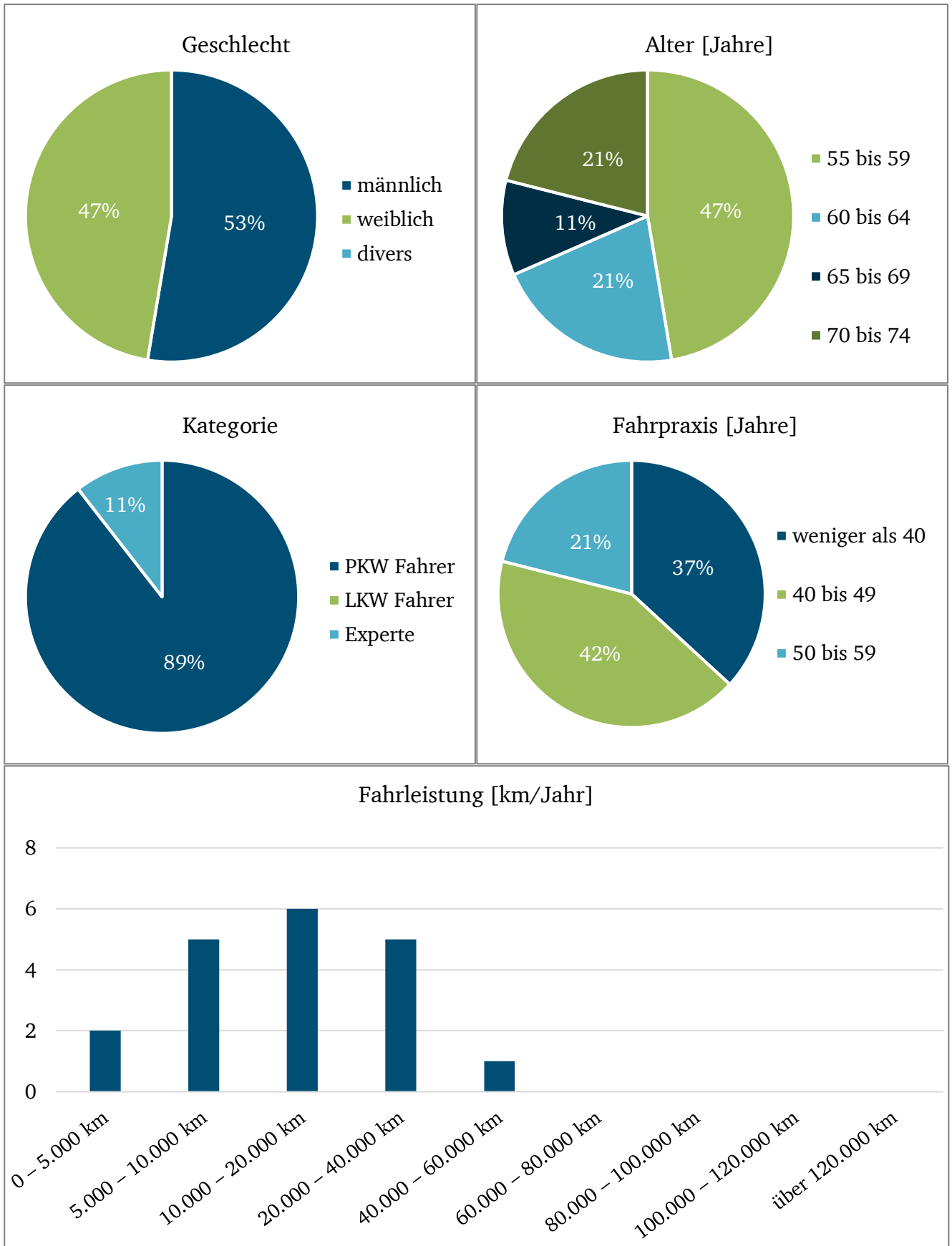


Abbildung 25: Geschlecht, Alter, Kategorie, Fahrpraxis und Fahrleistung der Probanden – Befragung II (N=19)

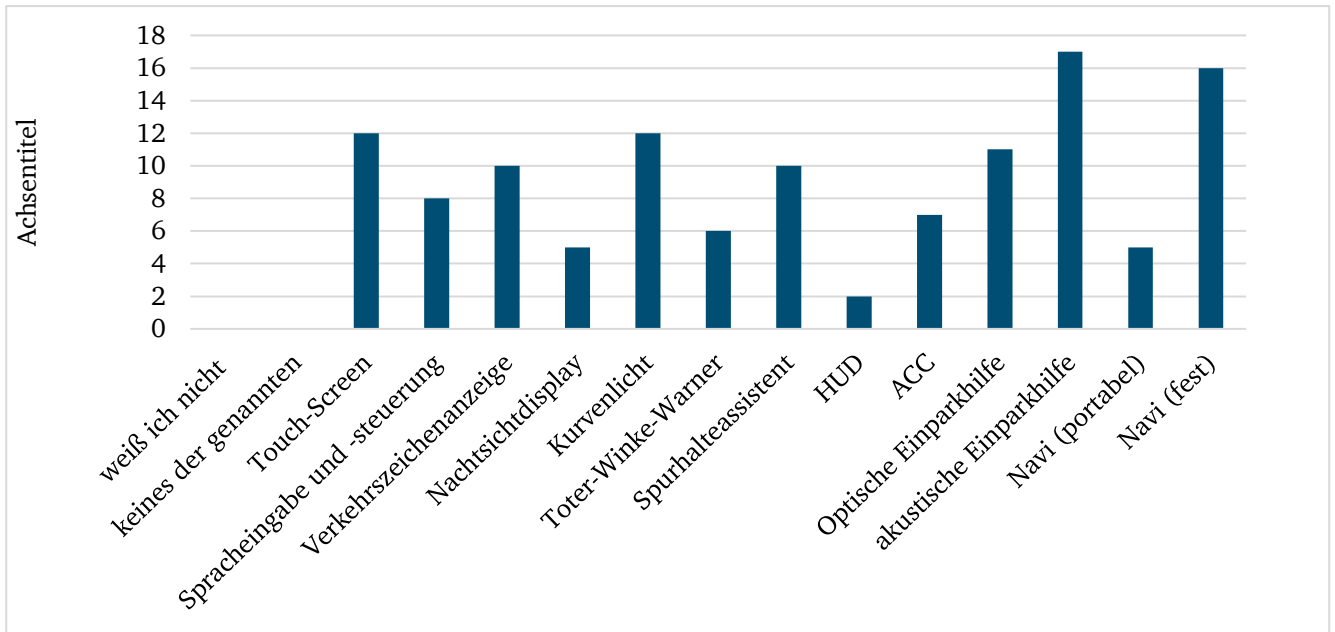


Abbildung 26: Ausstattung der von den Probanden am häufigsten gefahrenen Fahrzeuge – Befragung II (N=19, Mehrfachnennung möglich)

In der folgenden

Abbildung 27 sind die Angaben der Probanden zur Technikaffinität, zum Technikvertrauen und zum Kontrollbedürfnis dargestellt. Knapp 80 % gaben eine mittlere, die verbleibenden 20 % eine hohe Technikaffinität an. Das Technikvertrauen wurde von zwei Probanden als niedrig, von zehn Probanden als mittel und von sieben Probanden als hoch eingestuft. 14 der 19 Probanden stuften ihr Kontrollbedürfnis hoch, der Rest mittelmäßig ein.

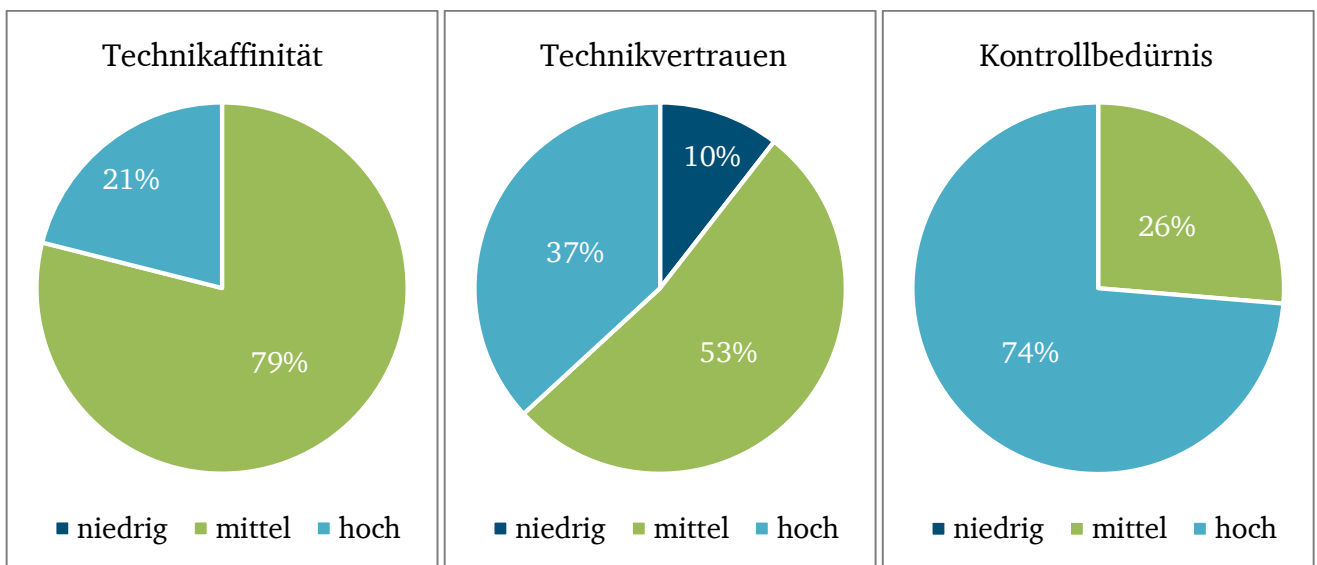


Abbildung 27: Persönlichkeitsfaktoren Technikaffinität, Technikvertrauen und Kontrollbedürfnis der Probanden – Befragung II (N=19)

Abbildung 28 zeigt die Ausprägung der selbstberichteten Leistungsdefizite der Probanden hinsichtlich Seh- und Hörbeeinträchtigungen sowie Aufmerksamkeit, Schnelligkeit, Arbeitsgedächtnis, exekutiven Funktionen und Langzeitgedächtnis.

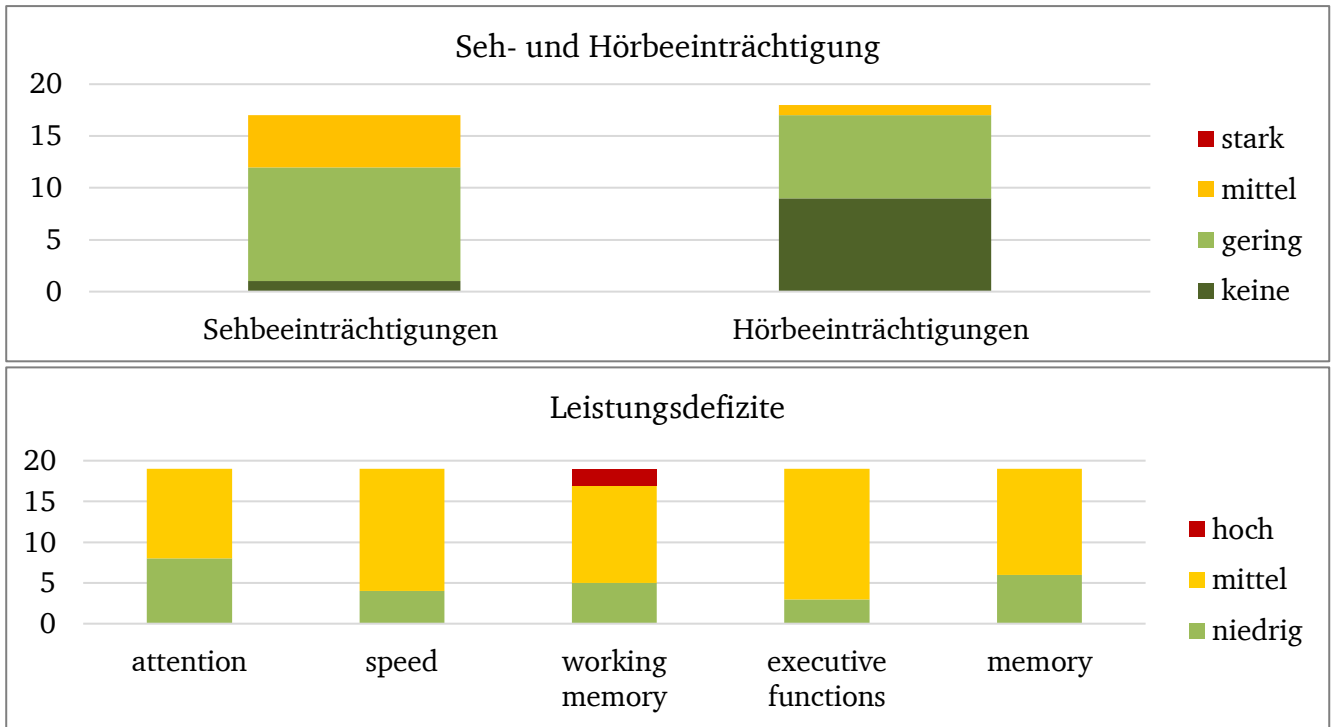


Abbildung 28: Selbstberichtete Leistungsdefizite der Probanden – Befragung II (N=19)

Nutzungsintention

Abbildung 29 stellt die von den Probanden angegebene Intention zur Nutzung automatisierter Fahrzeuge dar. 63 % der Probanden beabsichtigen, ein automatisiertes Fahrzeug in Zukunft zu nutzen. 37 % der Probanden weisen eine Bereitschaft auf, ein automatisiertes Fahrzeug zu kaufen. 42 % der Probanden würden eine Empfehlung für die Nutzung automatisierter Fahrzeuge aussprechen wollen.

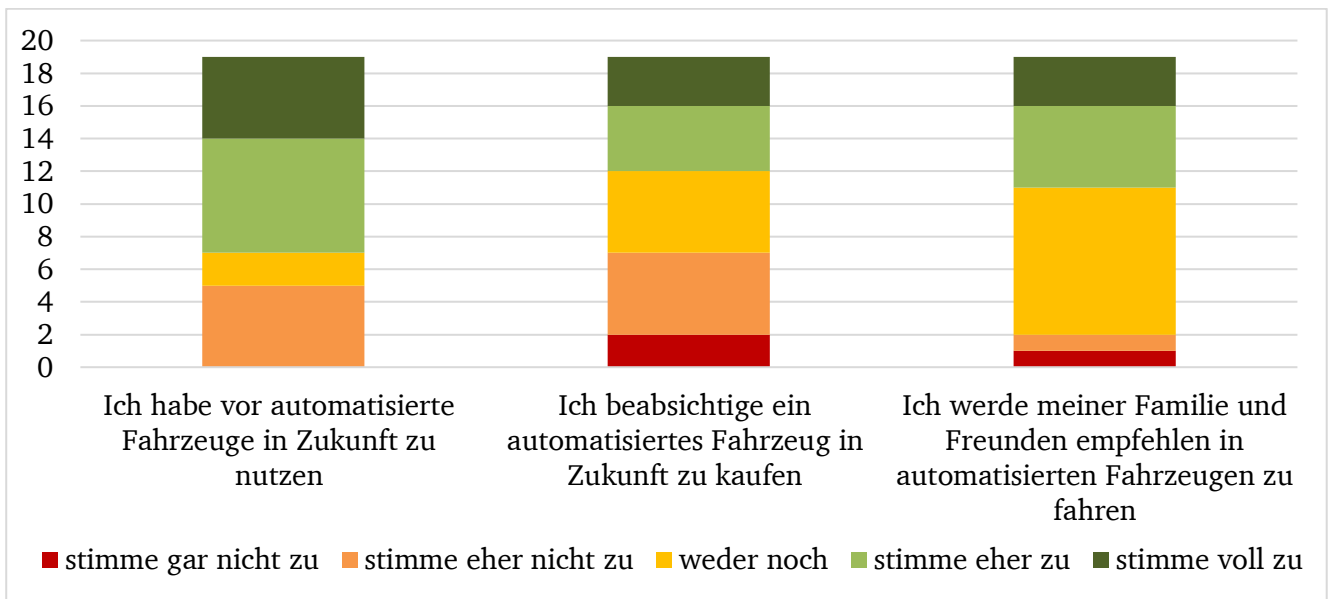


Abbildung 29: Nutzungsintention von automatisierten Fahrzeugen – Befragung II (N=19)

Empfundene Kritikalität der Situationen

Abbildung 30 zeigt die Einstufung der empfundenen Kritikalität der verschiedenen Situationen, welche die Probanden anhand einer Filmsequenz ohne eingeblendetes HMI beurteilten. Es ist zu erkennen, dass die von den Probanden empfundene Kritikalität der Situation größtenteils der im Vorfeld durchgeführten Situationskategorisierung gleicht. Die Situation der Autobahnabfahrt wurde zu 60 % als harmlos eingestuft. Demgegenüber wurde die Situation des Fußgängerüberwegs zu 60 % als unangenehm und gefährlich bewertet. Im direkten Vergleich von Autobahnabfahrt und Fußgängerüberweg als Szenarien ohne Handlungsbedarf zeigt sich, dass der Fußgängerüberweg zu einem deutlich höheren Anteil als gefährlich empfunden wurde. Die Situation der Raststätte wurde zu knapp 80 % als harmlos bewertet. Die Situation Baustelle inkl. TOR hingegen wurde zu 80 % als unangenehm und gefährlich eingestuft. Im direkten Vergleich von Raststätte und Baustelle inkl. TOR zeigt sich, dass die Situation Baustelle inkl. TOR deutlich unangenehmer und gefährlicher als das Raststättenszenario empfunden wurde.

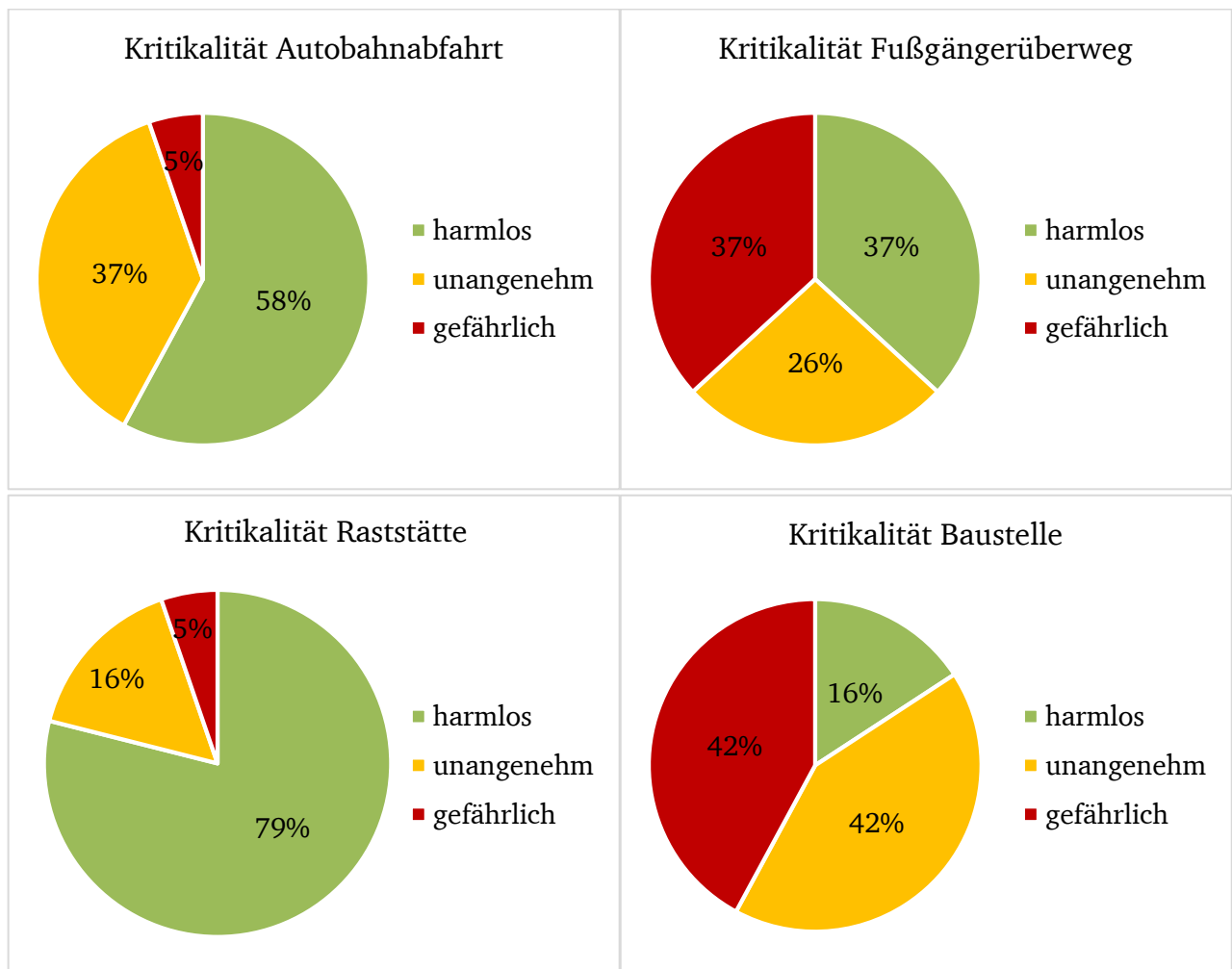


Abbildung 30: Empfundene Kritikalität der Szenarien – Befragung II (N=19)

Autobahnabfahrt - unkritische Situation ohne Handlungsbedarf

Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, wurden im Szenario Autobahnabfahrt sowohl Nützlichkeit als auch Komfort der HMI Variante 1 ohne akustisches Signal deutlich schlechter beurteilt als im Fall der beiden Varianten mit akustischer Informationsübermittlung. Die Nützlichkeit wurde bei der HMI Variante 3 mit Sprachausgabe am besten bewertet, wohingegen der Komfort bei der HMI Variante 2 mit dem Piepton am besten beurteilt wurde. Diesbezüglich wurde in den Interviews häufig angemerkt, dass die Sprachausgabe aufgrund ihres hohen Informationsgehalts zwar hilfreich wäre, in Kombination mit eventuell durchgeführten fahrfremden Tätigkeiten jedoch störend sein könnte.

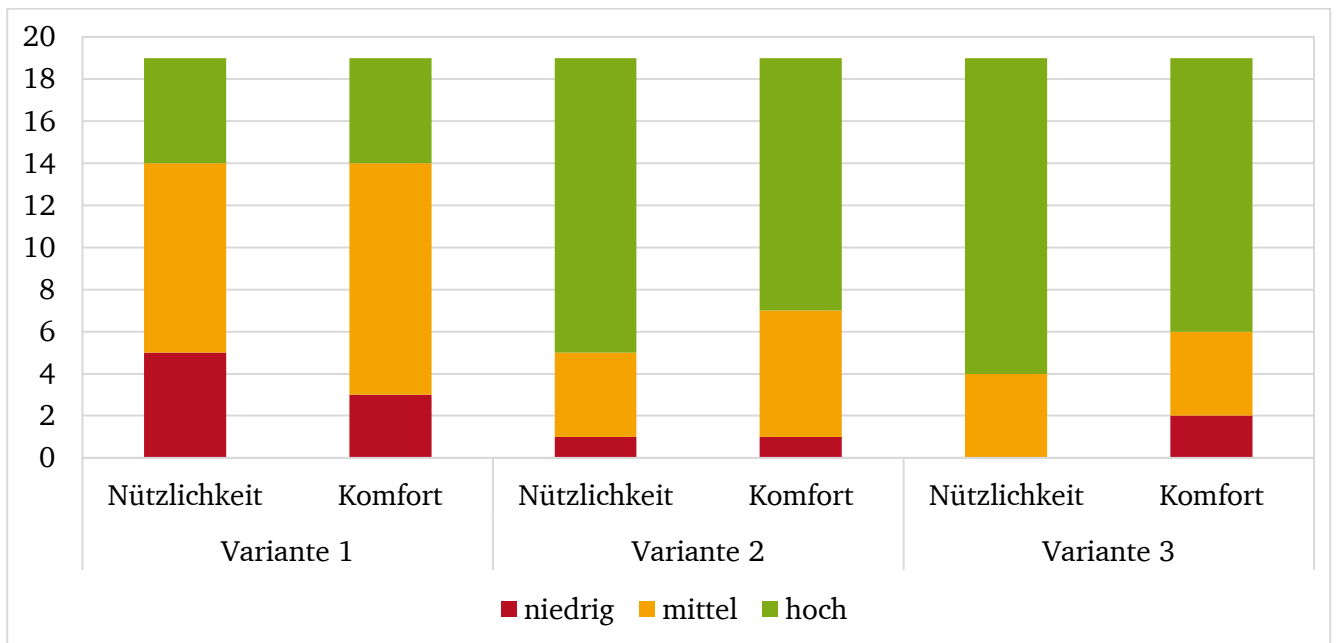


Abbildung 31: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

Wie in Abbildung 32 deutlich wird, wurde die HMI Variante 3 mit der Sprachausgabe trotz ihrer vergleichsweise schlechten Bewertung hinsichtlich des Komforts vom Großteil der Probanden auf den ersten Rang gewählt. In den Interviews wurde die Entscheidung häufig damit begründet, dass der hohe Informationsgehalt der Sprachausgabe sehr nützlich ist und der Nützlichkeit gegenüber dem Komfort eine größere Bedeutung zukommt. Die HMI Variante 1 ohne akustisches Signal hingegen wurde von der Mehrheit der Probanden auf Rang 3 platziert.

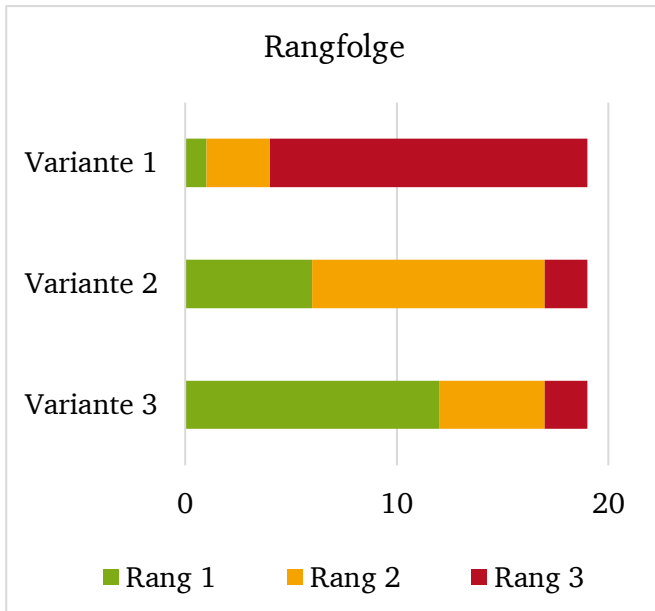


Abbildung 32: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

(Bestimmung der am besten bewerteten HMI Variante durch Vergleich der erzielten Score-Werte der HMI Varianten:
 $Score-Wert_{1-3} = n_{Rang1} \times 3 + n_{Rang2} \times 2 + n_{Rang3} \times 1$)

Abbildung 33 zeigt, dass die am häufigsten auf Rang 1 gewählte HMI Variante 3 mit der Sprachausgabe und HMI Variante 2 mit dem Piepton hinsichtlich der pragmatischen Qualität gleich gut beurteilt wurden. Allerdings fiel die Beurteilung der hedonischen Qualität der HMI Variante 3 mit Sprachausgabe gegenüber der HMI Variante 2 mit Piepton positiver aus. Die HMI Variante 1 ohne akustisches Signal wurde in allen Kategorien am besten beurteilt. Allerdings wurde diese Variante von nur einer Person auf Rang 1 gewählt und bewertet.

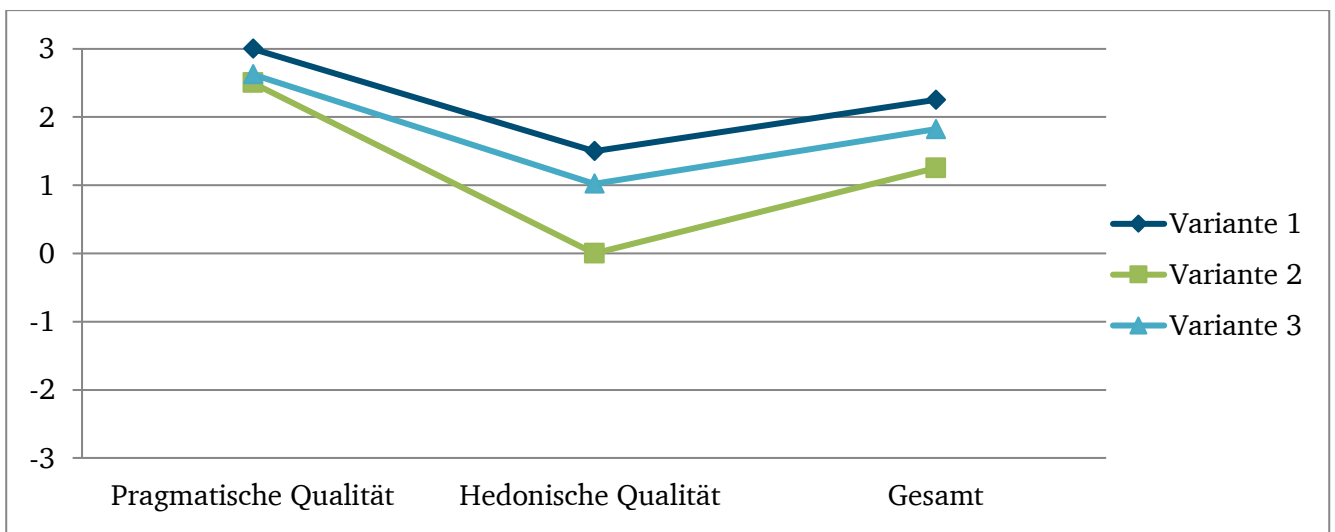


Abbildung 33: User Experience der HMI Varianten für Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (Variante 1: N=1, Variante 2: N=6, Variante 3: N=12)

Die Ergebnisse zum Systemvertrauen in Abbildung 34 zeigen, dass die Nachvollziehbarkeit, die Erkennbarkeit des Systemzustands und die Situationseinschätzung für mehr als 80 % der Probanden mit der HMI Variante 3 mit Sprachausgabe, die von den meisten Probanden im Szenario Autobahnabfahrt favorisiert wurde, sehr gut möglich waren. Die Antizipation des nächsten Manövers war mit dieser HMI Variante für ca. 40 % der Probanden sehr gut, für ca. 60 % der Probanden gut möglich.

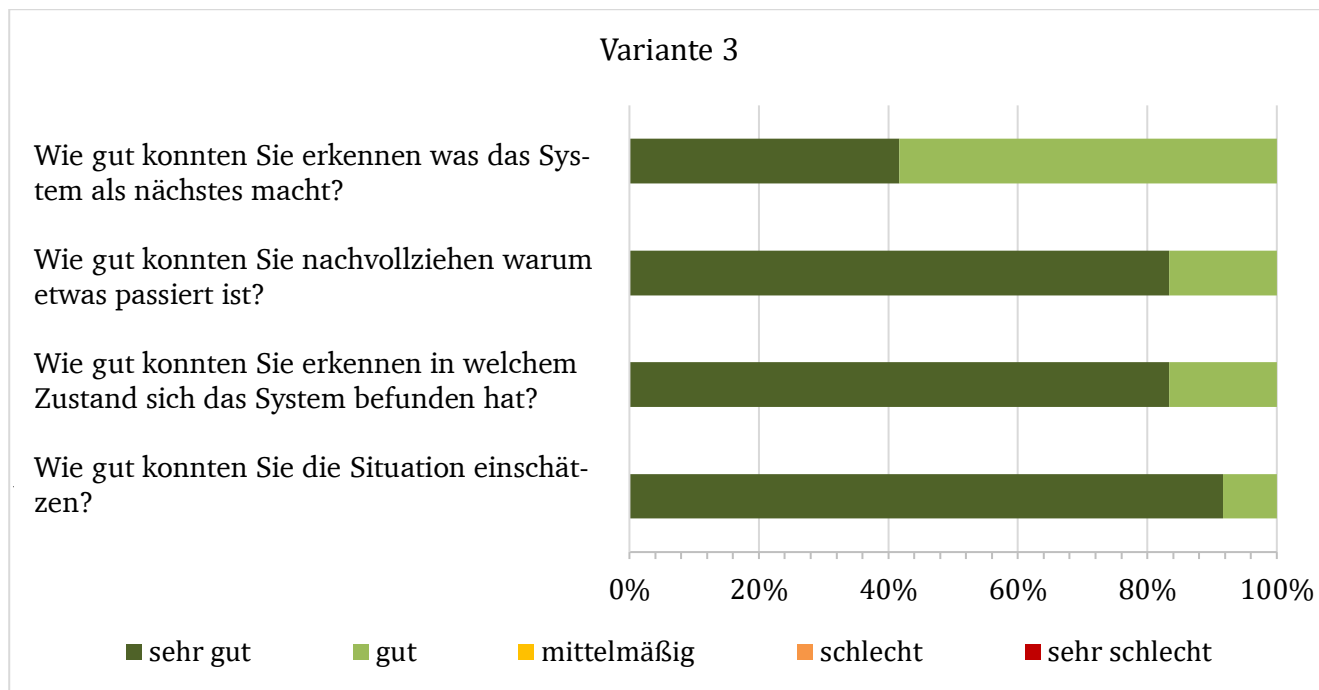


Abbildung 34: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Autobahnabfahrt (unkritische Situation ohne Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II (Variante 3: N=12)

Fußgängerüberweg - kritische Situation ohne Handlungsbedarf

Wie in Abbildung 35 zu sehen ist, ergibt die Beurteilung der HMI Varianten hinsichtlich Nützlichkeit und Komfort im Szenario Fußgängerüberweg im Vergleich zum Szenario Autobahnabfahrt ein weniger eindeutiges Bild. Die HMI Variante 3 mit der Sprachausgabe wurde auf der Skala der Nützlichkeit am besten beurteilt. Dies wurde auch hier mit dem hohen Informationsgehalt der Sprachausgabe begründet. Die HMI Variante 1 ohne akustisches Signal wurde auf der Skala des Komforts am besten bewertet. Diesbezüglich wurde angemerkt, dass ein akustisches Signal auf Strecken eines hohen Verkehrsaufkommens wie bspw. einer Stadtfahrt störend sein könnte.

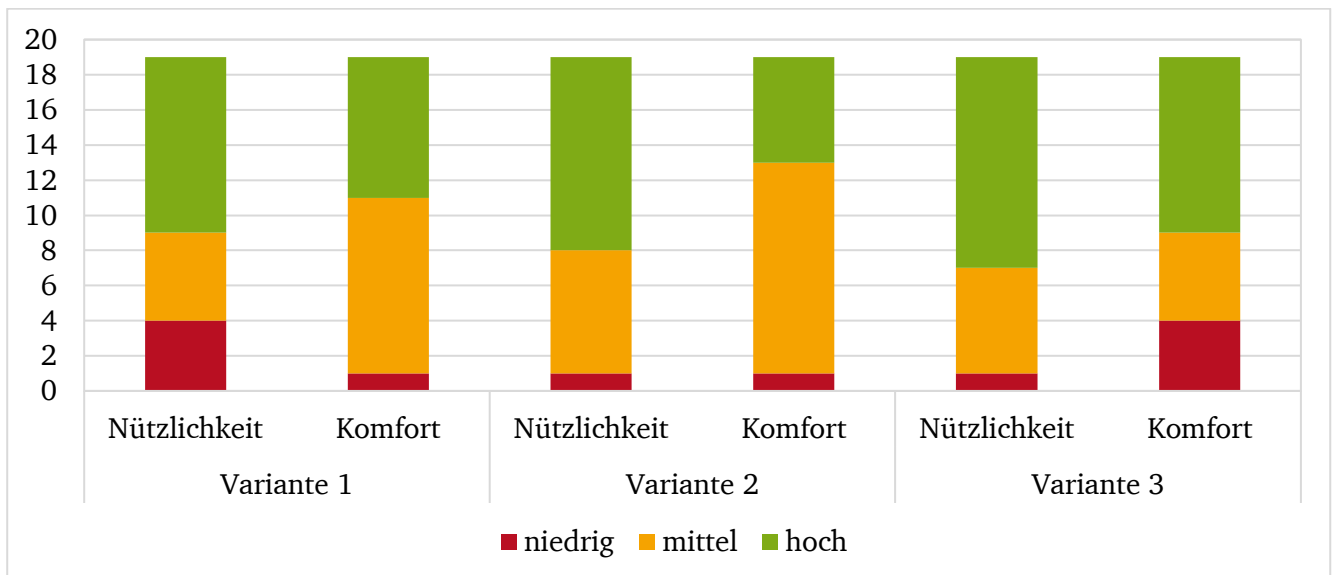


Abbildung 35: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

Wie in Abbildung 36 zu sehen ist, wurde auch hier die HMI Variante 3 mit der Sprachausgabe von der Mehrheit der Probanden auf Rang 1 und die HMI Variante 1 ohne akustisches Signal auf Rang 3 gewählt. In Verbindung mit der Nützlichkeits- und Komfortbewertung in Abbildung 35 ist daraus zu schließen, dass die Nützlichkeit eines HMI für die über 55-Jährigen einen höheren Stellenwert hat als der Komfort.

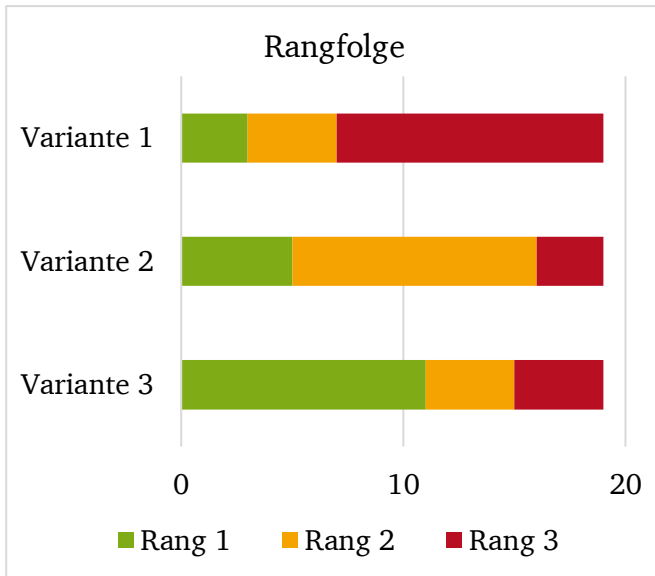


Abbildung 36: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

(Bestimmung der am besten bewerteten HMI Variante durch Vergleich der erzielten Score-Werte der HMI Varianten:
 $Score-Wert_{1-3} = n_{Rang1} \times 3 + n_{Rang2} \times 2 + n_{Rang3} \times 1$)

Wie in Abbildung 37 zu sehen ist, wurden die am häufigsten auf Rang 1 gewählte HMI Variante 3 mit der Sprachausgabe und die HMI Variante 1 ohne akustisches Signal hinsichtlich der pragmatischen Qualität gleich gut beurteilt. Allerdings fiel die Beurteilung der hedonischen Qualität der HMI Variante 1 ohne akustisches Signal gegenüber der HMI Variante 3 mit Sprachausgabe leicht positiver aus. Die HMI Variante 2 mit Piepton wurde in allen Kategorien deutlich schlechter beurteilt.

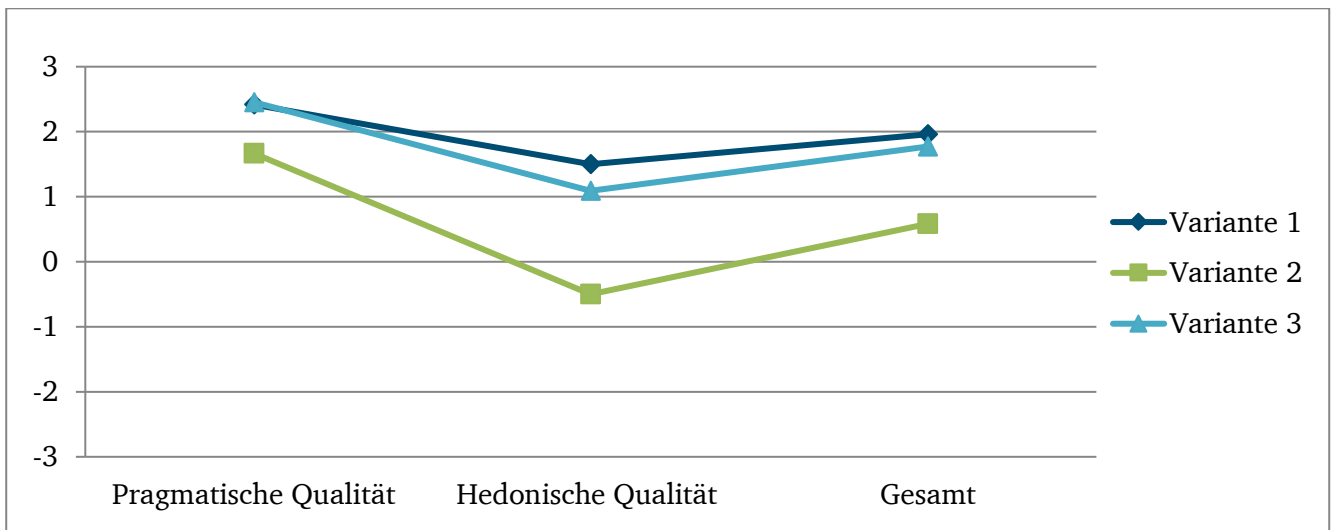


Abbildung 37: User Experience der HMI Varianten für Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) – Befragung II (Variante 1: N=3, Variante 2: N=5, Variante 3: N=11)

Die Ergebnisse zum Systemvertrauen in Abbildung 38 zeigen, dass die Nachvollziehbarkeit, die Erkennbarkeit des Systemzustands und die Situationseinschätzung für mehr als 80 % der Probanden mit der HMI Variante 3 mit Sprachausgabe, die von den meisten Probanden im Szenario Fußgängerüberweg favorisiert wurde, sehr gut möglich waren. Die Antizipation des nächsten Manövers war mit dieser HMI Variante für ca. 60 % der Probanden sehr gut, für ca. 40 % der Probanden gut und mittelmäßig möglich.

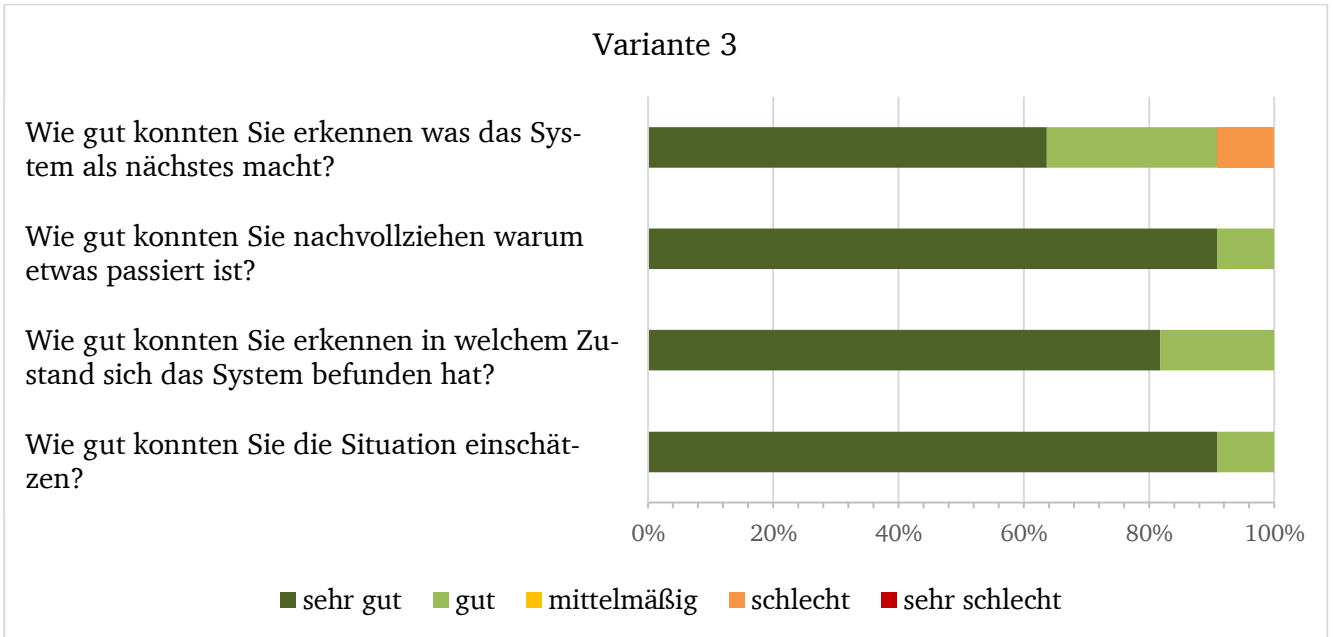


Abbildung 38: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Fußgängerüberweg (kritische Situation ohne Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II (Variante 3: N=11)

Raststätte - unkritische Situation mit Handlungsbedarf

Wie in Abbildung 39 zu erkennen ist, wurde im Raststättenszenario die HMI Variante 2 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen in Bezug auf Nützlichkeit und Komfort am besten beurteilt. Das zusätzliche Blinken gelbgefärbter Elemente in HMI Variante 3 wurde von den Probanden als zu aufdringlich und angesichts der niedrig empfundenen Kritikalität der Situation als übertrieben wahrgenommen. Alle drei HMI Varianten wurden auf der Skala der Nützlichkeit besser bewertet als auf der Skala des Komforts.

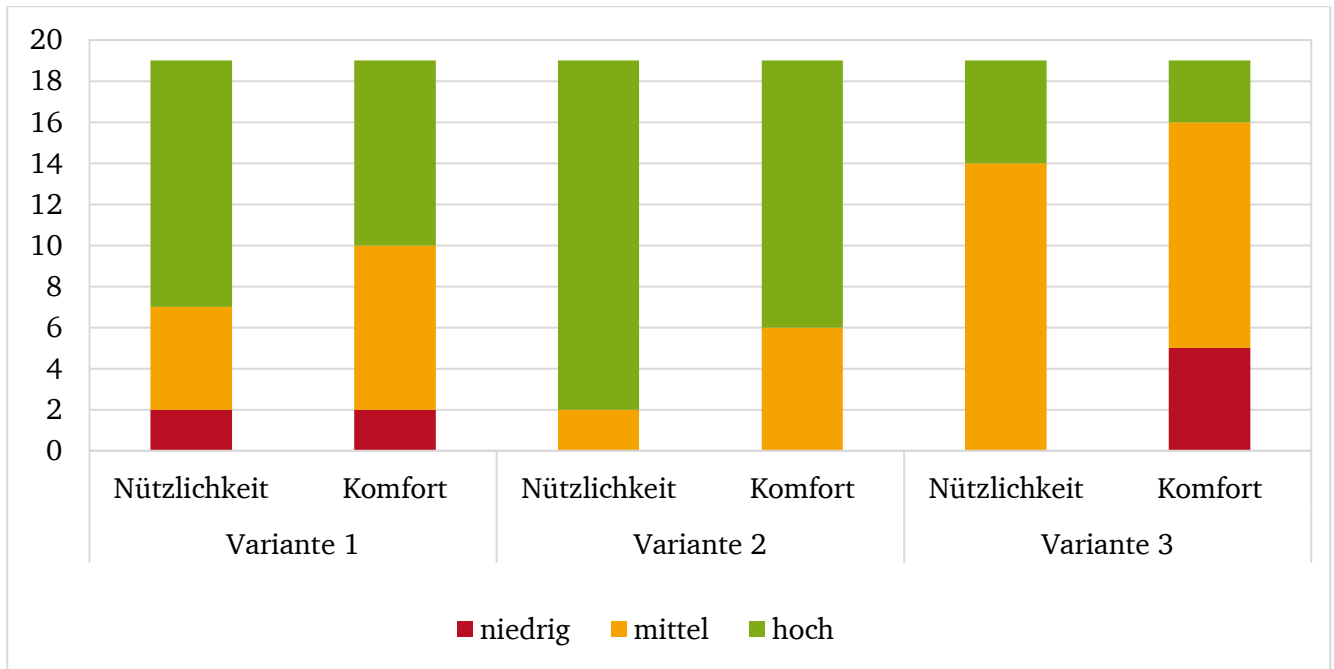


Abbildung 39: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

Wie in Abbildung 40 zu sehen ist, wurde entsprechend der Bewertung von Nützlichkeit und Komfort die HMI Variante 2 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen von der Mehrheit der Probanden auf Rang 1 bzw. 2 gewählt. Ein uneinheitliches Bild ergab sich in Bezug auf HMI Variante 3 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen und Blinken: Diese wurde von 8 Probanden auf Rang 1, von 8 Probanden auf Rang 3 platziert.

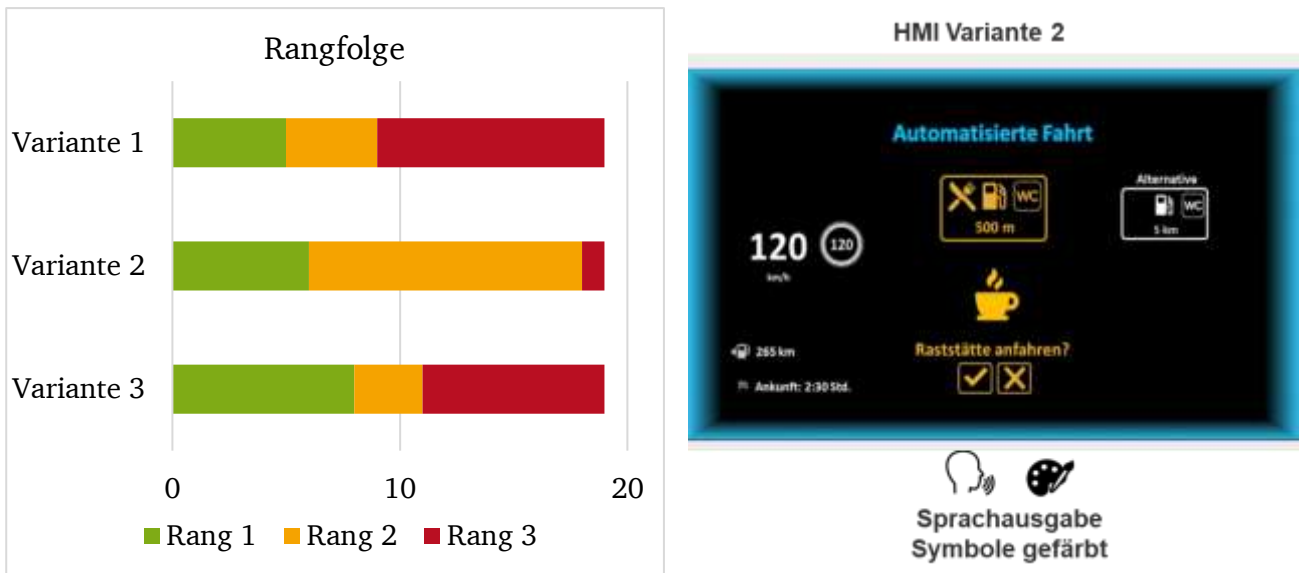


Abbildung 40: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

(Bestimmung der am besten bewerteten HMI Variante durch Vergleich der erzielten Score-Werte der HMI Varianten:
 $Score-Wert_{1-3} = n_{Rang1} \times 3 + n_{Rang2} \times 2 + n_{Rang3} \times 1$)

Die Ergebnisse des Short User Experience Questionnaire in Abbildung 41 zeigen kaum Unterschiede in der Bewertung der HMI Varianten bezüglich pragmatischer und hedonischer Qualität. Hinsichtlich der pragmatischen Qualität wurde HMI Variante 2 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Information tendentiell schlechter beurteilt. Hinsichtlich der hedonischen Qualität wurde jedoch HMI Variante 3 mit Gelbfärbung und Blinken der mittig positionierten zentralen Informationen schlechter bewertet.

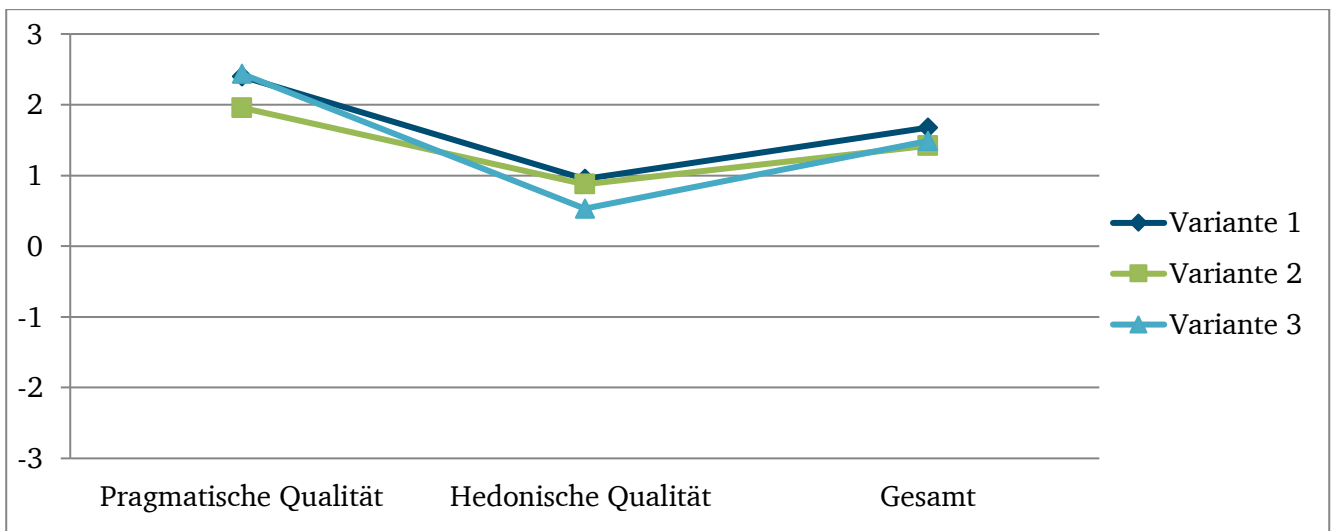


Abbildung 41: User Experience der HMI Varianten für Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (Variante 1: N=5, Variante 2: N=6, Variante 3: N=8)

Die Ergebnisse zum Systemvertrauen in Abbildung 42 zeigen, dass die Nachvollziehbarkeit, die Erkennbarkeit des Systemzustands und die Situationseinschätzung für mehr als 60 % der Probanden mit der HMI Variante 2 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen, die von den meisten Probanden im Szenario Raststätte favorisiert wurde, sehr gut möglich waren. Die Antizipation des nächsten Manövers war mit dieser HMI Variante für 50 % der Probanden sehr gut, für 50 % der Probanden gut und mittelmäßig möglich.

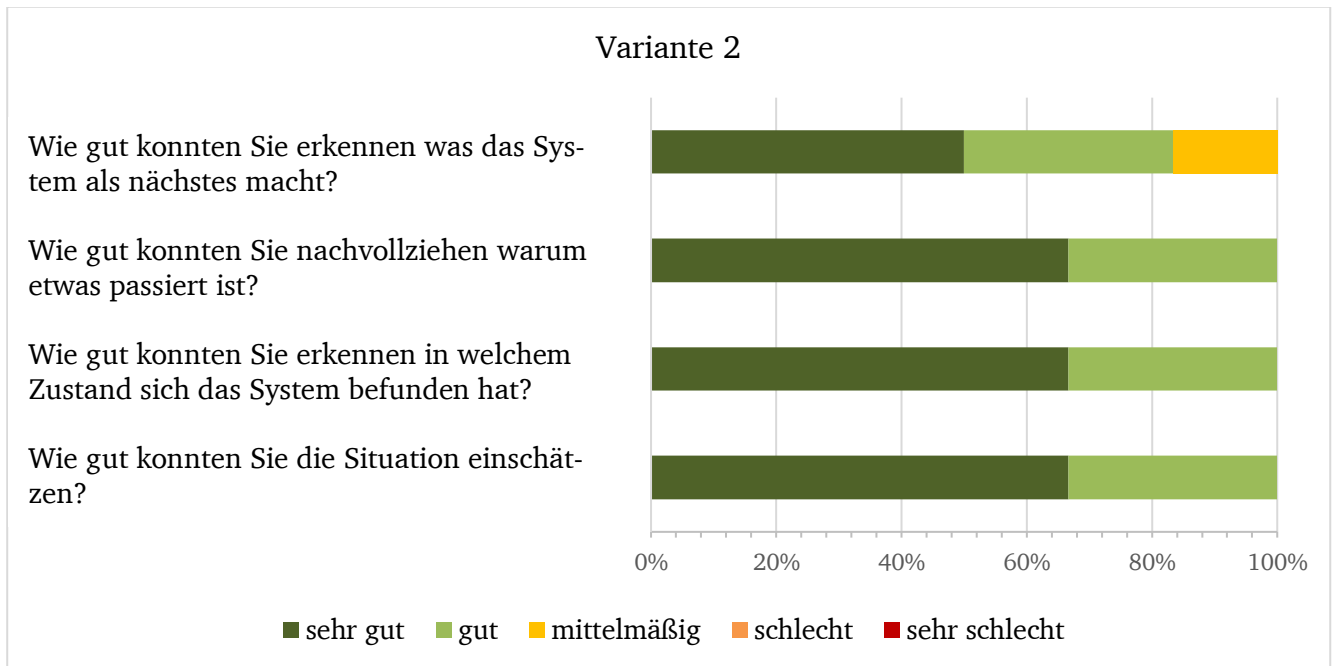


Abbildung 42: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Raststätte (unkritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 2 – Befragung II (Variante 2: N=6)

Baustelle inkl. TOR - kritische Situation mit Handlungsbedarf

Wie in Abbildung 43 zu sehen ist, wurden beim Szenario Baustelle inkl. TOR alle HMI Varianten nahezu identisch beurteilt. Lediglich die Nützlichkeit der HMI Variante 3 mit Rotfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen und Blinken wurde gegenüber den anderen beiden Varianten – der HMI Variante 1 ohne Färbung und ohne Blinken und der HMI Variante 2 mit Gelbfärbung und ohne Blinken – besser beurteilt. Den Aussagen der Probanden zufolge, würden die Rotfärbung und das Blinken die Dringlichkeit der Handlungsaufforderung codieren und damit zu einer zügigen Kontrollübernahme beitragen.

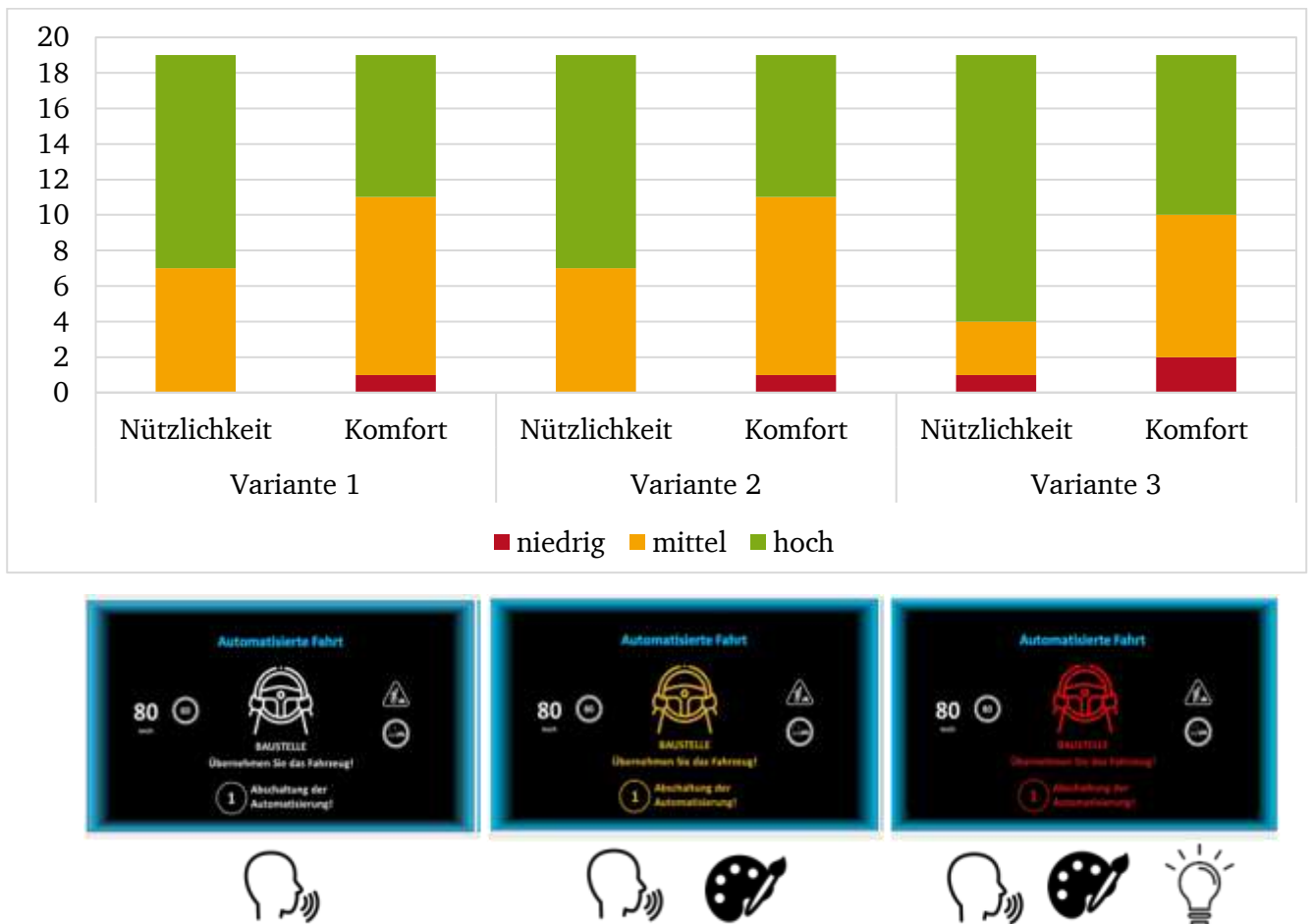


Abbildung 43: Nützlichkeit/Komfort der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

Die in Abbildung 44 dargestellte Rangfolge der HMI Varianten zeigt, dass die HMI Varianten 2 und 3 ähnlich häufig von den Probanden bevorzugt wurden. Daher ist die Codierung der Handlungsaufforderung durch eine farbliche Markierung zu empfehlen. Sowohl die Farbwahl als auch der Einsatz dynamischer Elemente sollte genutzt werden, um die Dringlichkeit eines Handlungsbedarfs zu vermitteln.

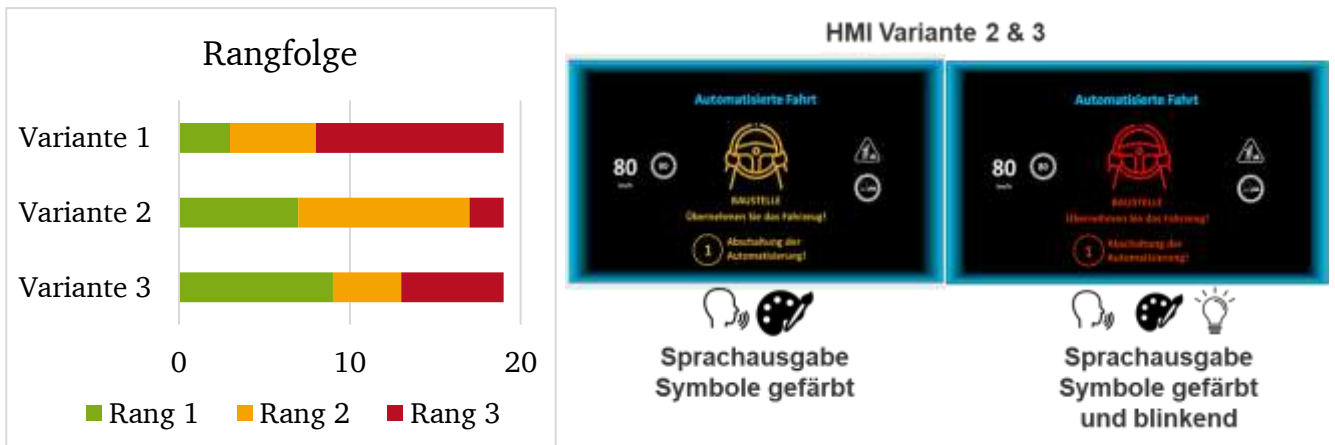


Abbildung 44: Rangfolge der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (N=19)

(Bestimmung der am besten bewerteten HMI Variante durch Vergleich der erzielten Score-Werte der HMI Varianten:
 $\text{Score-Wert}_{1-3} = n_{\text{Rang1}} \times 3 + n_{\text{Rang2}} \times 2 + n_{\text{Rang3}} \times 1$)

Die Ergebnisse des Short User Experience Questionnaire zeigen kaum Unterschiede in der Bewertung der HMI Variante 2 mit Gelbfärbung und HMI Variante 3 mit Rotfärbung und Blinken der mittig positionierten zentralen Informationen bezüglich pragmatischer und hedonischer Qualität (siehe Abbildung 45). Hinsichtlich der pragmatischen Qualität wurde HMI Variante 1 ohne Hervorhebung der zentralen Informationen schlechter beurteilt als die anderen beiden HMI Varianten. Bezüglich der hedonischen Qualität wiederum bestehen kaum Unterschiede in der Bewertung der drei HMI Varianten.

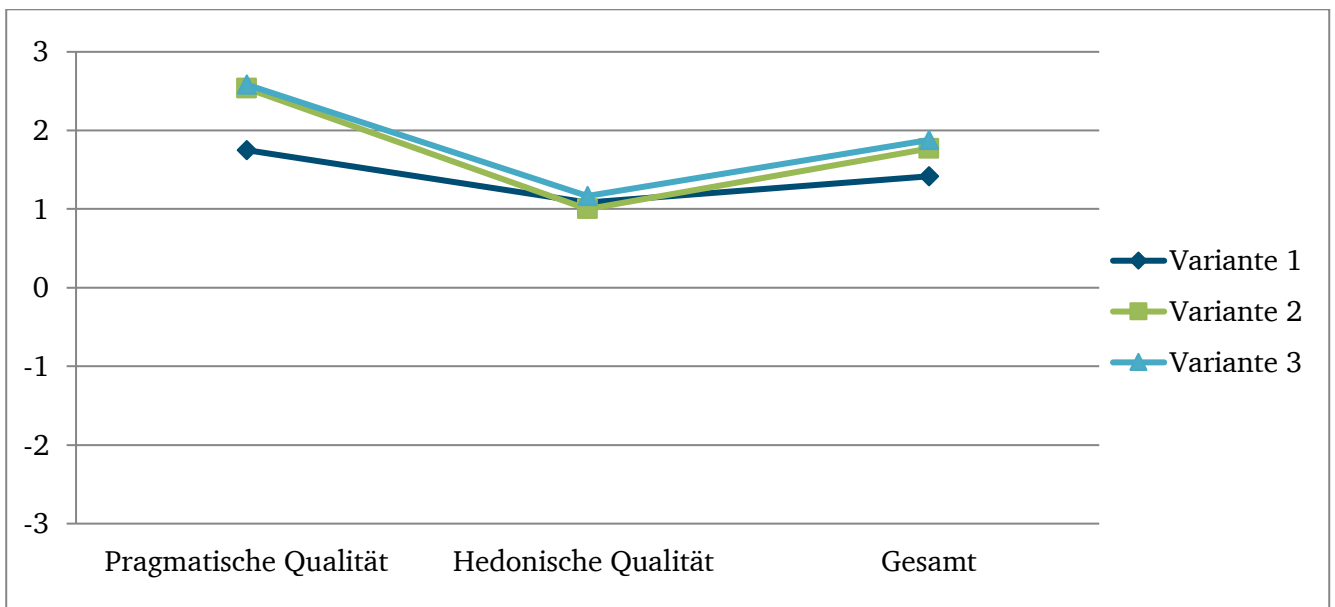


Abbildung 45: User Experience der HMI Varianten für Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) – Befragung II (Variante 1: N=3, Variante 2: N=7, Variante 3: N=9)

Die Ergebnisse zum Systemvertrauen für die von den Probanden im Szenario Baustelle inkl. TOR präferierten HMI Varianten 2 und 3 sind in Abbildung 46 und Abbildung 47 dargestellt. Sowohl die Nachvollziehbarkeit, die Erkennbarkeit des Systemzustands, die Situationseinschätzung als auch die Antizipation des nächsten Manövers waren bei HMI Variante 2 mit Gelbfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen besser möglich als bei HMI Variante 3 mit Rotfärbung der mittig positionierten zentralen Informationen und Blinken.

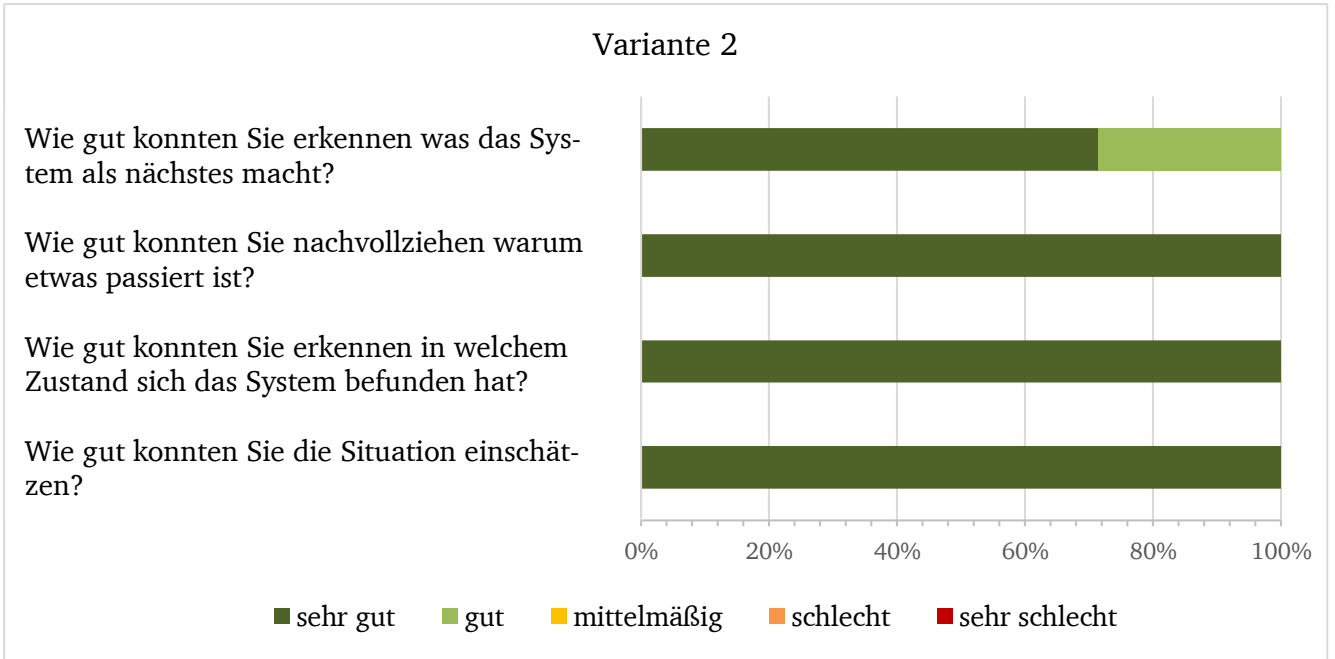


Abbildung 46: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 2 – Befragung II (Variante 2: N=7)

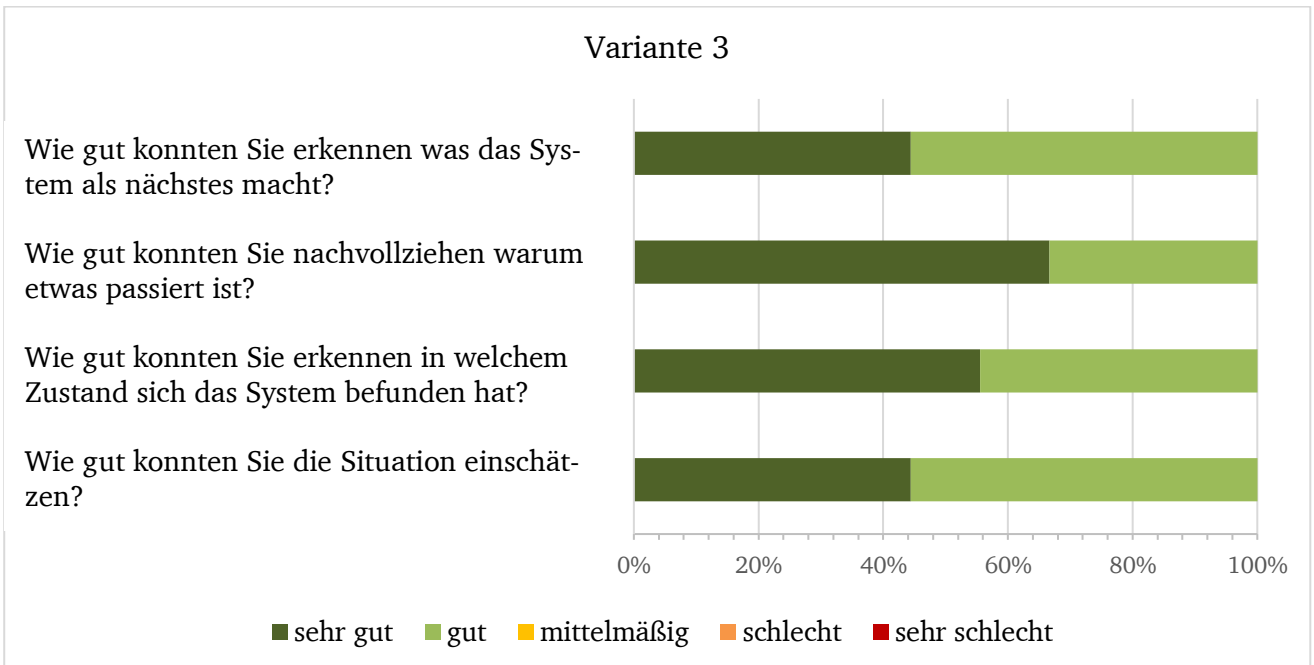


Abbildung 47: Fragen zum Systemvertrauen beim Szenario Baustelle inkl. TOR (kritische Situation mit Handlungsbedarf) mit HMI Variante 3 – Befragung II (Variante 3: N=9)

Gestaltungshinweise Befragung II

In den folgenden Tabellen (Tabelle 9 - Tabelle 18) sind die aus den Interviews der zweiten Befragungsrunde abgeleiteten Gestaltungshinweise gelistet, die in den Anforderungskatalog aufgenommen wurden und zur abschließenden Überarbeitung der HMI Gestaltungsvorschläge dienten. Die erste Tabellenspalte enthält den Gestaltungshinweis, die zweite Tabellenspalte eine nähere Beschreibung und Erläuterung des Gestaltungshinweises, die dritte Tabellenspalte beschreibende Zitate aus den Interviews.

Tabelle 9: Gestaltungshinweise: Redundanz der Information – Befragung II

Redundanz der Information		
Kombination aus wachsamkeits-erregenden & erklärenden Hinweisen nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination aus wachsamkeitserregendem akustischem oder taktilem Signal und erklärenden Hinweisen im Display, da Änderungen im Display ohne wachsamkeitserregendes Signal nicht wahrgenommen werden • redundanter Einsatz der Sprachausgabe zur visuellen Informationsbereitstellung ist hilfreich um die visuelle Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken 	
visuelle Modalität als Backup nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Neben dem akustischen Signal und der Umgebung als primäre Informationsquellen kann die visuelle Anzeige als sekundäre Informationsquelle bzw. Back-up eine große Vielfalt an Informationen enthalten 	"das Display enthält sehr viele Informationen aber ich habe in dieser Situation (Autobahnabfahrt) ja Zeit mir diese anzuschauen deshalb ist das gut so"
bei redundantem Einsatz verschiedener Modalitäten auf die Konsistenz der Information achten	<ul style="list-style-type: none"> • Im Fall einer multimodalen Ausgestaltung durch die Kombination von sprachlicher und visueller Modalität ist darauf zu achten, dass die übermittelten Informationsinhalte redundant sind 	"Angaben auf Display und Ansage konsistent gestalten. Nicht "Stopp" auf dem Display im Vergleich zu " Bremsung eingeleitet" als Sprachansage"

Tabelle 10: Gestaltungshinweise: Informationsinhalt – Befragung II

Informationsinhalt		
Transparenz & Nachvollziehbarkeit erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Informationen bzgl. des Fahrzeugstatus bereitstellen • Informationen bzgl. der Verkehrssituation und -bedingungen bereitstellen • Hintergründe der Kontrolltransition kommunizieren • Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer kommunizieren 	"keine Ankündigung, dass das Fahrzeug Fußgänger/Radfahrer erkannt hat, könnte unsicher machen"
Feedback geben	<ul style="list-style-type: none"> • Feedback zum erfolgreichen Abschluss der Kontrolltransition geben • Zeitpunkt der Automatisierungsdeaktivierung und Verantwortungsübergabe kommunizieren • Feedback zur erfolgreichen Eingabe des Fahrenden geben 	„Feedback zur Übergabe über eine intuitiv verständliche Abwärtsmelodie,“ "Änderung der Farbe nachdem die Eingabe erfolgt ist, dass die nächste Raststätte angefahren werden soll"
auf konsistenten Informationsinhalt in verschiedenen Situationen achten	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsinhalt über verschiedenen Situationen hinweg konsistent gestalten 	"entweder konsequent alle Manöver des Fahrzeugs ankündigen oder nicht"
Erwartungshaltung schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Vor einer Manöveränderung diesbezüglich Informationen bereitstellen, um eine Erwartungshaltung zu schaffen 	"Keine Warnung würde beim Abfahren/Richtungswechsel zum Aufschrecken führen"
bei redundantem Einsatz verschiedener Modalitäten auf die Konsistenz der Information achten	<ul style="list-style-type: none"> • Bei multimodaler Ausgestaltung durch die Kombination von sprachlicher und visueller Modalität beachten, dass die übermittelten Informationsinhalte redundant sind 	"Angaben auf Display und Ansage konsistent gestalten. Nicht "Stopp" auf dem Display im Vergleich zu "Bremsung eingeleitet" als Sprachansage"
selbstbestimmtes, verantwortungsvolles und effizientes Handeln ermöglichen	<ul style="list-style-type: none"> • Personen- und situationsbezogene Informationen bereitstellen, um den Fahrenden eine effiziente selbstbestimmte und verantwortungsvolle Entscheidung und Handlung zu ermöglichen • Bevormundung vermeiden 	"Hinweise auf Müdigkeit, Tankfüllung und verbleibende Zeit bis zum Ziel sind gut aber das System sollte nicht übergriffig werden und mich bevormunden"

Tabelle 11: Gestaltungshinweise: Wahl der Modalität – Befragung II

Wahl der Modalität		
Differenzierung zwischen Primär- & Sekundärinformationen	<ul style="list-style-type: none"> Die Primärinformation sollte visuell und akustisch über Sprachausgabe mitgeteilt werden, die Sekundärinformation nur visuell 	
Möglichkeit zur Individualisierung und Profileinstellung geben	<ul style="list-style-type: none"> Möglichkeiten zur Einstellung visueller und akustischer Features vorsehen Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Profilen vorsehen, um personenbezogener Faktoren, Präferenzen und Gewohnheiten zu berücksichtigen 	<p>"z.B. Möglichkeit zur Zu-/Abschaltung von Sprache und Ton geben oder Individualisierung der Stimme ermöglichen,,</p> <p>"Möglichkeit zum Profileinstellen sollte gegeben sein ohne sich als Angsthase outen zu müssen"</p>
Anpassung der Kommunikation an den Erfahrungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen	<p>Die Wahl der Modalität ist abhängig vom Erfahrungsgrad des Fahrenden mit Automatisierten Fahrzeugen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Zu Beginn ist die Sprachausgabe zur akustischen Informations-übermittlung zu bevorzugen Wenn Vertrauen gefasst wurde ist der Ton als akustisches Signal oder auch die Kommunikation ohne akustisches Signal nur über die visuelle Modalität denkbar 	<p>"Am Anfang ist die Sprache gut aber mit zunehmendem Vertrauen nervt alles was eigentlich nur bestätigt, dass etwas ok ist und keine Aktivität erfordert"</p>
optimale Aufmerksamkeitsregulierung ermöglichen	<ul style="list-style-type: none"> selbstbestimmte Aufmerksamkeitsverteilung zwischen NDRT und HMI ermöglichen 	<p>"bei visueller beanspruchender NRDT Signal über Sprachausgabe um zu ermöglichen, dass bei näherem Interesse die NDRT selbstbestimmt unterbrochen werden kann"</p>
Anpassung der Kommunikation an die ausgeführte NDRT	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung der Interferenz der beanspruchten Sinneskanäle, zur Sicherstellung der Wahrnehmung und Vermeidung der kognitiven Überlastung 	<p>"Sprachansage sicherlich wirksam, bei akustischer fahrfremder Tätigkeit aber lästig"</p> <p>"Wahrnehmung des Tons bei lautem Musikhören muss sichergestellt sein"</p>

Tabelle 12: Gestaltungshinweise: Visuelle Informationsdarbietung (Teil 1) – Befragung II

Visuelle Informationsdarbietung		
Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Manövers erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> Hintergründe der Kontrolltransition transparent und nachvollziehbar im Display darstellen 	
Herstellung eines unmittelbaren Situationsverständnisses unterstützen	<ul style="list-style-type: none"> Informationen die zur Erfassung der Ist-Situation relevant sind, im Display hervorheben 	"Straßenschilder sollten hervorgehoben werden um die Situation schneller erfassen zu können"
Differenzierung zwischen Primär- & Sekundärinformationen	<ul style="list-style-type: none"> Primärinformation und Sekundärinformation über das Display mitteilen die Primärinformation von der Sekundärinformation über Position, Farbgebung, Blinken und/oder Größe auf dem Display abgrenzen 	
auf konsistenten Informationsinhalt in verschiedenen Situationen achten	<ul style="list-style-type: none"> einheitliche Gestaltung und Anordnung der Informationselemente über verschiedenen Situationen hinweg 	"Die Anordnung der Informationen auf dem Display sollte bei Raststätte & TOR gleich sein, das würde die Orientierung erleichtern"
Kombination aus wachsamkeits-erregenden & erklärenden Hinweisen nutzen	<ul style="list-style-type: none"> Wachsamkeitserregende Hinweise über rote Farbe und Blinken von erklärenden Hinweisen abgrenzen 	
Orientierungshilfen abhängig vom Erfahrungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen bieten	<ul style="list-style-type: none"> Orientierungshilfen durch Farbgebung und/oder Blinken für Fahrenden mit wenig Erfahrung mit automatisierten Fahrzeugen bieten 	
geringe Anzahl verschiedener Farben verwenden	<ul style="list-style-type: none"> Eine zu hohe Anzahl verschiedener Farben vermeiden 	"also ich würde es auch nicht wollen, wenn das jetzt alles so ganz viel wäre und würde meine Aufmerksamkeit so darauf lenken, welche Farbe was bedeutet."
Wahl der Farbe	<ul style="list-style-type: none"> Kombination aus blau und gelb ist aufgrund der Wellenlänge irritierend für das Auge beachten, dass rote oder grüne Farbe bereits bewertend sind gelbe Farbe wird im Vergleich zur roten Farbe als weniger aufmerksamkeits-erregend empfunden Gelb ist angenehm und lenkt den Blick auf die Information. Rot als Eskalationsstufe nutzen Rot ist schlecht zu lesen und unangenehm 	
Verständlichkeit sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> einfache und für jeden verständliche Sprache wählen Fachbegriffe vermeiden 	

Tabelle 13: Gestaltungshinweise: Visuelle Informationsdarbietung (Teil 2) – Befragung II

Visuelle Informationsdarbietung		
Berücksichtigung von und Rückgriff auf erlernte Assoziationen	<ul style="list-style-type: none"> • Effizienz durch Rückgriff auf erlernte Assoziationen ist wichtiger als Originalität • etablierten Bedeutung bereits bekannter Gestaltungselemente berücksichtigen 	"Alles was modern ist, muss nicht gut sein, muss erst gelernt werden,, "Blinken nicht passend, da Blinken Achtung, irgendetwas ist kaputt oder ist am Kaputtgehen bedeutet, wenn etwas im Kombiinstrument blinkt, ist es meist nicht gut"
Abwägung zwischen Komfort und Sicherheitsaspekten	<ul style="list-style-type: none"> • sparsamer Einsatz der gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken), da dieser bei zu hoher Signalfrequenz als störend empfunden wird und die Gefahr von Gewohnheitseffekten und einer geringen Akzeptanz besteht • auf gezielten Einsatz einer gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken) in relevanten Situationen achten 	
Berücksichtigung von Dispositions- und Qualifikationsmerkmalen	<ul style="list-style-type: none"> • ausführlichere Sprachansage für unroutinierte Fahrer • altersbedingte Leistungsdefizite berücksichtigen (evtl. Notwendigkeit verschiedener Profile) 	"Am Anfang ist die Sprache gut aber mit zunehmendem Vertrauen nervt alles was eigentlich nur bestätigt, dass etwas ok ist und keine Aktivität erfordert"

Tabelle 14: Gestaltungshinweise: Akustische Informationsdarbietung – Befragung II

Akustische Informationsdarbietung		
Sprachausgabe gegenüber Ton bevorzugen	<ul style="list-style-type: none"> • Sprachausgabe aufgrund ihres höheren Informationsgehalts gegenüber dem Ton bevorzugen, um Komfort sowie Sicherheitsempfinden zu erhöhen • Übermittlung einer Handlungsaufforderung über Sprachausgabe 	"Bei der Sprache weiß ich sofort was los ist, beim Ton muss ich mich erst orientieren, das verunsichert,, "Beim TOR ist die Sprache wichtiger als die Anzeige auf dem Bildschirm, bei der Raststätte ist sie auch hilfreich, könnte aber auch nervig sein"
Berücksichtigung von und Rückgriff auf erlernte Assoziationen	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung der etablierten Bedeutung bereits bekannter Tonfolgen 	"Alles was modern ist, muss nicht gut sein, muss erst gelernt werden"
Verständlichkeit sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • einfache und für jeden verständliche Sprache wählen • Fachbegriffe vermeiden 	
Abwägung zwischen Komfort und Sicherheitsaspekten	<ul style="list-style-type: none"> • sparsamer Einsatz der gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken, Lautstärke und Häufigkeit), da dieser bei zu hoher Signalfrequenz als störend empfunden wird und die Gefahr von Gewohnheitseffekten und einer geringen Akzeptanz besteht • auf gezielten Einsatz einer gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken, Lautstärke und Häufigkeit) in relevanten Situationen achten 	
Berücksichtigung von Persönlichkeitsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • ängstlichen, unsicheren Fahrenden die Möglichkeit geben eine ausführlichere Sprachansage zu wählen 	

Tabelle 15: Gestaltungshinweise: Kombination verschiedener Modalitäten – Befragung II

Kombination verschiedener Modalitäten		
Kombination der visuellen und sprachlichen Modalität anwenden	<ul style="list-style-type: none"> • einfache und für jeden verständliche Sprache wählen • Fachbegriffe vermeiden 	"Die Kombination aus Sprache, Text, Farbe und Blinken ist zu viel,,
Kognitive Überlastung vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> • einfache und für jeden verständliche Sprache wählen • Fachbegriffe vermeiden 	"Lieber kurze Schlagworte wie "Achtung Zebrastreifen" oder "Achtung Vorfahrt" verwenden, es ist klar, dass das Fahrzeug bremst, wenn ein Fußgänger erkannt wurde"

Tabelle 16: Gestaltungshinweise: Differenzierung nach Art der Mitteilung – Befragung II

Differenzierung nach Art der Mitteilung		
Differenzierung nach dem Streckentyp	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation an die Bekanntheit des Streckenabschnittes anpassen, sodass auf unbekanntem Strecken umfangreichere Informationen bereitgestellt werden • Kommunikation an die Verkehrsdichte des Streckenabschnittes anpassen, sodass auf Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden 	<p>„nähere Informationen zur Route, zu Verkehrsregeln, zu Raststätten etc.“</p> <p>„um Ablenkung zu vermeiden, wenn der Fahrende den Blick auf das Verkehrsgeschehen gerichtet hat“</p>
Codierung von Dringlichkeit/Kritikalität der Aufforderung	Dringlichkeit und Kritikalität des Handlungsbedarfs durch farbliche und/oder dynamische (z.B. blinkende) Elemente kennzeichnen	"die Rote Schrift sollte nur bei einer kritischen Übergabe oder als Eskalationsstufe genutzt"
Gestaltungselemente für auffordernde Hinweise verwenden	<p>Nutzung einer höheren Gestaltungsintensität für auffordernde Hinweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Sprachausgabe hat eine auffordernde Wirkung • Eine farbliche Markierung hat eine auffordernde Wirkung • Eine dynamische Gestaltung hat eine auffordernde Wirkung 	
Differenzierung zwischen optionalem und zwingenden Charakter	<p>Nutzung einer höheren Gestaltungsintensität für auffordernde Hinweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Sprachausgabe hat eine zwingende Wirkung • Eine farbliche Markierung sowie eine dynamische Gestaltung haben einen zwingenden Charakter. 	

Tabelle 17: Gestaltungshinweise: Differenzierung nach der Kritikalität – Befragung II

Differenzierung nach der Kritikalität		
Anpassung der Kommunikationsintensität an die empfundene Kritikalität des Verkehrsszenarios	<ul style="list-style-type: none"> • In kritisch empfundenen Situationen wird eine höhere akustische und visuelle Intensität gefordert • Eine zu hohe Intensität kann allerdings in unkritisch empfundenen Situationen irritieren und verunsichern 	"Bei der Kontrollübergabe ist die rote Farbe und das Blinken gut, weil das ja eine kritische Situation ist. Bei der Raststätte ist das Blinken aber völlig übertrieben, das stresst mich eher, obwohl ja eigentlich nichts kritisches passiert"

Tabelle 18: Gestaltungshinweise: Differenzierung nach der Komplexität – Befragung II

Differenzierung nach der Komplexität		
Anpassung der Kommunikation an die Verkehrsdichte der Strecke	<ul style="list-style-type: none"> • Hinweis vor Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte, um die Anpassung der Aufmerksamkeit an die bevorstehende Verkehrssituationen zu ermöglichen und häufige Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und HMI zu vermeiden • Kommunikation an die Verkehrsdichte des Streckenabschnittes anpassen, sodass auf Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden 	"akustisches Signal vor der Stadteinfahrt, dann würde die Aufmerksamkeit komplett der Fahrsituation gewidmet werden und kein akustisches Signal mehr erforderlich sein"
Anpassung der Kommunikation an die Bekanntheit der Strecke	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation an die Bekanntheit des Streckenabschnittes anpassen, sodass auf bekannten Streckenabschnitte weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden als auf unbekanntem Streckenabschnitten 	

3.4.4 Fazit

Zusammenfassend bestätigt die Auswertung der zweiten Befragungsrunde das Ergebnis der ersten Befragungsrunde dahingehend, dass zum einen die Vertrautheit der zu fahrenden Strecke und zum anderen die Komplexität und Kritikalität einer Situation sowie der Handlungsbedarf durch den Fahrer den Bedarf an adaptiven oder adaptierbaren Gestaltungen prägen. Es sind daher situationsspezifische Gestaltungslösungen zu empfehlen, die sich in den betrachteten Gestaltungsdimensionen, unter Berücksichtigung der grundlegenden Gestaltungsempfehlung, unterscheiden.

In Situationen mit und ohne Handlungsbedarf sollte unabhängig von der Situationskritikalität eine möglichst realitätsnahe Abbildung der Umgebung auf dem Display sowie ein akustischer Hinweis bei einer Richtungsänderung gegeben werden. In Situationen mit Handlungsbedarf ist eine Kommunikation der Handlungsaufforderung über eine Sprachausgabe in jedem Fall zu empfehlen. Relevante Informationen sowie die Dringlichkeit der Handlungsaufforderung sollten entweder über eine farbliche Codierung oder über eine dynamische Gestaltung einzelner Elemente vermittelt werden.

Neben der Situation bestimmt auch die Erfahrung der Fahrer mit automatisierten Fahrzeugen die HMI Gestaltung. Automationsanfänger:innen fordern eine Gestaltungslösung mit einem hohen auditiven Informationsgehalt wie bspw. einer ausführlichen Sprachausgabe. Mit steigender Erfahrung können sich die über 55-Jährigen sich auch eine HMI Variante mit einem Piepton oder ohne akustisches Signal vorstellen.

Schließlich ist auch hier darauf hinzuweisen, dass die präsentierten Ergebnisse unter Einschränkungen zu betrachten sind. Zum einen konnten die Videos nur einen begrenzten Grad an Immersion erzeugen. So hatten einige Interviewte Schwierigkeiten, sich durchgängig auf das Szenario des automatisierten Fahrens einzulassen und die unterschiedliche visuelle Gestaltung der HMIs bezüglich Farbgebung und Dynamik in den Szenarien Raststätte und Baustelle inkl. TOR unmittelbar wahrzunehmen. Zum anderen beziehen sich alle Aussagen auf die hier präsentierten konkreten Gestaltungslösungen.

4 Anforderungskatalog zur HMI Gestaltung und Lösungsvorschläge (AP 4)

In AP 4 wurden aus den Ergebnissen der Literaturanalyse (AP 2) sowie der Befragungen I und II (AP 3) Anforderungen an die HMI Gestaltung für ältere Fahrende abgeleitet und in einen Anforderungskatalog aggregiert. Darüber hinaus wurden die in Befragung II verwendeten Lösungsvorschläge zur HMI Gestaltung anhand der erarbeiteten Ergebnisse angepasst und im Katalog dargestellt.

Die Gestaltungshinweise sind im Anforderungskatalog anhand des in Abbildung 48 dargestellten Baumdiagramms in Kategorien gegliedert. Dabei wird zwischen allgemeinen und situationspezifischen Gestaltungshinweisen unterschieden.

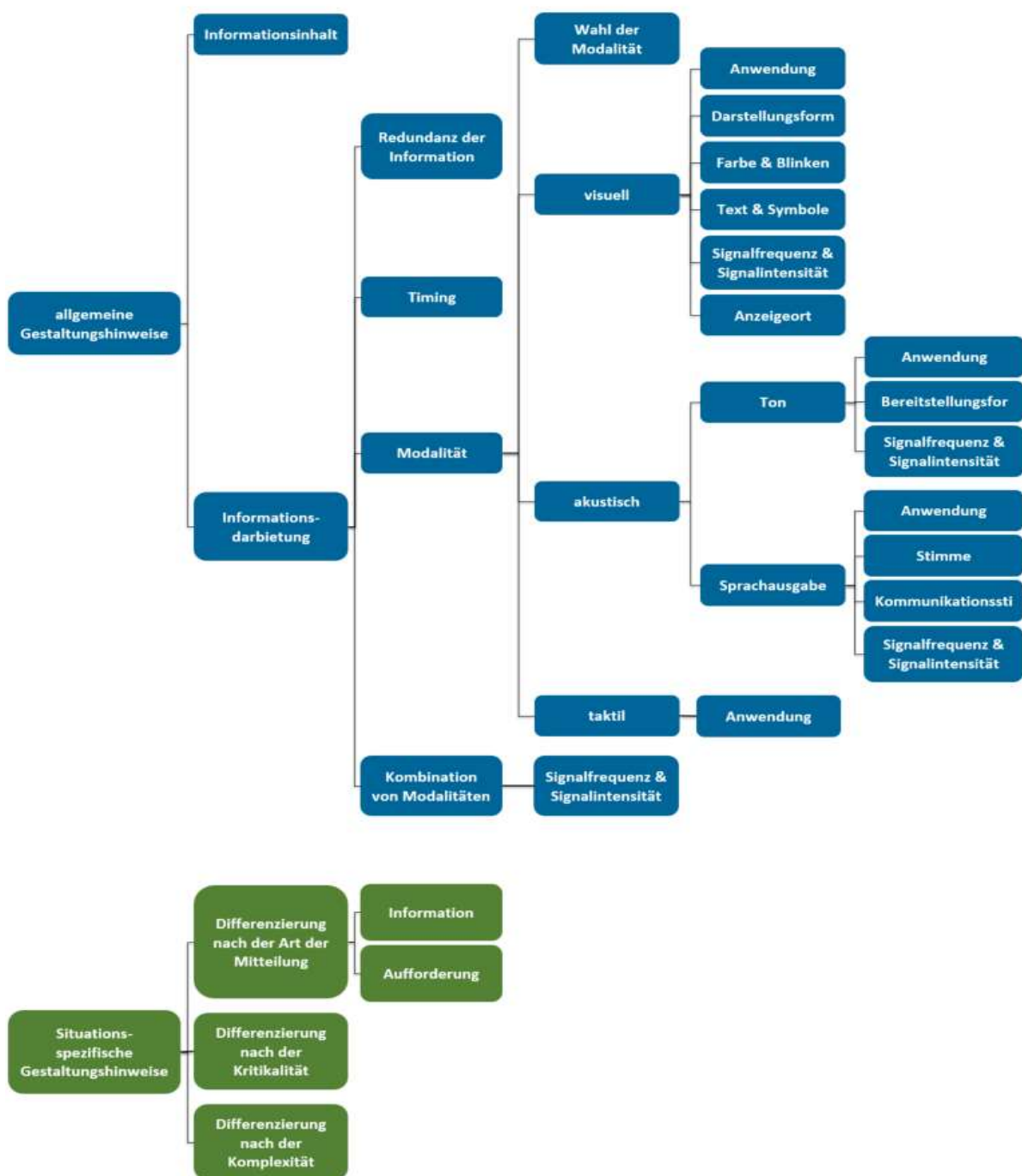


Abbildung 48: Kategorien der HMI Gestaltungshinweise

Zur besseren Recherchierbarkeit sind Gestaltungshinweise, die auf verschiedene Kategorien zutreffen, in allen zugehörigen Kategorien im Katalog aufgeführt. Wie in dem Auszug aus dem Katalog in Abbildung 49 zu sehen ist, sind die aufgeführten Kategorien im Katalog untereinander angeordnet und als Überschriften gelistet. Die zweite Spalte enthält die zur jeweiligen Kategorie gehörenden Gestaltungshinweise. In der dritten Spalte sind zum einen die Gestaltungshinweise näher beschrieben und erläutert und zum anderen Beispielaussagen in kursiver Schrift aus den Befragungsrounden I und II aufgeführt. Die Quellenangaben zu den gelisteten Gestaltungshinweisen sind in der letzten Spalte hinterlegt. Der vollständige Katalog ist im Anhang zu finden.

Informationsdarbietung			
Redundanz der Information			
	Kombination aus wachsamkeitsregenden & erklärenden Hinweisen nutzen	Änderungen im Display werden ohne wachsamkeitsregendes akustisches Signal nicht wahrgenommen (vor allem bei paralleler NDRT). Daher sollte eine Kombination aus wachsamkeitsregendem akustischem oder taktilem Signal und erklärenden Hinweisen im Display erfolgen. Der redundante Einsatz der Sprachausgabe zur visuellen Informationsbereitstellung ist hilfreich um die visuelle Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken. Angesichts der Kurzlebigkeit der akustischen Modalität sowie der altersbedingten Beeinträchtigung des Hörvermögens und Kurzzeitgedächtnisses sollten akustisch kommunizierte Informationen zusätzlich visuell übermittelt werden.	Clark et al., 2019 Molnar et al., 2017 TU Darmstadt, Befragung II
Redundanz der Information	visuelle Modalität als Backup nutzen	Neben dem akustischen Signal und der Umgebung als primäre Informationsquellen kann die visuelle Anzeige als sekundäre Informationsquelle bzw. Back-up dabei eine große Vielfalt an Informationen enthalten. <i>"das Display enthält sehr viele Informationen aber ich habe in dieser Situation (Autobahnabfahrt) ja Zeit mir diese anzuschauen deshalb ist das gut so"</i>	Naujoks et al., 2019 TU Darmstadt, Befragung II
	Kombination der visuellen und sprachlichen Modalität anwenden	Ältere Fahrende bewerten vor allem die Kombination der visuellen und sprachlichen Modalität als positiv.	Li, Blythe et al., 2019b TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	bei redundantem Einsatz verschiedener Modalitäten auf die Konsistenz der Information achten	Im Fall einer multimodalen Ausgestaltung durch die Kombination von sprachlicher und visueller Modalität ist darauf zu achten, dass die übermittelten Informationsinhalte redundant sind. <i>"Angaben auf Display und Ansage konsistent gestalten. Nicht "Stopp" auf dem Display im Vergleich zu "Bremsung eingeleitet" als Sprachansage"</i>	TU Darmstadt Befragung II
Timing			
	Übermittlung der Information mit ausreichendem zeitlichem Abstand zur Handlungsausführung	Eine Parallelität aus Informationsverarbeitung und Handlungsausführung sollte vermieden werden, indem die Informationen mit genügend zeitlichem Abstand vor dem Erreichen der zu bewältigenden Fahrsituation übermittelt werden.	Poschadel et al., 2012
Timing	Handlungsaufforderung zeitlich vor dem Grund für diese anordnen	Um älteren Fahrenden ein sequentielles Abarbeiten der Informationen zu ermöglichen, sollte bei der Formulierung des Übernahmeantrags die Aufforderung zur Übernahme der Fahrzeugkontrolle dem Grund der Kontrolltransition vorangestellt werden.	Li, Blythe, et al., 2019b
	Handlungsaufforderung 7,5 bis 15 Sekunden vor dem gewünschten Handlungszeitpunkt übermitteln	Auf Basis verschiedener Studienerkenntnisse sollte die Handlungsaufforderung 7.5 bis 15 Sekunden vor dem gewünschten Handlungszeitpunkt erfolgen.	H. Clark & Feng, 2017 Li, Blythe, et al., 2019a Li, Blythe, Guo, Namdeo, et al., 2019
Modalität			
Wahl der Modalität			
	Differenzierung zwischen	Die Primärinformation sollte visuell und akustisch über Sprachausgabe mitgeteilt werden,	

Abbildung 49: Auszug aus dem Anforderungskatalog

Die folgenden Abbildungen zeigen die überarbeiteten HMI Gestaltungsvorschläge des Basis HMIs, des informierenden HMIs und des auffordernden HMIs. Abbildung 50, Abbildung 51 und Abbildung 52 zeigen jeweils die akustischen und visuellen Gestaltungsvorschläge sowie die bei der Überarbeitung der HMIs angewandten Gestaltungshinweise aus dem Katalog.

Basis HMI

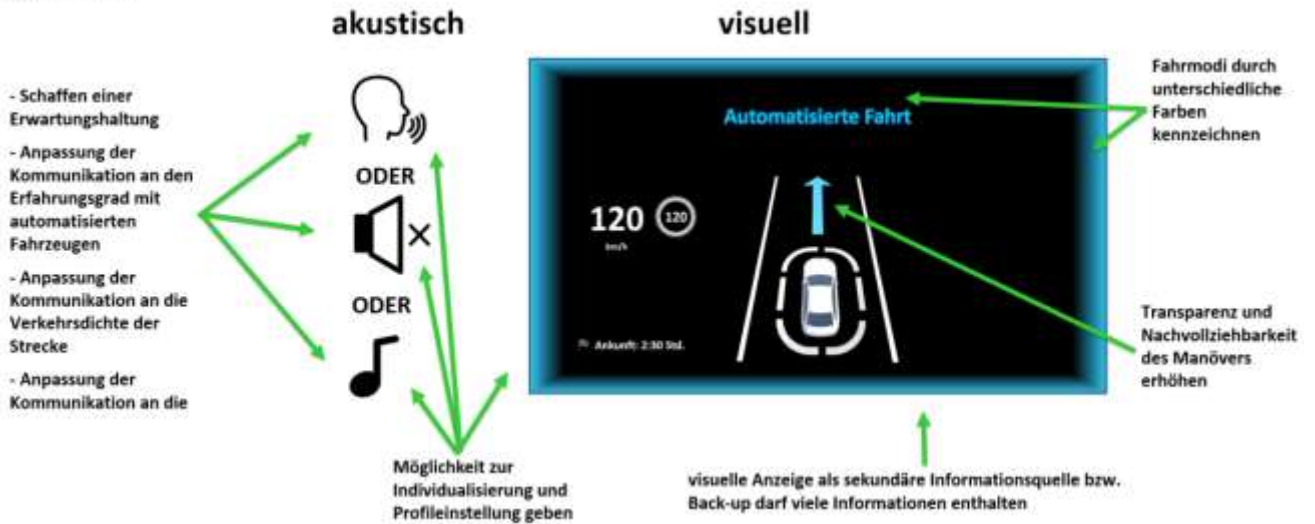


Abbildung 50: Lösungsvorschlag zum Basis HMI

Informierendes HMI

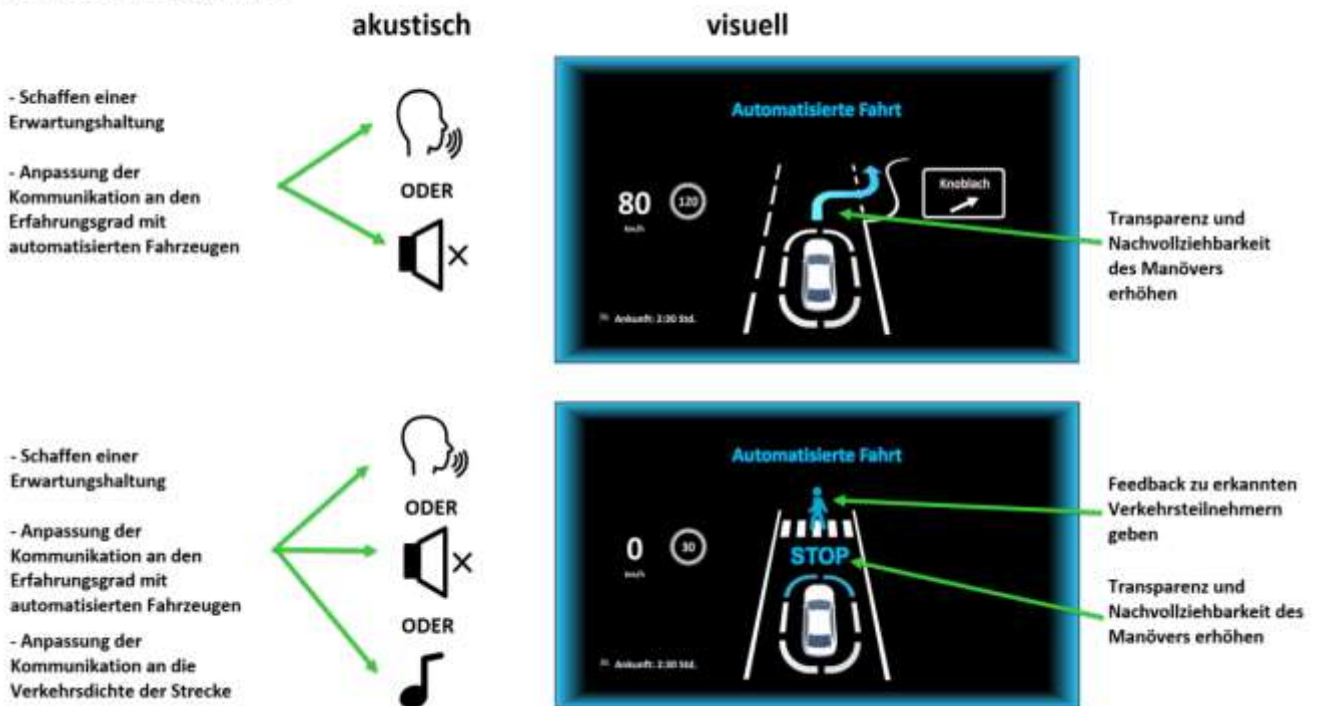


Abbildung 51: Lösungsvorschlag zum informierenden HMI

Aufforderndes HMI

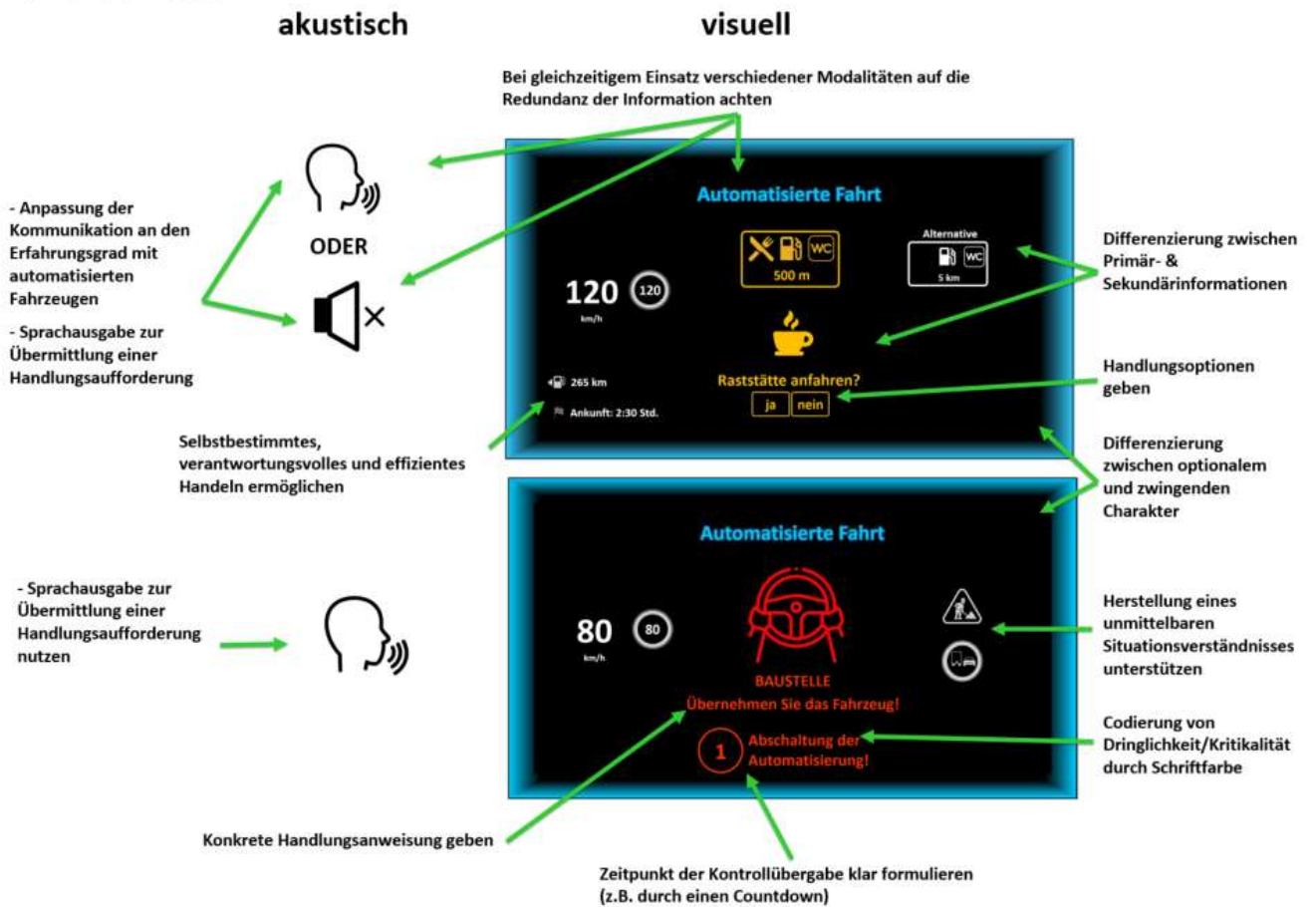


Abbildung 52: Lösungsvorschlag zum auffordernden HMI

5 Fazit und Ausblick

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus der Literaturanalyse und den eigenen Untersuchungen bezüglich der verschiedenen Forschungsfragen kurz zusammengefasst. Anschließend werden Fragestellungen präsentiert, die an die erarbeiteten Ergebnisse anknüpfen und zukünftigen Forschungsbedarf aufzeigen.

Fazit zu den Forschungsfragen aus Literaturanalyse und eigenen Untersuchungen

F-L1: Welche altersspezifischen Leistungsdefizite sind beim automatisierten Fahren relevant?	
--	--

Ältere Fahrende weisen in verschiedenen verkehrsrelevanten Kompetenzbereichen altersspezifische Leistungsdefizite auf. Dazu zählen zum einen sensorische Kompetenzen, wie das Seh- und Hörvermögen, zum anderen kognitive Kompetenzen wie Aufmerksamkeitskapazität und Orientierungsfähigkeit sowie motorische Kompetenzen wie Muskelkraft und Beweglichkeit (siehe Kapitel 2.2).

F-L2.1: Welche Kompensationsstrategien gibt es beim manuellen sowie beim automatisierten Fahren (ab L1) auf strategischer und taktischer Ebene? F-L2.2: Welche Leistungsdefizite sind Ursachen für die ausgebildeten Kompensationsstrategien und wie wirken sich diese Leistungsdefizite auf das automatisierte Fahren aus? F-L2.3: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?	F-U2: Welchen Einfluss haben bestehende Kompensationsstrategien auf das automatisierte Fahren?
--	--

Ältere Fahrende verfügen sowohl auf strategischer als auch auf taktischer Ebene über verschiedene Strategien zur Kompensation ihrer Leistungsdefizite (siehe Kapitel 2.3). Diese könnten das Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge beeinflussen, wenn bspw. die Fahrautomatisierung die Präferenzen Älterer bezüglich Streckencharakteristik oder Fahrstil nicht berücksichtigt. Weiterhin könnten Kompensationsstrategien die Übernahmeleistung im Fall eines TOR beeinträchtigen (siehe Kapitel 3.2).

F-L3: Welche altersspezifischen Erwartungen und Bedürfnisse sollten zur HMI Gestaltung berücksichtigt werden?	F-U3: Welche Informationen (Fahrzeugstatus, Umgebung) werden von Älteren ständig und bei einem TOR gewünscht?
---	---

Ältere Fahrende sehen in automatisierten Fahrzeugen sowohl Vorteile als auch Risiken. Einerseits sehen sie das Potential, trotz altersbedingter Einschränkungen ihre Mobilität aufrechterhalten zu können. Andererseits haben sie Angst die Kontrolle abzugeben und dem System ausgeliefert zu sein (siehe Kapitel

2.4). Um das Fahrautomatisierungssystem überwachen zu können, fordern sie Monitoring- und Informationssysteme. Welche Informationen dabei abgebildet werden sollen, ist stark situationsabhängig (siehe Kapitel 3.3 und 3.4)

<p>F-L4.1: Wie muss das HMI gestaltet sein, um effektive und effiziente Handlungen bei einem TOR zu unterstützen?</p> <p>F-L4.2: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Aufmerksamkeitswechsel zwischen fahrfremden Tätigkeiten (NDRT) und Fahraufgaben zu ermöglichen?</p> <p>F-L4.3: Wie muss das HMI gestaltet sein, um Situationsbewusstsein und Modusbewusstsein aufrechtzuerhalten bzw. Situationsbewusstheit schnell wiederzuerlangen bei einem TOR?</p>	<p>F-U4.1: Wie muss das HMI in Bezug auf Modalität, Darstellung, Informationsgehalt und Zeitbudget gestaltet sein, um Handlungen bei einem TOR zu unterstützen?</p>
--	---

Ältere Fahrende bevorzugen im Fall eines TOR eine Kombination aus visueller und akustischer Informationsübermittlung. Dabei sollte in der visuellen Darstellung die Handlungsaufforderung bspw. über eine farbliche Kennzeichnung hervorgehoben sein. Für die akustische Informationsübermittlung wird eine Sprachausgabe bevorzugt, die sowohl konkrete Handlungsanweisungen gibt als auch den Grund für die Kontrolltransition kommuniziert (siehe Kapitel 2.5, 3.3 und 3.4).

<p>F-L5: Welche Informationsstrategien sind dazu geeignet, um durch das HMI Vertrauen, Akzeptanz und User Experience zu erzeugen?</p>	<p>F-U5: Wie beeinflussen die Informationsstrategien (Modalität, Darstellung, Informationsgehalt) der in diesem Projekt erstellten HMI Lösungen das Vertrauen, die Akzeptanz und die User Experience?</p>
---	---

Zur Steigerung des Vertrauens älterer Fahrender in automatisierte Fahrzeuge sollte ein hoher Informationsgehalt der visuellen und akustischen Informationsübermittlung gewählt werden (siehe Kapitel 2.6, 3.3 und 3.4). Sowohl die ausführliche visuelle Darstellung als auch die Sprachausgabe tragen zur Verbesserung von Nachvollziehbarkeit und Antizipation des Systemverhaltens, Situationseinschätzung sowie Erkennung des Systemzustands bei. Auch die User Experience kann durch ein HMI mit ausführlicher visueller Darstellung und Sprachausgabe gesteigert werden.

F-L6: Wie können Anforderungen Älterer an das HMI klassifiziert werden?	
F-L7: Durch welche Gestaltungsmaßnahmen können die anfangs formulierten Anforderungen konkret umgesetzt werden?	

Bedingt durch altersspezifische Leistungsdefizite haben ältere Fahrende besondere Anforderungen an die Modalität und Ausgestaltung eines HMIs. Beispielsweise bevorzugen sie die Kombination aus akustischer und visueller Modalität und haben Schwierigkeiten vibrotaktile Signale und unterschiedliche Modalitätsintensitäten wahrzunehmen. Auch in Bezug auf Konfigurationsmöglichkeiten, Erlernbarkeit und verwendete Informationsstrategie sind besondere Anforderungen älterer Fahrender zu beachten (siehe Kapitel 2.7).

Weiterführende Fragestellungen

Die Ergebnisse der Literaturanalyse, des Expertenworkshops zu den Kompensationsstrategien und der durchgeführten Befragungsrunden I und II weisen auf das große Potenzial des HMIs hin, als technisches Kompensationsmittel durch die Unterstützung von Informationswahrnehmung und -verarbeitung das Vertrauen, die User Experience und die Akzeptanz des automatisierten Fahrens auf Seiten der älteren Fahrenden zu fördern. Im Folgenden sollen Fragestellungen aufgezeigt werden, die an die hier erarbeiteten Ergebnisse anknüpfen und diese komplettieren.

Nicht alle Forschungsfragen, die aufgrund der identifizierten Forschungslücken abgeleitet wurden, konnten in dem vorgegebenen Projektrahmen sowie aufgrund der COVID-19 Pandemie bearbeitet werden. Die in diesem Projekt erhobenen subjektiven Daten gilt es in zukünftigen Studien durch das Erheben objektiver Leistungsdaten infolge der Durchführung von Versuchen im Fahrsimulator zu ergänzen. Folgende weiterführenden Fragestellungen sind hinsichtlich der HMI Gestaltung von Interesse:

- Welchen Einfluss hat die Art der fahrfremden Tätigkeit auf die Bewertung der HMI Gestaltungslösungen, insbesondere in kritischen Übernahmesituationen? Welchen Stellenwert nehmen akustische /visuelle Informationen bei gleichzeitiger Ausübung fahrfremder Tätigkeiten ein?
- Welche Auswirkungen haben Modalität, Darstellung und Informationsgehalt der entwickelten HMI Gestaltungslösungen auf das Situations- und Modusbewusstsein älterer Fahrender?

Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche ist der Bedarf an wissenschaftlichen Studien zum Situations- und Modusbewusstsein im automatisierten Fahrkontext deutlich geworden. Dementsprechend sollte für die auf Basis der identifizierten Erwartungen und Anforderungen der älteren Fahrenden entwickelten HMIs mithilfe von Blickbewegungsanalysen die Aufmerksamkeitsverteilung älterer Fahrender eingehend untersucht werden. Außerdem sollte durch die Analyse von objektiven Leistungsdaten die Übernahmeleistung und die sich anschließende manuelle Fahrt bei einem TOR beurteilt werden. Mithilfe dieser Daten kann eine Bewertung des durch die HMI Gestaltung unterstützten Situations- und Modusbewusstseins erfolgen.

- Welches Zeitbudget benötigen Ältere zwischen Information durch das HMI und Auftreten der Situation?

Durch den nicht zu realisierenden Handlungsbedarf der Probanden in den durchgeführten Interviews konnte der zeitliche Aspekt zur Kommunikation relevanter Informationen nicht untersucht

werden. Auch bleiben Zeitbudgets im Bereich zwischen 10 und 20 Sekunden in aktuell verfügbaren Studien zu den Reaktionen von älteren Fahrenden auf Rückübernahmeaufforderungen unerforscht und sollten Gegenstand zukünftiger Forschungsbestrebungen sein.

- Welche Anpassungen der HMIs sind bei unterschiedlichen Sichtverhältnissen, insbesondere nachts, notwendig?

In diesem Projekt wurden nur Szenarien der automatisierten Tagfahrt untersucht. Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass eine der Kompensationsstrategien älterer Fahrender in der Vermeidung von Nachtfahrten liegt. Dementsprechend ist zu klären, ob durch eine gute HMI Gestaltung die Akzeptanz zur nächtlichen Nutzung von automatisierten Fahrzeugen erhöht werden kann und wie die Anzeigen hinsichtlich des Informationsinhaltes, der Modalität und Farbgestaltung anzupassen sind.

- Welche Wirkung haben die entsprechend der spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse älterer Fahrender entwickelten HMIs auf jüngere Fahrende?

Unklar ist bislang, inwiefern die in diesem Projekt auf Basis der Bedürfnisse der älteren Zielgruppe erarbeiteten HMI Gestaltungslösungen auch für jüngere Fahrende nützlich sind, akzeptiert werden und zur User Experience beitragen. Zur Untersuchung von Alterseffekten und Ermittlung altersspezifischer Anforderungen könnte die Einführung einer jüngeren Kontrollgruppe geeignet sein.

- Wie verändern sich Bedürfnisse und Anforderungen an das HMI mit zunehmender Nutzungserfahrung?

Langzeitwirkungen des HMI bleiben bisher ungeklärt. Studien – so auch die Interviewstudie dieses Projekts – bilden lediglich Effekte eines Erstkontakts unmittelbar nach der Einführung der Probanden in das Fahrautomatisierungssystem ab. Im Rahmen eines Erstkontakts könnten Aufmerksamkeitsniveau und Verantwortungsbewusstsein der Probanden überdurchschnittlich geschärft sein. Übungs-, Erfahrungs- und Gewohnheitseffekte, die in einer längerfristigen Betrachtung zu erwarten sind, wurden in Untersuchungen bislang nicht erfasst. Gleichwohl es bereits in den Interviews Hinweise gab, dass mit zunehmendem Erfahrungsgrad mit dem System das Informationsbedürfnis verändert sein wird.

6 Literaturverzeichnis

- Abraham, H., Lee, C., Mehler, B. & Reimer, B. (2017). Autonomous Vehicles and Alternatives to Driving: Trust, Preferences, and Effects of Age. In *Transportation Research Board 96th Annual Meeting: January 8-12, 2017, Washington, D.C.* TRB Transportation Research Board of the National Academies.
- Adenauer, S. (2002). Die Potenziale älterer Mitarbeiter im Betrieb erkennen und nutzen. *Angewandte Arbeitswissenschaft: Zeitschrift für die Unternehmenspraxis*, 172, 19–34.
- Adrian, J., Moessinger, M., Charles, A. & Postal, V. (2019). Exploring the contribution of executive functions to on-road driving performance during aging: A latent variable analysis. *Accident; analysis and prevention*, 127, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.010>
- Aksan, N., Sager, L., Hacker, S., Lester, B., Dawson, J., Rizzo, M., Ebe, K. & Foley, J. (2017). Individual differences in cognitive functioning predict effectiveness of a heads-up lane departure warning for younger and older drivers. *Accident; analysis and prevention*, 99(Pt A), 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.11.003>
- Andre, A. & Degani, A. (1997). DO YOU KNOW WHAT MODE YOU'RE IN? AN ANALYSIS OF MODE ERROR IN EVERYDAY THINGS.
- Andrews, E. C. & Westerman, S. J. (2012). Age differences in simulated driving performance: compensatory processes. *Accident; analysis and prevention*, 45, 660–668. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.047>
- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S. & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical psychology review*, 25(1), 45–65. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2004.07.008>
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L. & Bruni, J. R. (1998). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative ophthalmology & visual science*, 34(11), 3110–3123.
- Bazilinsky, P. & Winter, J. de (2015). Auditory interfaces in automated driving: an international survey. *PeerJ Computer Science*, 1, e13. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.13>
- Becker, S. & Wahl, H.-W. (2004). Psychosoziale Bewältigung schwerer Sehverluste im Alter. In *Verband der Blinden- und Sehbehindertenpädagogen und -pädagoginnen (Hg.), „Qualitäten“. Rehabilitation und Pädagogik bei Blindheit und Sehbehinderung* (S. 206–215). Edition Bentheim.
- Bellet, T., Paris, J.-C. & Marin-Lamellet, C. (2018). Difficulties experienced by older drivers during their regular driving and their expectations towards Advanced Driving Aid Systems and vehicle automation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 52, 138–163. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.11.014>
- Berghöfer, F., Purucker, C., Naujoks, F., Wiedemann, K. & Marberger, C. (2018). *Prediction of Take-Over Time Demand in Highly Automated Driving. Results of a Naturalistic Driving Study*. https://www.researchgate.net/publication/328190013_Prediction_of_Take-Over_Time_Demand_in_Highly_Automated_Driving_Results_of_a_Naturalistic_Driving_Study
- Burger, J. M. & Cooper, H. M. (1979). The desirability of control. *Motivation and Emotion*, 3(4), 381–393. <https://doi.org/10.1007/BF00994052>
-

-
- Clark, H. & Feng, J. (2017). Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation. *Accident; analysis and prevention*, 106, 468–479. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.027>
- Clark, H., McLaughlin, A. C., Williams, B. & Feng, J. (2017). Performance in Takeover and Characteristics of Non-driving Related Tasks during Highly Automated Driving in Younger and Older Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 37–41. <https://doi.org/10.1177/1541931213601504>
- Clark, J. R., Stanton, N. A. & Revell, K. M.A. (2019). Directability, eye-gaze, and the usage of visual displays during an automated vehicle handover task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.10.005>
- Clay, O. J., Wadley, V. G., Edwards, J. D., Roth, D. L., Roenker, D. L. & Ball, K. K. (2005). Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: Current and future implications. *Optometry and vision science*, 82(8), 724–731.
- Cohen, A. S. (2008). Wahrnehmung als Grundlage der Verkehrsorientierung bei nachlassender Sensorik während der Alterung. In B. Schlag (Hg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (Bd. 3, S. 65–84). TÜV Media.
- Dalton, D. S., Cruickshanks, K. J., Klein, B. E. K., Klein, R., Wiley, T. L. & Nondahl, D. M. (2003). The impact of hearing loss on quality of life in older adults. *The Gerontologist*, 43(5), 661–668. <https://doi.org/10.1093/geront/43.5.661>
- Davidse, R. J. (2006). Older drivers and ADAS: Which systems improve road safety? *IATSS Research*, 30(1), 6–20. [https://doi.org/10.1016/S0386-1112\(14\)60151-5](https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60151-5)
- Davis, J. J. & Conlon, E. G. (2017). Identifying compensatory driving behavior among older adults using the situational avoidance questionnaire. *Journal of safety research*, 63, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.08.009>
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12(1), 45–75.
- Diepold, K., Götzl, K., Riener, A. & Frison, A.-K. (2017). Automated Driving: Acceptance and Chances for Elderly People. In A. Löcken, S. Boll, I. Politis, S. Osswald, R. Schroeter, D. Large, M. Baumann, I. Alvarez, L. Chuang, S. Feuerstack, M. Jeon, H. H. van Huysduynden & N. Broy (Hg.), *Adjunct proceedings, AutomotiveUI 2017: The 9th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications : Oldenburg, Germany, September 24-27* (S. 163–167). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3131726.3131738>
- Dixit, V., Xiong, Z., Jian, S. & Saxena, N. (2019). Risk of automated driving: Implications on safety acceptability and productivity. *Accident; analysis and prevention*, 125, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.005>
- Donges, E. (1982). Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 27(2), 183–190.
- Donmez, B., Boyle, L., Lee, J. D. & McGehee, D. V. (2006). Drivers' attitudes toward imperfect distraction mitigation strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(6), 387–398. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.02.001>
- Duthoit, V., Sieffermann, J.-M., Enrègle, É., Michon, C. & Blumenthal, D. (2018). Evaluation and optimization of a vibrotactile signal in an autonomous driving context. *Journal of Sensory Studies*, 33(1), e12308. <https://doi.org/10.1111/joss.12308>
-

-
- Ellinghaus, D., Schlag, B. & Steinbrecher, J. (1990). *Leistungsfähigkeit und Fahrverhalten älterer Kraftfahrer* (Schriftenreihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr). Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Engin, T., Kocherscheid, K., Feldmann, M. & Rudinger, G. (2010). *Entwicklung und Evaluation eines Screening-Tests zur Erfassung der Fahrkompetenz älterer Kraftfahrer (SCREEMO)* (Reihe M: Mensch und Sicherheit - 210). Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Eudave, L., Martínez, M., Luis, E. O. & Pastor, M. A. (2018). Default-mode network dynamics are restricted during high speed discrimination in healthy aging: Associations with neurocognitive status and simulated driving behavior. *Human brain mapping*, 39(11), 4196–4212. <https://doi.org/10.1002/hbm.24240>
- Faber, K. & van Lierop, D. (2020). How will older adults use automated vehicles? Assessing the role of AVs in overcoming perceived mobility barriers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 133, 353–363. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.022>
- Fahrerlaubnis-Verordnung. *Anlage 4 (zu den §§ 11, 13 und 14 FeV)* (Nr. 11.04.2020). https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/anlage_4.html
- Fahrerlaubnis-Verordnung. *Anlage 6 (zu den §§ 12, 48 Absatz 4 und 5 FeV)*. https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/anlage_6.html
- Falkenstein, M. & Sommer, S. M. (2008). Altersbegleitende Veränderungen kognitiver und neuronaler Prozesse mit Bedeutung für das Autofahren. In B. Schlag (Hg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (Bd. 3, S. 113–142). TÜV Media.
- Favaro, F. M., Eurich, S., Rizvi, S., Agarwal, S., Mahmood, S. & Nader, N. (2019). *Analysis of Disengagements in Semi-Autonomous Vehicles: Drivers' Takeover Performance and Operational Implications*. San José State University San José, CA 95192-0219. Mineta Transportation Institute.
- Favaro, F. M., Seewald, P., Scholtes, M. & Eurich, S. (2019). Quality of control takeover following disengagements in semi-automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 196–212. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.004>
- Feldhütter, A., Hecht, T. & Bengler, K. (2018). *Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren*. Technische Universität München - Lehrstuhl für Ergonomie. https://www.researchgate.net/publication/324747541_FE_820628_Schlussbericht_Fahrerspezifische_Aspekte_beim_hochautomatisierten_Fahren/citations
- Feng, J., Choi, H., Craik, F. I. M., Levine, B., Moreno, S., Naglie, G. & Zhu, M. (2018). Adaptive response criteria in road hazard detection among older drivers. *Traffic injury prevention*, 19(2), 141–146. <https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1373190>
- Feng, J., Choi, H., Im Craik, F., Levine, B., Moreno, S., Naglie, G. & Zhu, M. (2017). Adaptive response criteria in road hazard detection among older drivers. *Traffic injury prevention*, 19(2), 141–146.
- Fofanova, J. & Vollrath, M. (2011). Distraction while driving: The case of older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 638–648.
- Frison, A. K., Aigner, L., Wintersberger, P. & Riener, A. (2018). Who is Generation A? Investigating the Experience of Automated Driving for Different Age Groups. In Unknown (Hg.), *Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '18* (S. 94–104). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3239060.3239087>
- Frison, A.-K., Aigner, L., Riener, A. & Wintersberger, P. (2017). *Senior Drivers: Using the Benefits of Automated Driving for the Elderly*. <https://doi.org/10.18420/MUC2017-WS17-0409>
-

- Gold, C., Körber, M., Hohenberger, C., Lechner, D. & Bengler, K. (2015). Trust in Automation – Before and After the Experience of Take-over Scenarios in a Highly Automated Vehicle. *Procedia Manufacturing*, 3, 3025–3032. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.847>
- Greenbaum, D. (2015). *EFFECTS OF AGE, EXPERIENCE AND TRAINING ON HAZARD PERCEPTION* [Master Thesis]. Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada,.
- Greenbaum, D. (2012). *Effects of Age, Experience and Training on Hazard Perception* [, Ryerson University]. EndNote Tagged Import Format.
- Haghzare, S., Bak, K., Campos, J. & Mihailidis, A. (2019). Factors influencing older adults' acceptance of fully automated vehicles. In C. P. Janssen, S. F. Donker, L. L. Chuang & W. Ju (Hg.), *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct Proceedings - AutomotiveUI '19* (S. 135–139). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3349263.3351520>
- Hartley, A. A., Kieley, J. & Mckenzie, C. R. M. (1992). Allocation of visual attention in younger and older adults. *Perception & Psychophysics*, 52(2), 175–185.
- Hartwich, F. (2017). *Supporting older drivers trough emerging in-vehicle technologies: Performance-related aspects and user acceptance* [Dissertation]. Technischen Universität Chemnitz, Chemnitz.
- Hartwich, F., Beggiato, M., Dettmann, A. & Krems, J. F. (2015). Drive Me Comfortable. In *VDI-Berichte: Bd. 2264. Der Fahrer im 21. Jahrhundert: Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit ; 8. VDI-Tagung, Braunschweig, 10. und 11. November 2015* (S. 271–283). VDI-Verl.
- Hartwich, F., Witzlack, C., Beggiato, M. & Krems, J. F. (2019). The first impression counts – A combined driving simulator and test track study on the development of trust and acceptance of highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 522–535. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.05.012>
- Henze, D.-I. R., Atabay, D.-I. O. & Raksincharoensak, ass. Prof. Dr. P. (2016). Monitoring Driver - Vehicle Control in Automated Driving Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 49(3), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.048>
- Horn, J. L. & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta psychologica*, 26, 107–129.
- Hudson, J., Orviska, M. & Hunady, J. (2019). People's attitudes to autonomous vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.018>
- Huff, E. W., DellaMaria, N., Posadas, B. & Brinkley, J. (2019). Am I Too Old to Drive? In J. P. Bigham, S. Azenkot & S. K. Kane (Hg.), *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '19* (S. 500–509). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3308561.3353801>
- Ito, T., Shino, T. & Kamata, M. (2018). Initial Investigation of Elderly Drivers' Acceptability for Proactive Intervention by Intelligent Vehicle. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 16(1), 51–65. <https://doi.org/10.1007/s13177-017-0137-3>
- Kaiser, H. J. & Oswald, W. D. (2000). Autofahren im Alter: Eine Literaturanalyse. *Zeitschrift für Gerontopsychologie & -psychiatrie*, 13.
- Kang, H. C., Wang, L. & Kim, K. (2016). Older Adults' Acceptance of Vehicle Functions that Compensate for Aging Effects. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 44(9), 1457–1466. <https://doi.org/10.2224/sbp.2016.44.9.1457>
- Kim, M. H., Lee, Y. T. & Son, J. (2010). Age-Related Physical and Emotional Characteristics to Safety Warning Sounds: Design Guidelines for Intelligent Vehicles. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS*,

- Kim, S., Wogalter, M. S. & Mayhorn, C. B. (2010). Older and Younger Drivers' Beliefs about Motor Vehicle Features to Benefit Their Safe Driving.
- King, M. J. & Scott-Parker, B. J. (2017). Older male and female drivers in car-dependent settings: how much do they use other modes, and do they compensate for reduced driving to maintain mobility? *Ageing and Society*, 37(6), 1249–1267. <https://doi.org/10.1017/S0144686X15001555>
- Körber, M. (2018). Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation. *In Congress of the International Ergonomics Association*, 13–30.
- Körber, M. (2019). Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018): Volume VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics*, 13–30.
- Körber, M., Gold, C., Lechner, D. & Bengler, K. (2016). The influence of age on the take-over of vehicle control in highly automated driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 39, 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.03.002>
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, 15(1), 126–147. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.15.1.126>
- Lachenmayr, B. (2003). Anforderungen an das Sehvermögen des Kraftfahrers. *Deutsches Ärzteblatt*, 100(10), 624–634.
- Lachenmayr, B., Berger, J., Buser, A. & Keller, O. (1998). Reduziertes Sehvermögen führt zu erhöhtem Unfallrisiko im Straßenverkehr. *Der Ophthalmologe*, 95(1), 44–50.
- Li, S., Blythe, P., Guo, W. & Namdeo, A. (2018). Investigation of older driver's takeover performance in highly automated vehicles in adverse weather conditions. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1157–1165. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.0104>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W. & Namdeo, A. (2019a). Investigating the effects of age and disengagement in driving on driver's takeover control performance in highly automated vehicles. *Transportation Planning and Technology*, 42(5), 470–497. <https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1609221>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W. & Namdeo, A. (2019b). Investigation of older drivers' requirements of the human-machine interaction in highly automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 546–563. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.02.009>
- Li, S., Blythe, P., Guo, W., Namdeo, A., Edwards, S., Goodman, P. & Hill, G. (2019). Evaluation of the effects of age-friendly human-machine interfaces on the driver's takeover performance in highly automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 78–100. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.10.009>
- Liu, P., Zhang, Y. & He, Z. (2019). The effect of population age on the acceptable safety of self-driving vehicles. *Reliability Engineering & System Safety*, 185, 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.01.003>
- Lu, Z., Coster, X. & Winter, J. de (2017). How much time do drivers need to obtain situation awareness? A laboratory-based study of automated driving. *Applied ergonomics*, 60, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.12.003>

-
- Manser, M. P., Noble, A. M., Machiani, S. G., Shortz, A., Klauer, S., Higgins, L. & Alidad A. (2019). *Driver Training Research and Guidelines for Automated Vehicle Technology*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31237.50401>
- McGwin, G. & Brown, D. B. (1999). Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 31(3), 181–198. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00061-X)
- Meng, A. & Siren, A. (2012). Older drivers' reasons for reducing the overall amount of their driving and for avoiding selected driving situations. *Journal of applied gerontology : the official journal of the Southern Gerontological Society*, 34(3), NP62-82. <https://doi.org/10.1177/0733464812463433>
- Miller, D., Johns, M., Ive, H. P., Gowda, N., Sirkin, D., Sibi, S., Mok, B., Aich, S. & Ju, W. (2016). Exploring Transitional Automation with New and Old Drivers. In *SAE Technical Paper Series, SAE Technical Paper 2016-01-1442*. SAE International400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States. <https://doi.org/10.4271/2016-01-1442>
- Millonig, A. (2019). Connected and Automated Vehicles: Chances for Elderly Travellers. *Gerontology*, 65(5), 571–578. <https://doi.org/10.1159/000498908>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49–100.
- Moher, B., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement.
- Mok, B., Johns, M., Gowda, N., Sibi, S. & Ju, W. (2016). Take the wheel: Effects of available modalities on driver intervention. In *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 1358–1365). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535567>
- Molnar, L. J., Pradhan, a. k., Eby, D. W., Ryan, L. H., St Louis, R. M., Zakrajsek, J., Ross, B., Lin, B. T., Liang, C., Zalewski, B. & Zhang, L. (2017). *Age-Related Differences in Driver Behavior Associated with Automated Vehicles and the Transfer of Control between Automated and Manual Control: A Simulator Evaluation*. Transportation Research Institute (UMTRI). <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/137653>
- Molnar, L. J., Ryan, L. H., Pradhan, a. k., Eby, D. W., St. Louis, R. M. & Zakrajsek, J. S. (2018). Understanding trust and acceptance of automated vehicles: An exploratory simulator study of transfer of control between automated and manual driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 319–328.
- Morgan, P. L., Vionescu, A., Alford, C. & Caleb-Solly, P. (2018). Exploring the Usability of a Connected Autonomous Vehicle Human Machine Interface Designed for Older Adults.
- Naujoks, F. & Neukum, A. (2013). Timing of in-vehicle advisory warnings based on cooperative perception. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting*.
- Naujoks, F., Purucker, C. & Neukum, A. (2015). Eine Feldstudie zur Häufigkeit von natürlichen Nebentätigkeiten bei verschiedenen Automatisierungsstufen. In *10. Workshop Fahrerassistenzsysteme: FAS 2015* (S. 29–38). Uni-DAS e.V. https://www.researchgate.net/publication/282353457_Eine_Feldstudie_zur_Hufigkeit_von_natuerlichen_Nebentatigkeiten_bei_verschiedenen_Automatisierungsstufen
- Naujoks, F., Purucker, C., Neukum, A., Wolter, S. & Steiger, R. (2015). Controllability of Partially Automated Driving functions – Does it matter whether drivers are allowed to take their hands off the
-

-
- steering wheel? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.022>
- Newson, R. S. & Kemp, E. B. (2006). The nature of subjective cognitive complaints of older adults. *International journal of aging & human development*, 63(2), 139–151. <https://doi.org/10.2190/1EAP-FE20-PDWY-M6P1>
- Nielsen, T. A. S. & Haustein, S. (2018). On sceptics and enthusiasts: What are the expectations towards self-driving cars? *Transport Policy*, 66, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.03.004>
- Parasuraman, A. & Colby, C. L. (2015). An Updated and Streamlined Technology Readiness Index. *Journal of Service Research*, 18(1), 59–74. <https://doi.org/10.1177/1094670514539730>
- Pauzie, A. (2002). In-vehicle communication systems: the safety aspect.
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F. & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.02.001>
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T., Josten, J. & Eckstein, L. (2015). „Bitte übernehmen Sie das Fahren!“ : ein multimodaler Vergleich von Übernahmestrategien. In *16. Braunschweiger Symposium AAET 2015 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel: 12. und 13. Februar 2015, DLR Braunschweig* (S. 346–369). ITS Niedersachsen.
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T. & Mergl, C. (2013). Wie lange braucht der Fahrer? Eine Analyse zu Übernahmezeiten aus verschiedenen Nebentätigkeiten während einer hochautomatisierten Staufahrt.
- Poschadel, S., Falkenstein, M., Rinkenauer, G., Mendzheritskiy, G., Fimm, B., Worringer, B., Engin, T., Kleinemas, U. & Rudinger, G. (2012). *Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer* (Reihe M: Mensch und Sicherheit - 231). Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Prat, F., Planes, M., Gras, M. E. & Sullman, M.J.M. (2015). An observational study of driving distractions on urban roads in Spain. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.003>
- Rahman, M., Deb, S., Strawderman, L., Burch, R. & Smith, B. (2019). How the older population perceives self-driving vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 242–257. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.08.002>
- Rahman, M., Deb, S., Strawderman, L., Smith, B. & Burch, R. (2019). Evaluation of transportation alternatives for aging population in the era of self-driving vehicles. *IATSS Research*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2019.05.004>
- Reimer, B., Donmez, B., Lavallière, M., Mehler, B., Coughlin, J. F. & Teasdale, N. (2013). Impact of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions. *Accident; analysis and prevention*, 52, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.008>
- Reimer, B. & Mehler, B. (2013). The Effects of a Production Level “Voice-Command” Interface on Driver Behavior: Summary Findings on Reported Workload, Physiology, Visual Attention, and Driving Performance.
- Riegler, A., Wintersberger, P., Riener, A. & Holzmann, C. (2019). Augmented Reality Windshield Displays and Their Potential to Enhance User Experience in Automated Driving. *i-com*, 18(2), 127–149. <https://doi.org/10.1515/icom-2018-0033>
-

-
- Rinkenauer, G. (2008). Motorische Leistungsfähigkeit im Alter. In B. Schlag (Hg.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (Bd. 3, S. 143–180). TÜV Media.
- Robertson, R. D., Woods-Fry, H., Vanlaar, W. G. M. & Mainegra Hing, M. (2019). Automated vehicles and older drivers in Canada. *Journal of safety research*, 70, 193–199.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.07.003>
- Rödel, C., Stadler, S., Meschtscherjakov, A. & Tscheligi, M. (2014). Towards Autonomous Cars: The Effect of Autonomy Levels on Acceptance and User Experience. In L. N. Boyle (Hg.), *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '14* (S. 1–8). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2667317.2667330>
- Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G. & Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 45(2), 218–233.
<https://doi.org/10.1518/hfes.45.2.218.27241>
- Rusch, M. L., Schall, M. C., Lee, J. D., Dawson, J. D. & Rizzo, M. (2014). Augmented reality cues to assist older drivers with gap estimation for left-turns. *Accident; analysis and prevention*, 71, 210–221.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.05.020>
- Saito, Y., Mitsumoto, T. & Raksincharoensak, P. (2016). Effectiveness of a Risk Predictive Shared Steering Control Based on Potential Risk Prediction of Collision with Vulnerable Road Users.
- Schlag, B. (Hg.). (2008). *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter*. TÜV Media.
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft*. Springer-Verlag.
- Schmargendorf, M., Schuller, H.-M., Böhm, P., Isemann, D. & Wolff, C. (2018). *Autonomous Driving and the Elderly: Perceived Risks and Benefits*. <https://doi.org/10.18420/MUC2018-WS11-0524>
- Schrepp, Hinderks & Thomaschewski (2017). Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *IJIMAI*, 4(6), 103–108.
- Schwalk, M., Kalogerakis, N. & Maier, T. (2015). Driver Support by a Vibrotactile Seat Matrix – Recognition, Adequacy and Workload of Tactile Patterns in Take-over Scenarios During Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, 3, 2466–2473. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.507>
- Schwarz, C., Gaspar, J. & Brown, T. (2019). The effect of reliability on drivers' trust and behavior in conditional automation. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 41–54.
<https://doi.org/10.1007/s10111-018-0522-y>
- Sekuler, A. B., Bennett, P. J. & Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Experimental aging research*, 26(2), 103–120. <https://doi.org/10.1080/036107300243588>
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127.
- Shimazaki, K., Ito, T., Fujii, A. & Ishida, T. (2018). The public's understanding of the functionality and limitations of automatic braking in Japan. *IATSS Research*, 42(4), 221–229.
<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.11.002>
- Siu, K.-C., Chou, L.-S., Mayr, U., van Donkelaar, P. & Woollacott, M. H. (2008). Does inability to allocate attention contribute to balance constraints during gait in older adults? *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(12), 1364–1369.
<https://doi.org/10.1093/gerona/63.12.1364>
-

-
- Sivak, M., Olson, P. L. & Pastalan, L. A. (1981). Effect of driver's age on nighttime legibility of highway signs. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 23(1), 59–64. <https://doi.org/10.1177/001872088102300106>
- Son, J., Park, M. & Park, B. B. (2015). The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 31, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.03.009>
- Son, J., Reimer, B., Mehler, B., Pohlmeier, A. E., Godfrey, K. M., Orszulak, J., Long, J., Kim, M. H., Lee, Y. T. & Coughlin, J. F. (2010). Age and cross-cultural comparison of drivers' cognitive workload and performance in simulated urban driving. *International Journal of Automotive Technology*, 11(4), 533–539. <https://doi.org/10.1007/s12239-010-0065-6>
- Sportillo, D., Paljic, A. & Ojeda, L. (2018). Get ready for automated driving using Virtual Reality. *Accident; analysis and prevention*, 118, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.06.003>
- Staplin, L., Ball, K. K., Park, D., Decina, L. E., Lococo, K. H., Gish, K. W. & Kotwal, B. (1999). *Synthesis of human factors research on older drivers and highway safety* (Volume I: Older Driver Research Synthesis). U. S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.
- Totzke, I. (2013). Einfluss des Lernprozesses auf den Umgang mit menügesteuerten Fahrerinformationssystemen.
- Trick, L. M., Toxopeus, R. & Wilson, D. (2010). The effects of visibility conditions, traffic density, and navigational challenge on speed compensation and driving performance in older adults. *Accident; analysis and prevention*, 42(6), 1661–1671. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.005>
- Trübswetter, N. (2015). *Akzeptanzkriterien und Nutzungsbarrieren älterer Autofahrer im Umgang mit Fahrerassistenzsystemen* [PhD-Thesis]. Technische Universität München - Lehrstuhl für Ergonomie, München.
- Van der Laan, Heino & De Waard (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Tmnspn Res.-C*, Vol. 5, 1996, 1–10.
- Vlakveld, W., van Nes, N., Bruin, J. d., Vissers, L. & van der Kroft, M. (2018). Situation awareness increases when drivers have more time to take over the wheel in a Level 3 automated car: A simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 917–929. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.025>
- Voinescu, A., Morgan, P. L., Alford, C. & Caleb-Solly, P. (2018). Investigating Older Adults' Preferences for Functions within a Human-Machine Interface Designed for Fully Autonomous Vehicles.
- Vollrath, M. (2015). Fahren Ältere situationsbewusster als Jüngere?
- Vollrath, M., Maciej, J., Howe, J. & Briest, S. (2009). Fahren Ältere situationsbewusster als Jüngere? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63, 23–31.
- Wild-Wall, N., Hahn, M. & Falkenstein, M. (2011). Preparatory processes and compensatory effort in older and younger participants in a driving-like dual task. *Human factors*, 53(2), 91–102. <https://doi.org/10.1177/0018720811402068>
- Wu, Y., Kihara, K., Hasegawa, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M. & Kitazaki, S. (2020). Age-related differences in effects of non-driving related tasks on takeover performance in automated driving. *Journal of safety research*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.12.019>
- Wu, Y., Kihara, K., Takeda, Y., Sato, T., Akamatsu, M. & Kitazaki, S. (2019). Effects of scheduled manual driving on drowsiness and response to take over request: A simulator study towards
-

-
- understanding drivers in automated driving. *Accident; analysis and prevention*, 124, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.01.013>
- Yang, Y., Karakaya, B., Dominioni, G. C., Kawabe, K. & Bengler, K. (2018). *2018 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference: November 4-7, Maui, Hawaii*. IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8543039>
- Yannis, G., Antoniou, C., Vardaki, S. & Kanellaidis, G. (2010). Older Drivers' Perception and Acceptance of In-Vehicle Devices for Traffic Safety and Traffic Efficiency.
- Young, K., Regan, M. & Hammer, M. (2003). Driver Distraction: A Review of the Literature.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D. & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function in early childhood: VI. The development of executive function: Cognitive complexity and control-revised. *Monographs of the Society for Research in Child Development*.
- Zhang, B., Winter, J. de, Varotto, S., Happee, R. & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285–307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020>
- Zhou, H., Itoh, M. & Kitazaki, S. (2018). How Does Knowledge about System Limitations Contribute to Interventions into Partial Automation Among Elderly Drivers? In *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (S. 819–824). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00147>

A Katalog – Allgemeine Gestaltungshinweise zur HMI Gestaltung für ältere Fahrende

Allgemeine Gestaltungshinweise

Informationsinhalt

	Es sollten Informationen bzgl. des Fahrzeugstatus bereitgestellt werden.	
	Es sollten Informationen bzgl. der Verkehrssituation und -bedingungen bereitgestellt werden (z.B. Verkehrsteilnehmende, Verkehrsschilder (für die manuelle Fahrt besonders wichtig)).	
Transparenz & Nachvollziehbarkeit erhöhen	Die Hintergründe der Kontrolltransition (Übernahmegrund) sollten kommuniziert werden (ein TOR ohne ergänzende vorbereitende Informationen versetzt ältere Fahrende in Panik und Stress).	Aksan et al., 2017 Li, Blythe et al., 2019a Li, Blythe et al., 2019b Li, Blythe, Guo, Namdeo, et al., 2019
	Das aktuelle bzw. unmittelbar bevorstehende Manöver sollte angezeigt werden.	TU Darmstadt Befragung I TU Darmstadt Befragung II
	Das System sollte kommunizieren, wenn es andere Verkehrsteilnehmende wie Fußgänger_innen, Fahrradfahrende oder andere Fahrzeuge erkannt hat. <i>"keine Ankündigung, dass das Fahrzeug Fußgänger/Radfahrer erkannt hat, könnte unsicher machen"</i>	
	Statt ältere Fahrende über das Erreichen der Systemgrenze und die bevorstehende Automatisierungsdeaktivierung in Kenntnis zu setzen, sollte direkt die von ihnen geforderte Leistung kommuniziert werden.	
konkrete Handlungsanweisung inkl. Handlungsschritte, Handlungsoptionen und Zeitfenster geben	Konkrete Handlungsanweisungen sind von Älteren explizit erwünscht.	Aksan et al., 2017 Li, Blythe et al., 2019a Li, Blythe et al., 2019b
	Die unmittelbare Präsentation eines Lösungswegs fördert eine proaktive Problembegennung und reduziert den Stressfaktor.	Petermann-Stock et al., 2015
Informationsinhalt	Ein LED Laufflicht wird von älteren Fahrenden nicht als Handlungsaufforderung verstanden. Der erfolgreiche Abschluss der Kontrolltransition, d. h. der Zeitpunkt der Automatisierungsdeaktivierung und Verantwortungsübergabe, sollte eindeutig kommuniziert werden. z.B. <i>"über eine intuitiv verständliche Abwärtsmelodie"</i>	H. Clark & Feng, 2017 TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
Feedback geben	Eine erfolgreiche Eingabe des Fahrenden sollte durch das System bestätigt werden. z.B. <i>"Änderung der Farbe nachdem die Eingabe erfolgt ist, dass die nächste Raststätte angefahren werden soll"</i>	
auf konsistenten Informationsinhalt in verschiedenen Situationen achten	Der Informationsinhalt sollte über verschiedene Situationen hinweg konsistent gestaltet werden. <i>"entweder konsequent alle Manöver des Fahrzeugs ankündigen oder nicht"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
Erwartungshaltung schaffen	Vor einer Manöveränderung sollten diesbezüglich Informationen bereitgestellt werden, um eine Erwartungshaltung zu schaffen. <i>"Keine Warnung würde beim Abfahren/Richtungswechsel zum Aufschrecken führen"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
bei redundantem Einsatz verschiedener Modalitäten auf die Konsistenz der Information achten	Im Fall einer multimodalen Ausgestaltung durch die Kombination von sprachlicher und visueller Modalität ist darauf zu achten, dass die übermittelten Informationsinhalte redundant sind. <i>"Angaben auf Display und Ansage konsistent gestalten. Nicht "Stopp" auf dem Display im Vergleich zu " Bremsung eingeleitet" als Sprachansage"</i>	TU Darmstadt Befragung II
selbstbestimmtes, verantwortungsvolles und effizientes Handeln ermöglichen	Es sollten personen- und situationsbezogene Informationen bereitgestellt werden, um den Fahrenden eine effiziente selbstbestimmte und verantwortungsvolle Entscheidung und Handlung zu ermöglichen. Bevormundung sollte dabei vermieden werden. <i>"Hinweise auf Müdigkeit, Tankfüllung und verbleibende Zeit bis zum Ziel sind gut, aber das System sollte nicht übergriffig werden und mich bevormunden"</i>	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II

Informationsdarbietung

Redundanz der Information

	Kombination aus wachsamkeitserregenden & erklärenden Hinweisen nutzen	Änderungen im Display werden ohne wachsamkeitserregendes akustisches Signal nicht wahrgenommen (vor allem bei paralleler NDRT). Daher sollte eine Kombination aus wachsamkeitserregendem akustischem oder taktilem Signal und erklärenden Hinweisen im Display erfolgen. Der redundante Einsatz der Sprachausgabe zur visuellen Informationsbereitstellung ist hilfreich um die visuelle Aufmerksamkeit auf die relevante Information zu lenken.	Clark et al., 2019 Molnar et al., 2017 TU Darmstadt, Befragung II
Redundanz der Information	visuelle Modalität als Backup nutzen	Angesichts der Kurzlebigkeit der akustischen Modalität sowie der altersbedingten Beeinträchtigung des Hörvermögens und Kurzzeitgedächtnisses sollten akustisch kommunizierte Informationen zusätzlich visuell übermittelt werden. Neben dem akustischen Signal und der Umgebung als primäre Informationsquellen kann die visuelle Anzeige als sekundäre Informationsquelle bzw. Back-up dabei eine große Vielfalt an Informationen enthalten. <i>"das Display enthält sehr viele Informationen aber ich habe in dieser Situation (Autobahnabfahrt) ja Zeit mir diese anzuschauen deshalb ist das gut so"</i>	Naujoks et al., 2019 TU Darmstadt, Befragung II
	Kombination der visuellen und sprachlichen Modalität anwenden	Ältere Fahrende bewerten vor allem die Kombination der visuellen und sprachlichen Modalität als positiv.	Li, Blythe et al., 2019b TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	bei redundantem Einsatz verschiedener Modalitäten auf die Konsistenz der Information achten	Im Fall einer multimodalen Ausgestaltung durch die Kombination von sprachlicher und visueller Modalität ist darauf zu achten, dass die übermittelten Informationsinhalte redundant sind. <i>"Angaben auf Display und Ansage konsistent gestalten. Nicht "Stopp" auf dem Display im Vergleich zu " Bremsung eingeleitet" als Sprachansage"</i>	TU Darmstadt Befragung II

Timing			
Timing	Übermittlung der Information mit ausreichendem zeitlichem Abstand zur Handlungsausführung	Eine Parallelität aus Informationsverarbeitung und Handlungsausführung sollte vermieden werden, indem die Informationen mit genügend zeitlichem Abstand vor dem Erreichen der zu bewältigenden Fahrsituation übermittelt werden.	Poschadel et al., 2012
	Handlungsaufforderung zeitlich vor dem Grund für diese anordnen	Um älteren Fahrenden ein sequentielles Abarbeiten der Informationen zu ermöglichen, sollte bei der Formulierung des Übernahmeantrags die Aufforderung zur Übernahme der Fahrzeugkontrolle dem Grund der Kontrolltransition vorangestellt werden.	Li, Blythe, et al., 2019b
	Handlungsaufforderung 7,5 bis 15 Sekunden vor dem gewünschten Handlungszeitpunkt übermitteln	Auf Basis verschiedener Studienerkenntnisse sollte die Handlungsaufforderung 7.5 bis 15 Sekunden vor dem gewünschten Handlungszeitpunkt erfolgen.	H. Clark & Feng, 2017 Li, Blythe, et al., 2019a Li, Blythe, Guo, Namdeo, et al., 2019
Modalität			
Wahl der Modalität			
Wahl der Modalität	Differenzierung zwischen Primär- & Sekundärinformationen	Die Primärinformation sollte visuell und akustisch über Sprachausgabe mitgeteilt werden, die Sekundärinformation nur visuell. Es sollten Möglichkeiten zur Einstellung visueller und akustischer Features vorgesehen sein. <i>"z.B. Möglichkeit zur Zu-/Abschaltung von Sprache und Ton geben oder Individualisierung der Stimme ermöglichen"</i>	TU Darmstadt Befragung II
	Möglichkeit zur Individualisierung und Profileinstellung geben	Zur Berücksichtigung personenbezogener Faktoren, Präferenzen und Gewohnheiten sollten Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Profilen vorgesehen sein. <i>"Möglichkeit zum Profileinstellen sollte gegeben sein, ohne sich als Angstphase, Wenigfahrer etc. outen zu müssen; Möglichkeit zur Entscheidung über Art & Intensität der Informierung entsprechend dem Anspruch des eigenen Informationsverhaltens geben"</i>	TU Darmstadt Befragung II
	Anpassung der Kommunikation an den Erfahrungsgrad mit Automatisierten Fahrzeugen	Die Wahl der Modalität ist abhängig vom Erfahrungsgrad des Fahrenden mit Automatisierten Fahrzeugen: - Zu Beginn ist die Sprachausgabe zur akustischen Informationsübermittlung zu bevorzugen. - Wenn Vertrauen gefasst wurde ist der Ton als akustisches Signal oder auch die Kommunikation ohne akustisches Signal nur über die visuelle Modalität denkbar. <i>"Am Anfang ist die Sprache gut, aber mit zunehmendem Vertrauen nervt alles was eigentlich nur bestätigt, dass etwas ok ist und keine Aktivität erfordert"</i>	TU Darmstadt Befragung II
	optimale Aufmerksamkeitsregulierung ermöglichen	Die selbstbestimmte Aufmerksamkeitsverteilung zwischen NDRT und HMI sollte ermöglicht werden. <i>"bei visueller beanspruchender NRDT Signal über Sprachausgabe um zu ermöglichen, dass bei näherem Interesse die NDRT selbstbestimmt unterbrochen werden kann"</i>	TU Darmstadt Befragung II
	Anpassung der Kommunikation an die ausgeführte NDRT	Eine Interferenz der beanspruchten Sinneskanäle sollte vermieden werden, zur Sicherstellung der Wahrnehmung und Vermeidung der kognitiven Überlastung. <i>"Sprachansage sicherlich wirksam, bei akustischer fahrfremder Tätigkeit aber lästig"</i> <i>"Wahrnehmung des Tons bei lautem Musikhören muss sichergestellt sein"</i>	TU Darmstadt Befragung II
visuell			
Anwendung	visuelle Modalität als Backup nutzen	Angesichts der Kurzlebigkeit der akustischen Modalität sowie der altersbedingten Beeinträchtigung des Hörvermögens und Kurzzeitgedächtnisses sollten akustisch kommunizierte Informationen zusätzlich visuell übermittelt werden. Neben dem akustischen Signal und der Umgebung als primäre Informationsquellen kann die visuelle Anzeige als sekundäre Informationsquelle bzw. Back-up dabei eine große Vielfalt an Informationen enthalten. <i>"das Display enthält sehr viele Informationen aber ich habe in dieser Situation (Autobahnabfahrt) ja Zeit mir diese anzuschauen deshalb ist das gut so"</i>	Naujoks et al., 2019 TU Darmstadt, Befragung II
	Komplexität des Systems reduzieren	Die Komplexität des Systems sollte reduziert werden, sodass relevante Informationen schnell wahrgenommen werden können.	Clark et al., 2019 Vollrath et al., 2009
Darstellungsform	ablenkende Reize vermeiden	Durch die alterskorreliert verschlechterten Inhibitionsprozesse ist darauf zu achten, relevante Informationen ohne Ablenkreize darzustellen.	Poschadel et al., 2012
	Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Manövers erhöhen	Sowohl der Grund für das Manöver als auch das Manöver selbst sollten transparent und nachvollziehbar im Display dargestellt sein.	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	Herstellung eines unmittelbaren Situationsverständnis unterstützen	Informationen die zur Erfassung der Ist-Situation relevant sind, sollten im Display hervorgehoben werden. z.B. <i>"Straßenschilder sollten hervorgehoben werden um die Situation schneller erfassen zu können"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
	Differenzierung zwischen Primär- & Sekundärinformationen	Sowohl die Primärinformation als auch die Sekundärinformation sollte über das Display mitgeteilt werden. Dabei sollte die Primärinformation von der Sekundärinformation über Position, Farbgebung, Blinken und/oder Größe auf dem Display abgegrenzt werden.	TU Darmstadt, Befragung II
	auf konsistenten Informationsinhalt in verschiedenen Situationen achten	Die Gestaltung und Anordnung der Informationselemente sollte über verschiedene Situationen hinweg einheitlich sein. <i>"Die Anordnung der Informationen auf dem Display sollte bei Raststätte & TOR gleich sein, das würde die Orientierung erleichtern"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
	gruppierte Anordnung nach Inhalt & Priorität	Es ist darauf zu achten, dass die erforderlichen Informationen zur Erfassung des Systemzustands gruppiert und auf einen Blick zu erfassen sind.	Naujoks et al., 2019 TU Darmstadt, Befragung I

	Fahrmodi durch unterschiedliche Farben kennzeichnen	Eine dauerhafte Farbgebung der Frontpartie bzw. des Armaturenbretts kann zur eindeutigen Signalisierung des manuellen und automatisierten Fahrmodus dienen und die Gefahr einer „Mode Confusion“ mindern. <i>„Die Änderung des Farbrahms des Displays zwischen automatisierter und manueller Fahrt ist erlernbar und hilfreich.“</i>	Clark et al., 2019 TU Darmstadt, Befragung I
	Dringlichkeit der Information durch Schriftfarbe kennzeichnen	Die Schriftfarbe sollte der Dringlichkeit der Nachricht angepasst werden, um eine hierarchische Ausgestaltung zu gewährleisten.	Li, Blythe, et al., 2019b
	Kombination aus wachsamkeitserregenden & erklärenden Hinweisen nutzen	Wachsamkeitserregende Hinweise sollten über rote Farbe und Blinken von erklärenden Hinweisen abgegrenzt werden.	TU Darmstadt, Befragung II
	Berücksichtigung von und Rückgriff auf erlernte Assoziationen	Für die Gestaltung des Displays sollte auf Bekanntes zurückgegriffen werden. Effizienz durch Rückgriff auf erlernte Assoziationen ist wichtiger als Originalität. <i>„Alles was modern ist, muss nicht gut sein, muss erst gelernt werden“</i> Die etablierten Bedeutung bereits bekannter Gestaltungselemente (z.B. Blinken und rote Farbe) ist zu berücksichtigen. <i>„Blinken nicht passend, da Blinken Achtung, irgendetwas ist kaputt oder ist am Kaputtgehen bedeutet, wenn etwas im Kombiinstrument blinkt, ist es meist nicht gut“</i>	TU Darmstadt, Befragung II
Farbe & Blinken	Orientierungshilfen abhängig vom Erfahrungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen bieten	Fahrenden mit wenig Erfahrung mit automatisierten Fahrzeugen sollten Orientierungshilfen durch Farbgebung und/oder Blinken geboten werden.	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	Wahl der Farbe	Die Kombination aus blau und gelb ist aufgrund der Wellenlänge irritierend für das Auge. Im Dunkeln könnte der Kontrast zwischen gelb und blau zu gering sein um einen Unterschied erkennen zu können. Schwarz weiß ist besser geeignet. Es ist zu beachten, dass rote oder grüne Farbe bereits bewertend sind. Die gelbe Farbe wird im Vergleich zur roten Farbe als weniger aufmerksamkeitsregend empfunden. Gelb ist angenehm und lenkt den Blick auf die Information. Rot sollte als Eskalationsstufe genutzt werden. Rot ist schlecht zu lesen und unangenehm.	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	geringe Anzahl verschiedener Farben verwenden	Eine zu hohe Anzahl verschiedener Farben sollte vermieden werden. <i>„also ich würde es auch nicht wollen, wenn das jetzt alles so ganz viel wäre und würde meine Aufmerksamkeit so darauf lenken, welche Farbe was bedeutet.“</i>	TU Darmstadt, Befragung II
	Verständlichkeit sicherstellen	Es ist eine einfache und für jeden verständliche Sprache zu wählen, Fachbegriffe sollten vermieden werden.	TU Darmstadt, Befragung II
Text & Symbole	Berücksichtigung von und Rückgriff auf erlernte Assoziationen	Für die Gestaltung des Displays sollte auf Bekanntes zurückgegriffen werden. Effizienz durch Rückgriff auf erlernte Assoziationen ist wichtiger als Originalität. <i>„Alles was modern ist, muss nicht gut sein, muss erst gelernt werden“</i> Die etablierten Bedeutung bereits bekannter Gestaltungselemente (z.B. Blinken und rote Farbe) ist zu berücksichtigen. <i>„Blinken nicht passend, da Blinken Achtung, irgendetwas ist kaputt oder ist am Kaputtgehen bedeutet, wenn etwas im Kombiinstrument blinkt, ist es meist nicht gut“</i>	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	Abwägung zwischen Komfort und Sicherheitsaspekten	Es sollte auf einen sparsamen Einsatz der gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken) geachtet werden, da dieser bei zu hoher Signalfrequenz als störend empfunden wird und die Gefahr von Gewohnheitseffekten und einer geringen Akzeptanz besteht. Es sollte auf einen gezielten Einsatz einer gesteigerten Kommunikationsintensität (Farbgebung, Blinken) in relevanten Situationen geachtet werden.	TU Darmstadt, Befragung II
Signalfrequenz & Signalintensität	Berücksichtigung von Dispositions- und Qualifikationsmerkmalen	Für unroutinierte Fahrende sollte eine ausführlichere Sprachansage gewählt werden. <i>„Am Anfang ist die Sprache gut aber mit zunehmendem Vertrauen nervt alles was eigentlich nur bestätigt, dass etwas ok ist und keine Aktivität erfordert“</i> Bei der Gestaltung der visuellen Kommunikation müssen altersbedingte Leistungsdefizite berücksichtigt werden (evtl. Notwendigkeit verschiedener Profile).	TU Darmstadt, Befragung II
	Displays im Bereich des Blickfeldes auf die Straße verwenden	Die Mittelkonsole wird von Älteren kaum als Informationsquelle genutzt. Zur Informationsübermittlung sollten daher Displays verwendet werden die sich im Bereich des Blickfeldes auf die Straße befinden: Kombiinstrument oder HUD.	Clark et al., 2019
Anzeigeort	Verwendung von Augmented Reality	Augmented Reality (AR) Head-Up-Displays bieten die Möglichkeit, das globale Situationsbewusstsein um zielrelevante Informationen zu ergänzen und das im Alter eingeschränkte vertikale und horizontale Blickverhalten zu lenken. Durch die Nutzung von AR Head-Up-Displays entfällt der Wechsel zwischen Fern- und Naheinstellung des Auges, der durch die im Alter beeinträchtigte Adaptionsfähigkeit des Auges erschwert wird. Augmented-Reality-Informationen weisen Potential für die Unterstützung des Entscheidungsprozesses in kritischen Gefahrensituationen auf.	Molnar et al., 2017



akustisch			
	Sprachausgabe gegenüber Ton bevorzugen	Die Sprachausgabe ist aufgrund ihres höheren Informationsgehalts gegenüber dem Ton zu bevorzugen, um Komfort sowie Sicherheitsempfinden zu erhöhen. <i>"Bei der Sprache weiß ich sofort was los ist, beim Ton muss ich mich erst orientieren, das verunsichert"</i>	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
	Anpassung der Kommunikation an den Erfahrungsgrad mit automatisierten Fahrzeugen	Die Wahl der Modalität ist abhängig vom Erfahrungsgrad des Fahrenden mit Automatisierten Fahrzeugen: - Zu Beginn ist die Sprachausgabe zur akustischen Informationsübermittlung zu bevorzugen. - Wenn Vertrauen gefasst wurde, ist der Ton als akustisches Signal oder auch die Kommunikation ohne akustisches Signal nur über die visuelle Modalität denkbar. <i>"Am Anfang ist die Sprache gut aber mit zunehmendem Vertrauen nervt alles was eigentlich nur bestätigt, dass etwas ok ist und keine Aktivität erfordert"</i>	TU Darmstadt Befragung II
Ton			
Anwendung	Kombination aus wachsamkeitserregenden & erklärenden Hinweisen	Einsatz eines Ton Signals nur in Kombination mit weiteren erklärenden Hinweisen, da ein Ton lediglich wachsamkeitserregend aber nicht erklärend ist und durch fehlende Zuordnung irritieren und verunsichern kann. <i>"Bei der Sprache weiß ich sofort was los ist, beim Ton muss ich mich erst orientieren, das verunsichert"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
Bereitstellungsform	Berücksichtigung von und Rückgriff auf erlernte Assoziationen	Berücksichtigung der etablierten Bedeutung bereits bekannter Tonfolgen <i>"Alles was modern ist, muss nicht gut sein, muss erst gelernt werden"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
Signalfrequenz & Signalintensität	Abwägung zwischen Komfort und Sicherheitsaspekten	Es sollte auf einen sparsamen Einsatz der gesteigerten Kommunikationsintensität (laute Töne) geachtet werden, da dieser bei zu hoher Signalfrequenz als störend empfunden wird und die Gefahr von Gewohnheitseffekten und einer geringen Akzeptanz besteht. Es sollte auf einen gezielten Einsatz einer gesteigerten Kommunikationsintensität (laute Töne) in relevanten Situationen geachtet werden.	TU Darmstadt, Befragung II
Sprachausgabe			
Anwendung	Schaffen einer Erwartungshaltung	Ein akustischer Hinweis bei einer Manöveränderung (Querbewegung) ist hilfreich, um eine Erwartungshaltung für die Richtungsänderung zu schaffen. <i>"Keine Warnung würde beim Abfahren/Richtungswechsel zum Aufschrecken führen"</i>	TU Darmstadt Befragung II
	Übermittlung einer Handlungsaufforderung	Die Sprachausgabe ist dabei aufgrund des höheren Informationsgehalts gegenüber dem Ton zu bevorzugen (um Komfort und Sicherheitsempfinden zu erhöhen). Zur Übermittlung einer Handlungsaufforderung sollte eine Sprachausgabe genutzt werden. <i>"Beim TOR ist die Sprache wichtiger als die Anzeige auf dem Bildschirm, bei der Raststätte ist sie auch hilfreich, könnte aber auch nervig sein"</i>	TU Darmstadt Befragung II
Stimme	eine männliche Stimme wird besser wahrgenommen aber eine weibliche Stimme wird bevorzugt	Für ein vergleichbares Wirkungsniveau der männlichen Stimme erfordert die computergenerierte weibliche Stimme eine wesentlich stärkere Intensität. Angesichts der ohnehin schlechteren Bewertung von Lautstärke und Gesamtwirksamkeit der weiblichen gegenüber der männlichen Computerstimme, leitet der altersbedingt beeinträchtigte Hörsinn zur Empfehlung der Verwendung einer männlichen synthetischen Stimme über, obwohl die weibliche Stimme von Älteren bevorzugt wird.	Bazilinskyy & de Winter, 2015
	Eindeutigkeit der Kommunikation	Bei Sprachansagen ist auf die Eindeutigkeit der Kommunikation zu achten - egozentrisch vs. allozentrisch <i>"es wird gesagt "Fahrzeug hält an" meint er jetzt mein Fahrzeug oder das, dass von rechts kommt"</i>	TU Darmstadt, Befragung I
Kommunikationsstil	sicherheitskritische Informationen in einem Befehlsstil mitteilen	Für die Eindeutigkeit und Abgrenzung gegenüber weniger dringlichen Routineinformationen sollten sicherheitskritische Informationen in einem Befehlsstil und einer lauten, klaren, ernsthaften, aber nicht panikerursachenden Stimme mitgeteilt werden	Li, Blythe, et al., 2019b
	Routineinformationen mit einer sanften und entspannten Stimmlage mitteilen	Für unkritische Routineinformationen scheint ein informativer Kommunikationsstil und der Einsatz einer sanften und entspannten Stimmlage geeignet zu sein.	Li, Blythe et al., 2019b
	Verständlichkeit sicherstellen	Es ist eine einfache und für jeden verständliche Sprache zu wählen, Fachbegriffe sollten vermieden werden.	TU Darmstadt, Befragung II
Signalfrequenz & Signalintensität	Abwägung zwischen Komfort und Sicherheitsaspekten	Es sollte auf einen sparsamen Einsatz der gesteigerten Kommunikationsintensität (z.B. Veränderung der Stimmlage) geachtet werden, da dieser bei zu hoher Signalfrequenz als störend empfunden wird und die Gefahr von Gewohnheitseffekten und einer geringen Akzeptanz besteht. Es sollte auf einen gezielten Einsatz einer gesteigerten Kommunikationsintensität (z.B. Veränderung der Stimmlage) in relevanten Situationen geachtet werden.	TU Darmstadt, Befragung II
	Berücksichtigung von Persönlichkeitsfaktoren	Ängstlichen, unsicheren Fahrenden sollte die Möglichkeit gegeben werden, eine ausführlichere Sprachansage wählen zu können.	TU Darmstadt Befragung II



taktil

Anwendung	Differenzierung der Kommunikationsart zwischen bevorstehender Längs- und Querbeschleunigung	Bei Veränderungen in der Längsbewegung des Fahrzeugs ist eine implizite Kommunikation durch die Bewegung des Fahrzeugs möglich. <i>"Ich brauche keine Information, dass er bremst, das merke ich ja durch die Bewegung"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
	taktile Signale nutzen um Aufmerksamkeit zu erregen aber nicht um Informationen zu übermitteln	Bei Veränderungen in der Querbewegung des Fahrzeugs ist eine explizite Kommunikation durch ein akustisches Signal notwendig, um eine Erwartungshaltung zu schaffen. <i>"Keine Warnung würde beim Abfahren/Richtungswechsel zum Aufschrecken führen"</i>	
		Durch die fehlende Zuordnung des Signals zur Übernahmeaufforderung ist im Fall der taktilen Modalität mit einer erhöhten Reaktionszeiten zu rechnen.	Petermann-Stock et al., 2015

Kombination verschiedener Modalitäten

Signalfrequenz & Signalintensität	Kognitive Überlastung vermeiden	Im Falle einer Kombination verschiedener Modalitäten ist auf die Abstimmung der Informationen untereinander zu achten. <i>"Die Kombination aus Sprache, Text, Farbe und Blinken ist zu viel"</i> Die Beanspruchung sollte auf die verschiedenen Sinneskanäle aufgeteilt und für die einzelnen Sinneskanäle möglichst reduziert werden. <i>"Lieber kurze Schlagworte wie "Achtung Zebrastreifen" oder "Achtung Vorfahrt" verwenden, es ist klar, dass das Fahrzeug bremst, wenn ein Fußgänger erkannt wurde"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
-----------------------------------	---------------------------------	--	----------------------------

B Katalog – Situationspezifische Gestaltungshinweise zur HMI Gestaltung für ältere Fahrende

Situationspezifische Gestaltungshinweise			
Differenzierung nach Art der Mitteilung			
Information	Differenzierung nach dem Streckentyp	Die Kommunikation sollte an die Bekanntheit des Streckenabschnittes angepasst werden, sodass auf unbekanntem Strecken umfangreichere Informationen bereitgestellt werden (nähere Informationen zur Route, zu Verkehrsregeln, zu Raststätten etc.).	TU Darmstadt, Befragung I
		Die Kommunikation sollte an die Verkehrsdichte des Streckenabschnittes angepasst werden, sodass auf Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden, um Ablenkung zu vermeiden, wenn der Fahrende den Blick auf das Verkehrsgeschehen gerichtet hat.	TU Darmstadt, Befragung II
	Selbstbestimmtes, verantwortungsvolles und effizientes Handeln ermöglichen	Es sollten Personen- und situationsbezogene Informationen bereitgestellt werden, um den Fahrenden eine effiziente selbstbestimmte und verantwortungsvolle Entscheidung und Handlung zu ermöglichen. Bevormundung sollte dabei vermieden werden. <i>"Hinweise auf Müdigkeit, Tankfüllung und verbleibende Zeit bis zum Ziel sind gut, aber das System sollte nicht übergriffig werden und mich bevormunden"</i>	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
Aufforderung	Codierung von Dringlichkeit/Kritikalität	Die Gestaltung der Aufforderung sollte durch farbliche und/oder dynamische (z.B. blinkende) Elemente die Dringlichkeit und Kritikalität des Handlungsbedarfs kennzeichnen. <i>"die rote Schrift sollte nur bei einer kritischen Übergabe oder als Eskalationsstufe genutzt werden"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
	Gestaltungselemente für auffordernde Hinweise verwenden	Nutzung einer höheren Gestaltungsintensität für auffordernde Hinweise: - Die Sprachausgabe hat eine auffordernde Wirkung. - Eine farbliche Markierung hat eine auffordernde Wirkung. - Eine dynamische Gestaltung hat eine auffordernde Wirkung (z.B. Blinken).	TU Darmstadt, Befragung II
	Differenzierung zwischen optionalem und zwingenden Charakter	Nutzung einer höheren Gestaltungsintensität für auffordernde Hinweise: - Die Sprachausgabe hat eine zwingende Wirkung. - Eine farbliche Markierung sowie eine dynamische Gestaltung haben einen zwingenden Charakter.	TU Darmstadt, Befragung II
Differenzierung nach der Kritikalität			
Anpassung der Kommunikationsintensität an die empfundene Kritikalität des Verkehrsszenarios		In kritisch empfundenen Situationen wird eine höhere akustische und visuelle Intensität gefordert. Eine zu hohe Intensität kann allerdings in unkritisch empfundenen Situationen irritieren und verunsichern. <i>"Die Kontrollübernahmeaufforderung und die Frage, ob an der Raststätte eine Pause eingelegt werden soll, sollten nicht gleich aussehen. Bei der Kontrollübergabe ist die rote Farbe und das Blinken gut, weil das ja eine kritische Situation ist. Bei der Raststätte ist das Blinken aber völlig übertrieben, das stresst mich eher, obwohl ja eigentlich nichts kritisches passiert"</i>	TU Darmstadt, Befragung II
Differenzierung nach der Komplexität			
Anpassung der Kommunikation an die Verkehrsdichte der Strecke		Vor Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte sollte ein Hinweis erfolgen, der die Anpassung der Aufmerksamkeit an die bevorstehende Verkehrssituationen ermöglicht, um häufige Aufmerksamkeitswechsel zwischen NDRT und HMI zu vermeiden. <i>"akustisches Signal vor der Stadteinfahrt, dann würde die Aufmerksamkeit komplett der Fahrsituation gewidmet werden und kein akustisches Signal mehr erforderlich sein"</i>	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II
Anpassung der Kommunikation an die Bekanntheit der Strecke		Die Kommunikation sollte an die Verkehrsdichte des Streckenabschnittes angepasst werden, sodass auf Streckenabschnitten mit hoher Verkehrsdichte weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden um Ablenkung zu vermeiden, wenn der Fahrende den Blick auf das Verkehrsgeschehen gerichtet hat. Die Kommunikation sollte an die Bekanntheit des Streckenabschnittes angepasst werden, sodass auf bekannten Streckenabschnitten weniger umfangreiche Informationen bereitgestellt werden als auf unbekanntem Streckenabschnitten.	TU Darmstadt, Befragung I TU Darmstadt, Befragung II

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2016)

Nr.	Titel
283	Verformungs- und Versagensverhalten von Stählen für den Automobilbau unter crashartiger mehrachsiger Belastung, 2016
284	Entwicklung einer Methode zur Crashsimulation von langfaserverstärkten Thermoplast (LFT) Bauteilen auf Basis der Faserorientierung aus der Formfüllsimulation, 2016
285	Untersuchung des Rollwiderstands von Nutzfahrzeugreifen auf realer Fahrbahn, 2016
286	χ MCF - A Standard for Describing Connections and Joints in the Automotive Industry, 2016
287	Future Programming Paradigms in the Automotive Industry, 2016
288	Laserstrahlschweißen von anwendungsnahen Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2016
289	Untersuchung der Bewältigungsleistung des Fahrers von kurzfristig auftretenden Wiederübernahmesituationen nach teilautomatischem, freihändigem Fahren, 2016
290	Auslegung von geklebten Stahlblechstrukturen im Automobilbau für schwingende Last bei wechselnden Temperaturen unter Berücksichtigung des Versagensverhaltens, 2016
291	Analyse, Messung und Optimierung des Ventilationswiderstands von Pkw-Rädern, 2016
292	Innenhochdruckumformen laserstrahlgelöteter Tailored Hybrid Tubes aus Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für den automobilen Leichtbau, 2017
293	Filterung an Stelle von Schirmung für Hochvolt-Komponenten in Elektrofahrzeugen, 2017
294	Schwingfestigkeitsbewertung von Nahtenden MSG-geschweißter Feinbleche aus Stahl unter kombinierter Beanspruchung, 2017
295	Wechselwirkungen zwischen zyklisch-mechanischen Beanspruchungen und Korrosion: Bewertung der Schädigungsäquivalenz von Kollektiv- und Signalformen unter mechanisch-korrosiven Beanspruchungsbedingungen, 2017
296	Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstraßeninfrastruktur, 2017
297	Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfeldern beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen, 2017
298	Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes von realen Nutzfahrzeugen im Fahrversuch und Vergleich verschiedener Verfahren zur numerischen Simulation, 2017
299	Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen, 2017
300	Thermisches Rollwiderstandsmodell für Nutzfahrzeugreifen zur Prognose fahrprofilspezifischer Energieverbräuche, 2017
301	The Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter in Ambient Air, 2017
302	Design Paradigms for Multi-Layer Time Coherency in ADAS and Automated Driving (MULTIC), 2017
303	Experimentelle Untersuchung des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit von Scheiben auf die Kondensatbildung, 2017
304	Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter realen Umgebungsbedingungen, 2018
305	Simulationsgestützte Methodik zum Entwurf intelligenter Energiesteuerung in zukünftigen Kfz-Bordnetzen, 2018

- 306 Einfluss der Kantenbearbeitung auf die Festigkeitseigenschaften von Stahl-Feinblechen unter quasistatisch und schwingender Beanspruchung, 2018
- 307 Fahrerspezifische Aspekte beim hochautomatisierten Fahren, 2018
- 308 Der Rollwiderstand von Nutzfahrzeugreifen unter zeitvarianten Betriebsbedingungen, 2018
- 309 Bewertung der Ermüdungsfestigkeit von Schraubverbindungen mit gefurchem Gewinde, 2018
- 310 Konzept zur Auslegungsmethodik zur Verhinderung des selbsttätigen Losdrehens bei Bauteilsystemen im Leichtbau, 2018
- 311 Experimentelle und numerische Identifikation der Schraubenkopfverschiebung als Eingangsgröße für eine Bewertung des selbsttätigen Losdrehens von Schraubverbindungen, 2018
- 312 Analyse der Randbedingungen und Voraussetzungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr, 2018
- 313 Charakterisierung und Modellierung des anisotropen Versagensverhaltens von Aluminiumwerkstoffen für die Crashsimulation, 2018
- 314 Definition einer „Äquivalenten Kontakttemperatur“ als Bezugsgröße zur Bewertung der ergonomischen Qualität von kontaktbasierten Klimatisierungssystemen in Fahrzeugen, 2018
- 315 Anforderungen und Chancen für Wirtschaftsverkehre in der Stadt mit automatisiert fahrenden E-Fahrzeugen (Fokus Deutschland), 2018
- 316 MULTIC-Tooling, 2019
- 317 EPHoS: Evaluation of Programming - Models for Heterogeneous Systems, 2019
- 318 Air Quality Modelling on the Contribution of Brake Wear Emissions to Particulate Matter Concentrations Using a High-Resolution Brake Use Inventory, 2019
- 319 Dehnratenabhängiges Verformungs- und Versagensverhalten von dünnen Blechen unter Scherbelastung, 2019
- 320 Bionischer LAM-Stahlleichtbau für den Automobilbau – BioLAS, 2019
- 321 Wirkung von Systemen der aktiven, passiven und integralen Sicherheit bei Straßenverkehrsunfällen mit schweren Güterkraftfahrzeugen, 2019
- 322 Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen - Umsetzung und Anwendung, 2019
- 323 Transitionen bei Level-3-Automation: Einfluss der Verkehrsumgebung auf die Bewältigungsleistung des Fahrers während Realfahrten, 2019
- 324 Methodische Aspekte und aktuelle inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption experimenteller Studien zum hochautomatisierten Fahren, 2020
- 325 Der Einfluss von Wärmeverlusten auf den Rollwiderstand von Reifen, 2020
- 326 Lebensdauerberechnung hybrider Verbindungen, 2020
- 327 Entwicklung der Verletzungsschwere bei Verkehrsunfällen in Deutschland im Kontext verschiedener AIS-Revisionen, 2020
- 328 Entwicklung einer Methodik zur Korrektur von EES-Werten, 2020
- 329 Untersuchung zu den Einsatzmöglichkeiten der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung zur Entwicklung von 3D-Rahmenstrukturen in Crashlastfällen, 2020
- 330 Analyse der Einflussfaktoren auf die Abweichung zwischen CFD und Fahrversuch bei der Bestimmung des Luftwiderstands von Nutzfahrzeugen, 2020
- 331 Effiziente Charakterisierung und Modellierung des anisotropen Versagensverhaltens von LFT für Crashsimulation, 2020

- 332 Charakterisierung und Modellierung des Versagensverhaltens von Komponenten aus duktilem Gusseisen für die Crashesimulation, 2020
- 333 Charakterisierung und Meta-Modellierung von ungleichartigen Punktschweißverbindungen für die Crashesimulation, 2020
- 334 Simulationsgestützte Analyse und Bewertung der Fehlertoleranz von Kfz-Bordnetzen, 2020
- 335 Absicherung des autonomen Fahrens gegen EMV-bedingte Fehlfunktion, 2020
- 336 Auswirkung von instationären Anströmeffekten auf die Fahrzeugaerodynamik, 2020
- 337 Analyse von neuen Zell-Technologien und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem Batteriepack, 2020
- 338 Modellierung der Einflüsse von Mikrodefekten auf das Versagensverhalten von Al-Druckgusskomponenten mit stochastischem Aspekt für die Crashesimulation, 2020
- 339 Stochastisches Bruchverhalten von Glas, 2020
- 340 Schnelle, breitbandige Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzung für das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2021
- 341 Wasserstoffkompatibilität von Aluminium-Legierungen für Brennstoffzellenfahrzeuge, 2021
- 342 Anforderungen an eine elektrische Lade- und Wasserstoffinfrastruktur für gewerbliche Nutzfahrzeuge mit dem Zeithorizont 2030, 2021
- 343 Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process, 2021
- 344 Review of non-exhaust particle emissions from road vehicles, 2021
- 345 Ganzheitliche Betrachtung von Rollwiderstandsverlusten an einem schweren Sattelzug unter realen Umgebungsbedingungen, 2021
- 346 Studie zur Abschätzung der Anwendungspotentiale, Risiken und notwendigen Forschungsbedarfe bei der Verwendung von Glashohlkugeln in Kombination mit thermoplastischem Schaumspritzguss, 2021
- 347 Typgenehmigungsanforderungen an Level-3-Autobahnssysteme - Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen für eine automatisierte Fahrfunktion, 2021
- 348 Einfluss der Kantenbearbeitung von Aluminiumblechen auf das Restumformvermögen sowie die Festigkeitseigenschaften unter quasistatischer und schwingender Beanspruchung, 2021
- 349 Verstärkung dünner formgehärteter Bauteile mittels FVK-Verrippungen, 2021
- 350 HMI Anforderungen für den automatisierten Individualverkehr unter Berücksichtigung von Leistungsmöglichkeiten und -grenzen älterer Nutzer, 2021

Impressum

Herausgeber	FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Behrenstraße 35 10117 Berlin Telefon +49 30 897842-0 Fax +49 30 897842-600 www.vda-fat.de
ISSN	2192-7863
Copyright	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2021

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de
Twitter @VDA_online

VDA | Verband der
Automobilindustrie

Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de/fat

FAT | Forschungsvereinigung
Automobiltechnik