

Verkehrssicherheit und automatisierte Mobilität M7174

Studie A: Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen in
unterschiedlichen Teilbereichen

Band 100



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Inhaltliche Erarbeitung:

Projektverantwortlicher Autorinnen und Autoren: Aggelos Soteropoulos, Lena Zeisel,
Alexander Fördös, Dominik Schallauer, Wolfram Klar – AustriaTech

Wien, 28.02.2023

Schriftenleitung: Dipl.-Ing. Alexander Nowotny

Erklärung der Schriftenleitung:

Die in diesem Band enthaltenen Aussagen müssen nicht notwendigerweise mit denen des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie übereinstimmen. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an road.safety@bmk.gv.at.

Inhalt

1 Einleitung.....	6
2 Grundlagen der Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug.....	9
2.1 Kommunikation und Kommunikationsmodelle.....	9
2.2 Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug	10
2.2.1 Kommunikationsmittel / Kooperations- und Kollaborationsprinzipien	12
2.3 Mensch-Maschine Interaktion im Straßenverkehr.....	13
2.3.1 Fahrzeug-interne Kommunikation.....	14
2.3.2 Fahrzeug-externe Kommunikation	14
2.4 Grundsätzliche Gestaltungsleitsätze für Mensch-Maschine Interaktion	15
3 Wandel der Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug durch Automatisierung und Bedeutung für die Verkehrssicherheit.....	17
3.1 Wandel im Straßenverkehr von einer Mensch-zu-Mensch-Interaktion zu einer zunehmenden Mensch-Maschine Interaktion	17
3.2 Grundlegende Implikationen des Wandels für die Verkehrssicherheit	21
4 Aspekte der Interaktion bestehender automatisierter Systeme (Level 1, 2) mit Menschen	24
4.1 Einteilung von Fahrassistenzsystemen und verwendete Kommunikationsmittel	25
4.2 Überblick über Informations- und Kommunikationsbereiche sowie Ein- und Ausgabemodalitäten bei Fahrassistenzsystemen innerhalb des Fahrzeugs.....	28
4.3 MMI-Aspekte und Grenzen bei ausgewählten Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen	29
4.3.1 Adaptive Cruise Control bzw. Adaptiver Tempomat (ACC).....	29
4.3.2 Spurhalteassistent	31
4.3.3 Spurwechselassistent.....	32
4.3.4 Autobahn- und Stauassistent.....	33
4.4 Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion bei Fahrassistenzsystemen in Fahrzeugen vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit	34
4.4.1 Verständliche und klare Darstellung des Zustands des Systems.....	34
4.4.2 Gezielte Bereitstellung von Information und Wahl des Kommunikationskanals	34
4.4.3 Minimierung von unerwartetem Verhalten des Systems bzw. entsprechende Warnung vor bzw. in relevanten Situationen	35
4.5 Berücksichtigung von besonderen Aspekten spezifischer Personengruppen	37
4.5.1 Visuelle Einschränkungen und MMI	38
4.5.2 Auditive Einschränkungen und MMI	39
4.5.3 Physische Einschränkungen und MMI	39

4.5.4	Kognitive Einschränkungen und MMI.....	39
4.6	Exkurs: Tier-Maschine Interaktion.....	41
5	Aspekte der Interaktion zukünftiger Systeme (Level 3, 4) mit Menschen	42
5.1	Aspekte zukünftiger Systeme im Bereich der Fahrzeug-internen Interaktion.....	42
5.2	Aspekte zukünftiger Systeme im Bereich der Fahrzeug-externen Interaktion	44
5.2.1	Arten von zu kommunizierender Information.....	46
5.2.2	Explizite Kommunikation	47
5.2.3	Implizite Kommunikation.....	52
5.2.4	Diskussion zu expliziter und impliziter Kommunikation und Wirkungen.....	53
5.2.5	Explizite Kommunikation: Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge bzw. automatisierten Fahrens.....	56
6	Verhaltensbezogene Konsequenzen durch automatisierte Systeme	60
6.1	Fahrzeug-interne Kommunikation.....	61
6.1.1	Mangelndes Situationsbewusstsein	61
6.1.2	Verringerung der Daueraufmerksamkeit und Übernahmeproblematik	62
6.1.3	Ablenkung durch Bedienung und Nebentätigkeiten	65
6.1.4	Risikoreicherer Fahrstil / Missbrauch des Sicherheitsgewinns	67
6.1.5	Verlust von Fertigkeiten.....	67
6.2	Fahrzeug-externe Kommunikation	67
6.2.1	Unachtsames Verhalten anderer Verkehrsteilnehmender	67
6.3	Weitere zu berücksichtigende Aspekte	69
6.3.1	Falscher Gebrauch und Nicht-Nutzung der Systeme durch mangelndes Verständnis über die Systeme	69
7	Fazit, Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf.....	70
7.1	Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse.....	70
7.1.1	Veränderungen durch die Automatisierung für die Kommunikation im Straßenverkehr.....	70
7.1.2	Unterschiede im Bereich der Kommunikation bestehender Systeme (Level 1, 2) mit den Menschen	71
7.1.3	Externe Kommunikation bei zukünftigen Systemen (Level 4) und Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge für externe Verkehrsteilnehmende	72
7.1.4	Verhaltensbezogene Konsequenzen bestehender Systeme (Level 1, 2) und zukünftiger Systeme (Level 3, 4) vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit	74
7.2	Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf.....	75
7.2.1	Fahrzeug/Technologie	75
7.2.2	Information und Ausbildung.....	78
7.2.3	Forschung.....	79

Tabellenverzeichnis.....	83
Abbildungsverzeichnis.....	84
Literaturverzeichnis	85
Abkürzungen.....	97

1 Einleitung

Der Straßenverkehr ist bereits heute durch eine Vielzahl von Interaktionen zwischen Menschen geprägt (vgl. Färber 2015). Mit der Automatisierung erfolgt ein zunehmender Wandel hin zu einer Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen. Hierbei verändert sich sowohl die Interaktion im Fahrzeug (von Rückmeldungen an die/den menschliche/n Fahrer:in zu direkter Kommunikation mit dem Steuerungsalgorithmus des Fahrzeugs) als auch außerhalb des Fahrzeugs (von der Kommunikation und Kooperation zwischen menschlichen Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmenden zu Kommunikation und Kooperation zwischen automatisierten Fahrzeugen und nicht-motorisierten bzw. nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmenden) immer stärker (vgl. Deublein 2020). Im Bereich bestehender und zunehmend in neuen Fahrzeugen verbauten Fahrassistenzsystemen (FAS) kommen bereits heute eine Vielzahl von verschiedenen Kommunikationsmitteln zur Anwendung, in der Anwendung der Systeme müssen jedoch die Unterschiede bei den Kommunikationsmitteln sowie die Grenzen der einzelnen Systeme berücksichtigt werden. Im Bereich der externen Kommunikation mit anderen (insbesondere ungeschützten) Verkehrsteilnehmenden, die besonders bei zukünftigen Systemen von Relevanz ist, ist vor allem die Frage, ob und wie automatisierte Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmenden interagieren und kommunizieren sollen bzw. müssen noch weitgehend ungeklärt. Sowohl bei der Kommunikation bestehender als auch zukünftiger Systeme müssen aber etwaige, besondere Aspekte spezifischer Personengruppen sowie unterschiedlicher Verkehrsarten mitberücksichtigt werden. Betrachtet man die Interaktion von Menschen mit automatisierten Systemen in Fahrzeugen im Kontext der Verkehrssicherheit müssen auch die verhaltensbezogenen Konsequenzen bei bestehenden Systemen (z. B. Ablenkung von der Fahraufgabe durch die Bedienung der Systeme etc.) sowie bei zukünftigen Systemen (z. B. Reaktionszeiten bei der Übergabe vom System an die/den menschliche/n Fahrer:in bei Level-3 Fahrzeugen) Berücksichtigung finden und entsprechend adressiert werden (vgl. Ewert 2014, Sullivan et al. 2016).

Ziel der vorliegenden Studie „Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen in unterschiedlichen Teilbereichen“, mit der die im Aktionspaket Automatisierte Mobilität 2019-2022 (vgl. Bmvi 2018) enthaltene Studie A der Maßnahme 7.1 umgesetzt wird, ist es daher einen Überblick darüber zu geben, wie automatisierte Systeme und Menschen in unterschiedlichen Teilbereichen miteinander agieren. Hierzu

erfolgt die Betrachtung der internen und externen Kommunikation von automatisierten Systemen und Menschen und eine diesbezügliche Sammlung des aktuellen Kenntnisstands bei bestehenden Systemen (Level 1, 2) und zukünftigen Systemen (Level 3, 4). Darauf aufbauend werden am Ende der Studie relevante Aspekte aus Sicht der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) und Verkehrssicherheit angeführt. Diese finden insbesondere in den Studien zu den Themen „Neue Qualitätsparameter, zukünftige Vertrauensgrundsätze sowie Ausbildungs- und Vermittlungskonzepte für künftige Aufgaben bei der Verkehrsteilnahme“ (Studie C) und „Wertschöpfungspotentiale, insbesondere im Bereich der Verkehrssicherheit“ (Studie D) Berücksichtigung.

Im Vordergrund der Studie stehen dabei die folgenden Forschungsfragen:

- Welche Veränderungen bringt die Automatisierung für die Kommunikation im Straßenverkehr (intern und extern)?
- Welche Unterschiede im Bereich der Kommunikation bestehender Systeme mit den Menschen (z. B. eingesetzte Kommunikationsmittel) gibt es?
- Braucht es eine Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge für externe Verkehrsteilnehmende aus Sicht der Verkehrssicherheit? Welche Kommunikationsmittel sind aus Sicht der Verkehrssicherheit effektiver?
- Was sind verhaltensbezogene Konsequenzen bestehender und zukünftiger Systeme vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit?

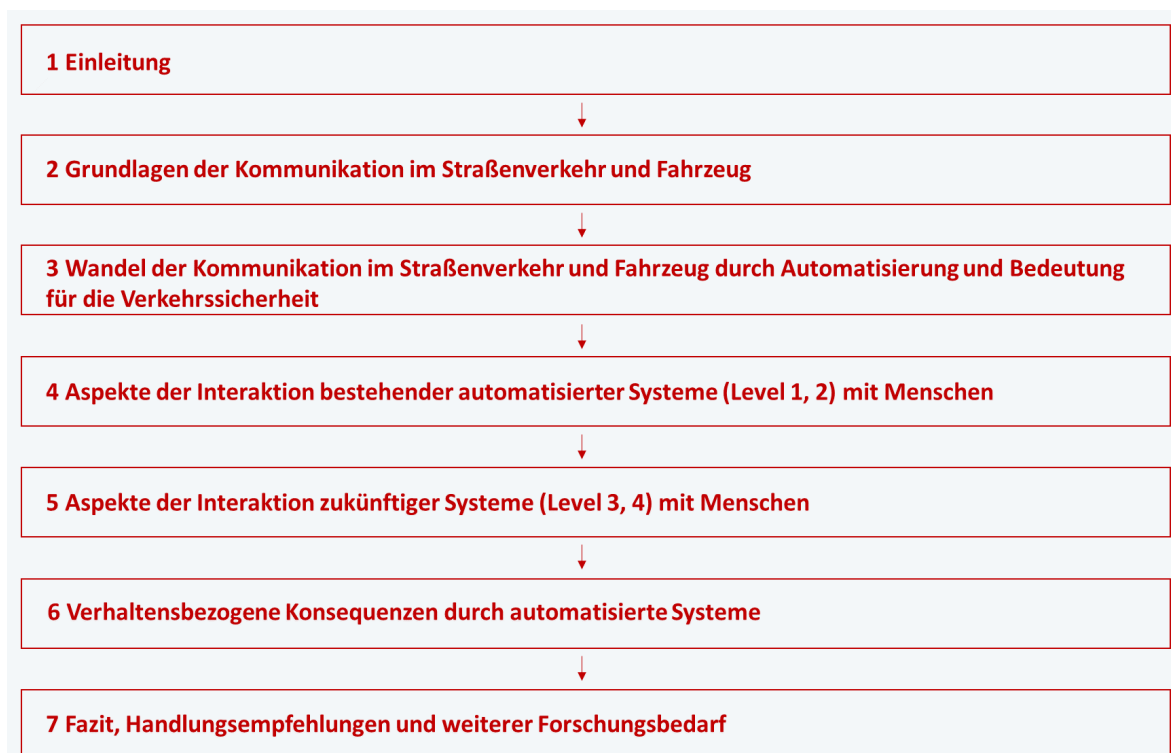
Zur Ausarbeitung der Studie und Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine umfangreiche Literaturrecherche, -analyse und -ausarbeitung durchgeführt. Zusätzlich wurden zur Thematik der Forschungsfragen leitfragengestützte Interviews mit Expert:innen aus Forschung und Praxis durchgeführt. Hierzu wurden u.a. Interviews mit Expert:innen von folgenden Institutionen durchgeführt:

- Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU)
- Deutsches Zentrum für Raum- und Luftfahrt (DLR)
- Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV)
- Schwedisches Forschungsinstitut RISE
- Technische Hochschule Ingolstadt, CARISSMA Institut für Automatisiertes Fahren
- EasyMile
- Volvo
- RappTrans (Forschungsprojekt: Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern)

- Allround Team GmbH (Forschungsprojekt: ALFASY – Altersgerechte Fahrerassistenzsysteme)

Die gewonnenen zusätzlichen Erkenntnisse aus den Interviews sowie auch die im Zuge der Diskussion aufgekommenen spezifischen Aspekte mit den Expert:innen sind entsprechend in die Erarbeitung dieser Studie eingeflossen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Literaturrecherche sowie der durchgeführten Expert:inneninterviews wurden letztlich Empfehlungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit abgeleitet sowie weiterer Forschungsbedarf im Themenbereich der Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen in unterschiedlichen Teilbereichen identifiziert. Einzelne, als zusätzlicher Forschungsbedarf identifizierte Themen wurden zudem im Rahmen von Expert:inneninterviews mit den österreichischen Testumgebungen Alp.Lab und Digitrans diskutiert, um eine stärkere Umsetzungsperspektive im Hinblick auf den Forschungsbedarf zu integrieren. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Aufbau der Studie.

Abbildung 1 Überblick über den Aufbau der Studie



2 Grundlagen der Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug

Kommunikation spielt im Straßenverkehr schon seit jeher eine wichtige Rolle. Bevor die Veränderungen in der Kommunikation im Straßenverkehr durch die Automatisierung aufgezeigt werden (siehe Kapitel 3), werden in diesem Kapitel zunächst die Grundlagen zum Thema Kommunikation im Straßenverkehr zwischen Menschen sowie zwischen Mensch und Maschine und die Teilbereiche, in denen eine Kommunikation zwischen Mensch und Maschinen auftritt, dargelegt.

2.1 Kommunikation und Kommunikationsmodelle

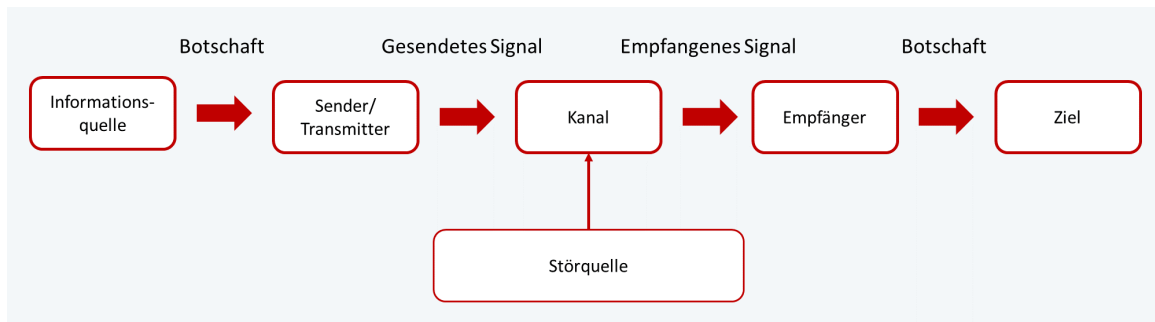
Kommunikation ist ein wesentlicher Aspekt der Interaktion verschiedener Verkehrsteilnehmenden sowie auch zwischen Mensch und Maschine innerhalb des Fahrzeugs. Dabei ist Kommunikation ein weitgefaster Begriff, der hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien (siehe Kapitel 2.2.1), differenziert werden kann.

In der Literatur sind zahlreiche Kommunikationsmodelle zu finden, die sich in Komplexität, in den inhaltlichen Schwerpunkten und der wissenschaftlichen Tradition unterscheiden (vgl. Röhner & Schütz, 2016: 19). Für den Themenkomplex des Straßenverkehrs und automatisierten Fahrens eignet sich insbesondere das Sender-Empfänger-Modell von Shannon & Weaver (1949), welches weniger psychologischen Ansätzen folgt, sondern die technische Übertragung im Fokus des Modells hat (vgl. BASt 2021: 15).

Das Sender-Empfänger-Modell, ein „Encoder-/Decoder“-Modell, versteht Kommunikation als einen Prozess, bei dem eine Information mit Hilfe eines Codes (z. B. Sprache) verschlüsselt (enkodiert) wird. Der Code wird über den Kommunikationskanal zum:zur Empfänger:in geleitet, wo er wieder entschlüsselt (dekodiert) werden muss. Potenzielle Quellen, die die Kommunikation stören können, werden im Modell nach Shannon & Weaver berücksichtigt (vgl. BASt 2021: 15; Röhner & Schütz, 2016: 20). Dies kann beispielsweise ein unterschiedliches Zeichen- und Bedeutungswissen bei der/beim Sender:in und Empfänger:in sein oder ein Rauschen, durch das das Signal nicht oder nur

schwer von der/vom Empfänger:In dekodiert werden kann (vgl. BASt 2021: 15). Abbildung 2 gibt eine Übersicht über das Sender-Empfänger-Kommunikationsmodell.

Abbildung 2 Sender-Empfänger-Kommunikationsmodell (Quelle: eigene Darstellung nach Shannon & Weaver 1949 und BASt 2021: 16)



2.2 Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug

Kommunikation, also die Übermittlung einer Information von einem Sender zu einem Empfänger, spielt im Straßenverkehr schon seit jeher eine wichtige Rolle. Zwar wird das System Straßenverkehr in Österreich prinzipiell durch Regeln (z. B. Straßenverkehrsordnung, Kraftfahrzeuggesetz etc.) geordnet (siehe hierzu auch Studie C), jedoch gibt es zahlreiche Situationen im Straßenverkehr, die nicht in einer eindeutigen Regel festgelegt werden können (vgl. Färber 2015: 128). In diesen Fällen muss die Situation zwischen den Verkehrsteilnehmenden geregelt werden. Dabei muss allerdings immer der in § 3 der Straßenverkehrsordnung (StVO) enthaltene Vertrauensgrundsatz berücksichtigt werden, der besagt:

1. Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksichtnahme; dessen ungeachtet darf jeder Straßenbenützer vertrauen, dass andere Personen die für die Benützung der Straße maßgeblichen Rechtsvorschriften befolgen, außer er müsste annehmen, dass es sich um Kinder, Menschen mit Sehbehinderung mit weißem Stock oder gelber Armbinde, Menschen mit offensichtlicher körperlicher Beeinträchtigung oder um Personen handelt, aus deren augenfälligem Gebaren geschlossen werden muss, dass sie unfähig sind, die Gefahren des Straßenverkehrs einzusehen oder sich dieser Einsicht gemäß zu verhalten.

2. Der Lenker eines Fahrzeuges hat sich gegenüber Personen, gegenüber denen der Vertrauensgrundsatz gemäß Abs. 1 nicht gilt, insbesondere durch Verminderung der Fahrgeschwindigkeit und durch Bremsbereitschaft so zu verhalten, daß eine Gefährdung dieser Personen ausgeschlossen ist.

Im Sinne eines erschöpfenden Regelwerks für das Verhalten in allen denkbaren Situationen gibt es also im Straßenverkehr eine große Kategorie „Sonstige“, die von Verkehrsteilnehmenden im Einvernehmen und unter Berücksichtigung von § 3 StVO gelöst werden müssen. Zu den zentralen Aufgaben eines:einer Fahrer:in zur sicheren Teilnahme am Straßenverkehr gehört also auch die Einschätzung des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmender. Wie in § 3 StVO angeführt, beruht diese Einschätzung und Vorhersage des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmender zunächst auf der Annahme von mehr oder weniger regelkonformem Verhalten der anderen (§ 3 StVO (1)) bzw. der eigenen Rücksicht und dem Ausschließen einer Gefährdung (z. B. Verminderung Fahrgeschwindigkeit, Bremsbereitschaft) gegenüber jenen Personen, für die der Vertrauensgrundsatz nicht gilt (§ 3 StVO (2)). Zu der Absichtsabschätzung gehört aber auch die Kommunikation der Fahrer:innen und Verkehrsteilnehmenden untereinander durch Aktionen und Zeichen. Mit anderen Worten: Neben den „offiziellen“ Regeln existiert ein Satz von informellen, häufig kommunikativen Regeln zwischen Verkehrsteilnehmenden, die den Verkehr steuern (vgl. Färber et al. 2015: 128).

Kommunikation spielt im Straßenverkehr jedoch nicht nur zwischen unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden außerhalb des Fahrzeugs eine wichtige Rolle, sondern auch innerhalb des Fahrzeugs. Früher wurde zwar die notwendige Information über die Betriebszustände des Fahrzeugs für den:die Fahrer:in allein mittels wenigen Anzeigeelementen, wie Tachometer mit Kilometerzähler, Tankanzeige oder Kontrollleuchte zur Verfügung gestellt (vgl. Reif 2010: 122). Der Kommunikation innerhalb des Fahrzeugs zwischen Mensch und Maschine kam aber in den letzten Jahren und spätestens im Zuge der zunehmenden Fahrzeugautomatisierung und zunehmenden Ausstattung mit Fahrassistenzsystemen eine immer wichtigere Rolle zu. Zukünftig wird die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen sowohl innerhalb des Fahrzeugs sowie mit einer zunehmenden Anzahl von automatisierten Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen im Straßenverkehr aber auch außerhalb des Fahrzeugs, d.h. zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden, zunehmend an Bedeutung erlangen. D.h. der Mensch-Maschine Interaktion (MMI) kommt grundsätzlich im Straßenverkehr eine zunehmende Relevanz zu (siehe hierzu auch Kapitel 3).

2.2.1 Kommunikationsmittel / Kooperations- und Kollaborationsprinzipien

Grundsätzlich kommen im Straßenverkehr unterschiedliche Kommunikationsmittel zur Anwendung, wobei sich diese nach folgenden Kriterien unterscheiden lassen können (vgl. BASt 2021: 20 ff):

- **Technologiegestützt vs. gestengestützt:** Diese Klassifizierung bezieht sich auf das Hilfsmittel, mit dem ein Signal kodiert wird. Dieses kann technischer Natur sein (z. B. Fahrtrichtungsanzeige) oder menschlicher Natur in Form von Gesten (z. B. Handzeichen) bzw. Blickkontakt.
- **Formell vs. informell:** Bei formellen Kommunikationsmitteln handelt es sich um Zeichen, die in offiziellen Regelwerken wie z. B. der StVO für bestimmte Situationen definiert sind (z. B. Blinker als Fahrtrichtungsanzeige). Informelle Kommunikationsmittel ergeben sich aus der Erfahrung, die ein:eine Fahrer:in mitbringt sowie aus den sozialen Normen im Verkehr.
- **Explizit vs. implizit:** Bei expliziten Kommunikationsmitteln werden Zeichen intentional übermittelt und ausdrücklich zu Kommunikationszwecken eingesetzt (z. B. Fahrtrichtungsanzeige, Hupe). Implizite Zeichen werden von den Sender:innen nicht mit der Intention ausgesendet, eine konkrete Information zu übermitteln. Sie müssen zunächst von den Empfänger:innen erschlossen und interpretiert werden (z. B. Geschwindigkeitsverzögerung eines Pkws, wodurch Fußgänger:innen erkennen können, dass der:die Fahrer:in sie die Straße überqueren lässt). Für die Kommunikation im Straßenverkehr spielen implizite Signale eine große Rolle, da sie unter anderem bei der Interpretation mehrdeutiger expliziter Signale unterstützen.
- **Gerichtet vs. ungerichtet:** diese Klassifizierung bezieht sich darauf, ob die eingesetzten Kommunikationsmittel an einen konkreten Verkehrsteilnehmenden gerichtet sind (z. B. Blickkontakt zwischen zwei Interaktionspartner:innen) oder ungerichtet an die Umwelt übermittelt werden (z. B. Bremslicht).

Neben dieser Klassifizierung der Kommunikationsmittel lässt sich des Weiteren unterscheiden, welche Sinne das Kommunikationsmittel anspricht (vgl. z. B. Liedecke 2016: 4 f, Reif 2010: 122 f, BASt 2021: 19):

- **Sehen - Optische/visuelle Signale:** Diese Kommunikationsmittel sprechen den Sehsinn an, mit dem der Mensch überwiegend seine Umwelt erkennt und der beim Fahren als Fahrer:in oder für andere Verkehrsteilnehmende von großer Bedeutung ist (vgl. Reif 2010: 122). Beispiele für visuelle/optische Signale sind Fahrtrichtungsanzeigen (blinken), Bremslichter, Lichthupe, Gesten, etc. (vgl. BASt 2021: 19).

- Hören - Akustische Signale: Der akustische Kanal, der den Hörsinn anspricht, wird im Straßenverkehrskontext insbesondere für das Anzeigen und Signalisieren von Gefahr genutzt (vgl. Reif 2010: 123). Beispiele für akustische Signale sind Sprachbefehle oder die Hupe.
- Fühlen - Haptische Signale: Der haptische Kanal gibt Rückmeldung an den:die Fahrer:in bei motorischen Bedienvorgängen, spricht also den Fühlsinn an (vgl. Reif 2010: 123). Beispiele für haptische Signale im Fahrzeug sind beispielsweise Vibrationen am Lenkrad oder ein kurzes Straffen des Sicherheitsgurts. Haptische Signale für Aufgaben der Fahrzeugsteuerung werden aktuell aber seltener eingesetzt (vgl. Liedecke 2016: 4).

Die Informationsübertragung über die unterschiedlichen Sinne weist grundsätzlich unterschiedliche Eigenschaften auf: Beispielsweise ist durch visuelle Wahrnehmung die Aufnahme komplexer Sachverhalte bzw. großer Informationsmengen möglich, kann jedoch eine Blickabwendung von der Straße notwendig machen. Akustische Signale sind hingegen blickrichtungsfrei und eignen sich insbesondere für die effektive Erzeugung von Hinweis- oder Warnsignalen, ihre Wirksamkeit ist jedoch abhängig von Faktoren wie der Geräuschkulisse im Fahrzeug oder dem Gehörsinn des:der Fahrer:in. Haptische Signale ermöglichen eine mentale und visuelle Entlastung bei der Fahrzeugkontrolle und ermöglichen die gezielte Information des:der Fahrer:in, ohne die anderen Fahrzeuginsassen zu stören (vgl. Liedecke 2016: 4 f, Reif 2010: 122 f).

Im Straßenverkehr kommen insbesondere optische (z. B. Blickkontakt, körperliche Gesten wie wischende Handbewegungen, Kopfschütteln, Lichtsignale) und akustische (z. B. Hupe, Horn) Signale zum Einsatz (vgl. BASt 2021: 19). In vielen Situationen ist auch eine Kombination der Sinneskanäle für die Ausführung der Fahraufgabe wichtig (vgl. Liedecke 2016: 4).

2.3 Mensch-Maschine Interaktion im Straßenverkehr

Die in der Literatur auffindbaren Definitionen zum Begriff Mensch-Maschine Interaktion (MMI) sind vielfältig. Dies lässt sich unter anderem damit begründen, dass die Mensch-Maschine-Interaktion ein Konzept ist, das mehreren (wissenschaftlichen) Disziplinen zuzuordnen ist. Jedenfalls kann MMI jedoch als Verhältnis verstanden werden, welches sich durch die Aktion zwischen Mensch und Maschine in einem dynamischen Prozess konstituiert (vgl. Oltersdorf 2011: 23). Damit zusammenhängend kann der Begriff Mensch-

Maschine-Interface bzw. im Englischen häufig Human-Maschine-Interface (HMI) als Dialog- oder auch Kommunikationsschnittstelle definiert werden, die die realen Verbindungsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine festlegt und in physische Anzeigen sowie Bedienelemente und in das für den Menschen erkennbare Verhalten der Maschine, die Aktionen und Reaktionen des Systems unterteilt werden kann (vgl. Oltersdorf 2011: 25 f).

Grundsätzlich können zwei Formen von Schnittstellen zwischen Mensch und der Maschine im Straßenverkehr unterschieden werden. Einerseits sind dies Fahrzeug-interne Schnittstellen, hier auch iHMI (internal Human-Machine-Interfaces), unter denen insbesondere die Kommunikation des:der Fahrer:in mit dem Fahrzeug bzw. Systemen des Fahrzeugs verstanden wird. Darüber hinaus gibt es auch Fahrzeug-externe Interaktionskonzepte, sogenannte eHMIs (external Human-Machine-Interfaces), unter der die Kommunikation des Fahrzeugs mit anderen Verkehrsteilnehmenden verstanden wird.

Die Fahrzeug-interne und Fahrzeug-externe Kommunikation haben unterschiedliche Bedeutungen für die Verkehrssicherheit. Dies verlangt eine zum Teil differenzierte Betrachtung der verschiedenen Schnittstellen, dem diese Studie entsprechend nachkommt.

2.3.1 Fahrzeug-interne Kommunikation

Fahrzeug-interne Kommunikation (iHMI) bezeichnet die Kommunikation bzw. Kooperation von Mensch und Maschine innerhalb des Fahrzeugs. Dabei werden unter iHMI mehr als nur visuelle und auditive Anzeigen zum Informationstransfer in beide Richtungen verstanden. Der Begriff beinhaltet ebenso die Fahrzeugsteuerung, die Rückkopplungen zwischen Mensch und Maschine erlaubt und somit als haptischer Kommunikationskanal dient (vgl. Carsten & Martens 2019: 3). In der Fahrzeug-internen Kommunikation kommt den Benutzungsschnittstellen insbesondere die Rolle zu, den Menschen im Fahrzeug zu vermitteln, was von ihnen (in Bezug auf Monitoring bzw. Intervention) erwartet wird (vgl. Carsten & Martens 2019: 4).

2.3.2 Fahrzeug-externe Kommunikation

Fahrzeug-externe Kommunikation (eHMI) bezeichnet die Kooperation zwischen Fahrzeugen und nicht-motorisierten (bzw. nicht-automatisierten) Verkehrsteilnehmenden (oder auch Tieren) im Mischverkehr (vgl. Doublein 2020: 37). Die Fahrzeug-externe

Kommunikation kann unterschiedliche Gestaltungsformen annehmen, wobei verschiedene Kommunikationsmechanismen zum Einsatz kommen, die Unterscheidungen erfordern (vgl. Imbsweiler et al., 2018: 1). Entscheidend für eHMI ist dabei die Definition, welche Informationen bei Interaktionen von Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden ausgetauscht werden müssen (vgl. Faas et al. 2020: 171). Die Fahrzeug-externe Kommunikation könnte mit zunehmender Automatisierung relevanter werden, wenn es beispielsweise darum geht, die Fahrabsicht automatisierter Fahrzeuge anderen Verkehrsteilnehmenden wie nicht automatisierten Fahrzeugen, Fahrradfahrenden oder Fußgänger:innen über bereits bestehende fahrzeug-externe Kommunikation (z. B. Fahrtrichtungsanzeiger oder Hupe) hinaus mitzuteilen.

2.4 Grundsätzliche Gestaltungsleitsätze für Mensch-Maschine Interaktion

Bei der Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion und Mensch-Maschine-Interfaces gilt es grundsätzlich, einen holistischen und ganzheitlichen Ansatz zu wählen. Darunter wird ein systemübergreifender Ansatz verstanden, der Hard- und Softwarekomponenten vernetzt, mit dem Ziel, dem:der Fahrer:in und anderen Verkehrsteilnehmenden die relevanten Informationen abhängig von der Verkehrssituation, persönlichen Vorlieben und momentaner Verfassung auf einem bestimmten Kanal anzuzeigen, um optimal wahrgenommen werden zu können. Beim Kanal kann, wie bereits in Kapitel 2.2 aufgegriffen, zwischen visuellen, akustischen und haptischen Kommunikationskanälen unterschieden werden. Der ganzheitliche Ansatz geht allerdings über die Gestaltung von Bedienelementen hinaus und umfasst auch die Fahrzeugvernetzung (vgl. Matschi 2015). Ein ganzheitlicher Gestaltungsansatz impliziert auch die Anwendung von Gestaltungsleitsätzen, die die menschlichen Leistungsfähigkeiten hinsichtlich physischen, psychologischen und sozialen Aspekten miteinbeziehen. Ein weiterer relevanter Aspekt, der berücksichtigt werden muss, sind ebenso bestehende kulturelle Unterschiede (z. B. bei Symbolen und Gesten) (vgl. u.a. Färber 2015 & Tabone et. al 2021).

Ein Instrument, das bei der Einbeziehung dieser Faktoren unterstützen kann, sind die Universal Design Prinzipien. Diese sollen die Nutzung der physischen Umgebung durch möglichst viele Menschen unabhängig von Alter, Geschlecht, Fähigkeiten oder Behinderungen ermöglichen. Universal Design richtet sich entlang sieben Prinzipien aus: 1) Angemessene und breite Nutzbarkeit, 2) Flexibilität in der Benutzung und im Einsatz, 3) einfache und intuitive Benutzung, 4) sensorisch wahrnehmbare Informationen, 5)

Fehlertoleranz, 6) niedriger körperlicher Aufwand sowie 7) Größe und Platz für Zugang und Benutzung (vgl. Knoll et al. 2021). Aus der Inklusionsperspektive, die im Kontext der Mobilität das Ziel verfolgt, die unterschiedlichen physischen, sensorischen und psychischen Möglichkeiten der Verkehrsteilnahme aller Menschen in der gebauten Umwelt besser zu berücksichtigen, empfehlen Knoll et al. (2021) außerdem eine konsequente Umsetzung der Informationsbereitstellung nach dem Mehr-Sinne-Prinzip. Dieses Prinzip besagt, dass Informationen durch mindestens zwei der Sinne (Sehen, Hören, Fühlen) wahrnehmbar sein müssen (vgl. Pimminger 2019). Grundsätzlich gilt jedoch, dass es bei der Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion vermutlich keinen „One fits all“-Ansatz geben kann. Vielmehr wird es anpassungsfähige Lösungen verlangen, die sich an die Interaktionspartner:innen anpassen. Dies ist insbesondere bei der Fahrzeug-internen Kommunikation (iHMI) von großer Bedeutung. Beispielsweise muss die MMI anders reagieren, wenn der:die Fahrer:in müde wirkt als wenn er:sie aufmerksam erscheint, beispielsweise durch stärkere Signale oder Signale über mehrere Kommunikationskanäle (vgl. Anund et al. 2019: 89).

3 Wandel der Kommunikation im Straßenverkehr und Fahrzeug durch Automatisierung und Bedeutung für die Verkehrssicherheit

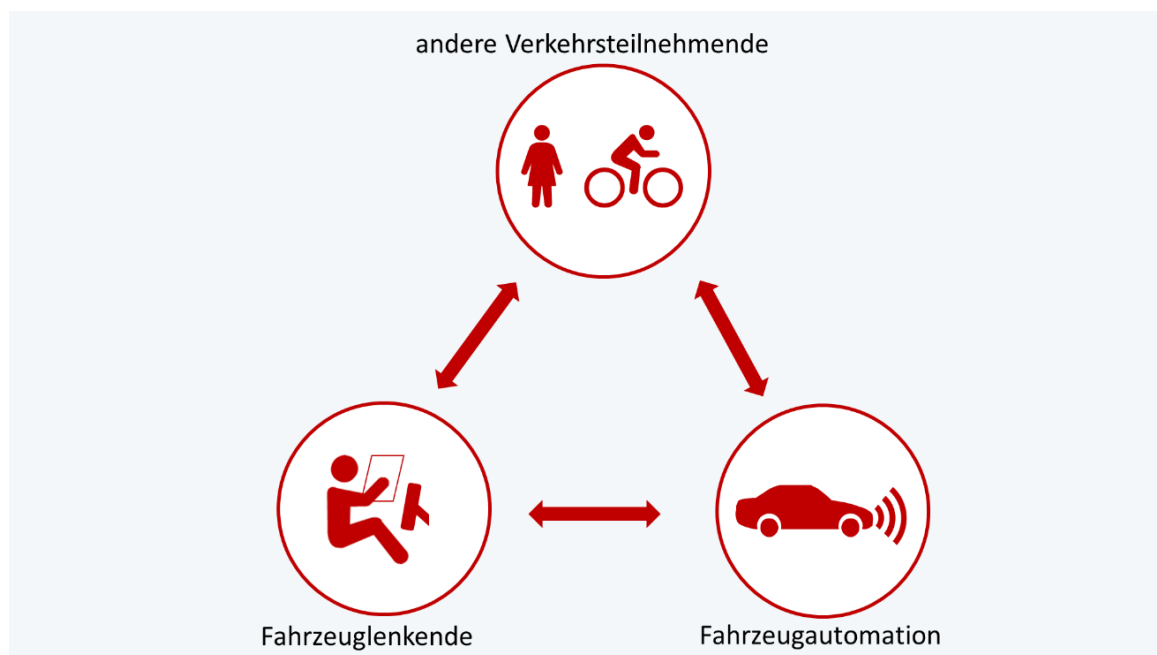
3.1 Wandel im Straßenverkehr von einer Mensch-zu-Mensch-Interaktion zu einer zunehmenden Mensch-Maschine Interaktion

Der heutige Straßenverkehr ist von einem Miteinander unterschiedlicher Verkehrsteilnehmenden geprägt. Die Verkehrsteilnehmenden sind gezwungen bzw. haben gelernt ihre Handlungen im Straßenverkehr bzw. Straßenraum zu koordinieren und miteinander zu kooperieren (vgl. Deublein 2020: 36; Färber 2015: 128): Beispielsweise wird in Situationen wie einer Rechts-vor-Links-Kreuzung, an der Fahrzeuge aus allen Richtungen zusammentreffen, häufig eine Absprache per Blickkontakt und Handgesten getroffen (vgl. Geisler 2021: 395f) oder die Absprache erfolgt implizit, beispielsweise durch eine deutliche Verlangsamung des Fahrzeugs im Vorfeld der Kreuzung. Wie in Kapitel 2 beschrieben, nimmt dabei eine intuitive und unmissverständliche Kommunikation sowie eine möglichst präzise Antizipation der Verhaltensintention der anderen Verkehrsteilnehmenden eine bedeutende Rolle ein (vgl. Deublein 2020: 36).

Mit der Automatisierung findet ein Wandel statt von einer Mensch-zu-Mensch Interaktion im Straßenverkehr hin zu einer komplexen Mensch-Maschine Interaktion mit konventionellen und automatisierten Fahrzeugen sowie ungeschützten Verkehrsteilnehmenden. Diese zunehmende Mensch-Maschine Interaktion ist dabei sowohl innerhalb des Fahrzeugs (Fahrer:in, Passagiere und automatisierte Systeme) als auch außerhalb des Fahrzeugs (automatisiertes Fahrzeug und andere Verkehrsteilnehmende) von Relevanz. Dies bedeutet auch, dass das Verkehrssicherheitsniveau in hohem Maße davon abhängig sein wird, wie der Mensch und die automatisierten Systeme bzw. die verschiedenen automatisierten und motorisierten Verkehrsteilnehmenden innerhalb sowie außerhalb des Fahrzeugs miteinander kommunizieren und kooperieren können. Auch die in den Interviews befragten Expert:innen bekräftigten hierbei die besondere Relevanz einer einheitlichen,

unmissverständlichen und intuitiven Verständigung aller Verkehrsteilnehmenden. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung des Wandels von der Mensch-Mensch Interaktion zu einer zunehmenden Mensch-Maschine Interaktion im Straßenverkehr mit automatisierten Systemen und Fahrzeugen.

Abbildung 3 Wandel von Mensch-Mensch-Interaktion zu einer Mensch-Maschine Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen (Quelle: eigene Darstellung, nach Deublein 2020: 36)



Speziell bei Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen (Level 3 und insbesondere Level 4) setzt eine sichere Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden in vielen Fällen die Fähigkeit voraus die Intention von Fahrmanövern zu signalisieren (externe Kommunikation), wie dies zum Beispiel bei aktuellen Fahrzeugen im Falle eines Spur- oder Richtungswechsels durch die Verwendung der Blinker des Fahrzeugs passiert (vgl. Europäische Kommission 2020: 37). In welcher Form dies zukünftig erfolgen soll bzw. ob es zusätzlich zu derzeit bereits vorhandenen und erforderlichen Vorrichtungen (wie Bremsleuchten, Blinker, Hupe und Lichthupe) hinaus einen Bedarf für zusätzliche Vorrichtungen zur Anzeige der Fahrintention für automatisierte Fahrzeuge gibt, ist jedoch noch nicht geklärt. Klar ist jedoch, dass vor allem bei Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen die direkte Kommunikation mit menschlichen Fahrer:innen in Form von Blickkontakten und Gesten, die – wie in Kapitel 2 beschrieben – im heutigen Straßenverkehr ein wichtiges Element für die sichere Interaktion zwischen Fahrzeugen

und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden darstellen, wegfallen (vgl. Europäische Kommission 2020: 38).

Der Wandel durch die Automatisierung im Straßenverkehr betrifft aber nicht nur die externe Kommunikation, sondern vor allem bei automatisierten Systemen niedriger Automatisierungsstufen (Level 1 und 2), d.h. Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen, auch die interne Kommunikation innerhalb des Fahrzeugs. Bei konventionellen Fahrzeugen war es für die Lenkenden bis in die letzten Jahre hinein größtenteils nur notwendig zu wissen, wie das Fahrzeug mit der Bedienung von Lenkrad, Pedalen und ein paar zusätzlichen Schaltern und Hebeln intuitiv, sicher und komfortabel gesteuert werden kann (vgl. Deublein & Berbatovci 2020: 33). Noch bis in die 1980er Jahre beispielsweise bestand die Informationseinheit für die Fahrer:innen aus wenigen Anzeigeelementen, wie Tachometer mit Kilometerzähler, Tankanzeige, Kontrollleuchte, die über die wichtigsten Betriebszustände des Fahrzeugs informierten. Mit den 1990er und 2000er Jahren kam es dann zum zunehmenden Einsatz von Informationssystemen (z. B. Navigationssysteme, Bordcomputer) im Kraftfahrzeug sowie beginnend mit ABS und ESP auch zum zunehmenden Einsatz von Fahrassistenzsystemen (vgl. Reif 2010: 122). Frühere Fahrassistenzsysteme wie beispielsweise das ESP greifen aber direkt ein (vgl. ÖAMTC 2021), während die Fahrer:innen meist nicht mehr als das Blinken der ESP-Kontrollleuchte mitbekommen – die Kommunikation zwischen Maschine und Mensch erfolgte also größtenteils automatisch bzw. allein über diese Leuchte (vgl. Geisler 2021a: 391). Bei neueren Fahrassistenzsystemen, die zunehmend nicht mehr nur dem hochpreisigen Premiumsegment der Fahrzeuge vorbehalten sind, sondern mittelfristig wohl – nicht zuletzt auch durch die EU Verordnung 2019/2144, die verschiedene Systeme seit 2022 bzw. ab 2024 verpflichtend für neue Fahrzeugtypen bzw. neu zugelassene Fahrzeuge vorschreibt (siehe hierzu auch Kapitel 4) – auch ihren Weg in die Mittelklassefahrzeuge einer großen Mehrheit in Österreich finden werden, kommt es hingegen zu einer weitaus stärkeren Interaktion zwischen Mensch und Maschine, durch akustische, optische oder haptische Warnungen oder durch explizite Eingriffe (vgl. Deublein & Berbatovci 2020: 33). Die zunehmende Automatisierung erfordert also neue Formen der Kommunikation und Kollaboration zwischen Mensch und Fahrzeugen, wobei diese über die Mensch-Maschine-Schnittstelle des Fahrzeugs, d.h. über Anzeigen, Bedienelemente und Rückmeldungen auf dem Armaturenbrett erfolgt (vgl. Europäische Kommission 2020: 29). Das zunehmende Angebot an Information an die Fahrer:innen erfordert erweiterte Interaktionsmöglichkeiten zwischen Fahrer:innen und Systemen und die von Fahrassistenzsystemen erzeugte Information muss in den vorhandenen Anzeigeflächen dargestellt werden (vgl. Reif 2010: 122). Hierbei ist zudem eine

zunehmende Inkludierung von Displays und Touchscreens zur Interaktion mit und Bedienung von Systemen erkennbar, es findet ein Übergang vom traditionellen Kombinations-Instrument (mit mechanischen Antrieben für analoge (Rund-)Anzeigen der Hauptinstrumente und einem multifunktional genutzten Display) hin zu vollflächigen Displays, sogenannten digitalen Kombinations-Instrumenten zur Darstellung der gesamten Instrumentierung auf einem Display statt (vgl. Fürst et al. 2021: 970). Die zunehmende Automatisierung erhöht die Komplexität und die Wichtigkeit des Mensch-Maschine-Interface für die Fahrer:innen (Europäische Kommission 2020: 29). Die richtige Ausgestaltung und Verwendung der Systeme spielt somit zunehmend eine wichtige Rolle für die Verkehrssicherheit. Um maximale Sicherheit aber auch maximalen Nutzen zu erreichen, erfordert ein gutes Mensch-Maschine-Interface jedoch auch das richtige Maß an Vertrauen in das System (vgl. Wintersberger & Riener 2016: 308, Geisler 2021a: 395).

Ein weiterer Wandel der internen Fahrzeugkommunikation vollzieht sich zukünftig auch mit automatisierten Fahrsystemen höherer Stufen (Level 3 und 4). Diese kommunizieren ihre Rückmeldungen nicht mehr nur an die menschlichen Fahrer:innen, sondern (auch) direkt mit dem Steuerungsalgorithmus (vgl. Deublein 2020: 21). Die Fahraufgabe entwickelt sich durch die Automatisierung letztlich immer mehr weg von einer ständigen Regelung hin zu einer Überwachung entweder noch als Fahrer:in oder als Passagier (vgl. Geisler 2021a: 401).

Während Autofahrer:innen in der Vergangenheit „Maschinisten“ waren, denen die Aufgabe zukam das vordergründig mechanische System Fahrzeug zu bedienen und zu lenken, verändert sich durch zunehmend automatisierte Systeme im Fahrzeug, die die Lenker:innen in ihrer Fahraufgabe unterstützen, die Rolle der Autofahrer:innen als „Maschinist“ hinter dem Lenkrad hin zu einer Art Kapitän:in. Hierbei nimmt eine reibungslose Kommunikation zwischen Mensch (Fahrer:in bzw. „Kapitän:in) und Maschine (Fahrzeug bzw. Fahrassistenzsysteme) eine zunehmende Bedeutung ein (vgl. Matschi 2015).

3.2 Grundlegende Implikationen des Wandels für die Verkehrssicherheit

Zusammenfassend sind letztlich für die Erhöhung der Verkehrssicherheit nicht nur die technische Entwicklung der Systeme, sondern auch geeignete Konzepte zur Mensch-Maschine Interaktion sowohl innerhalb des Fahrzeugs als auch in den Straßenraum – also hinsichtlich externer Verkehrsteilnehmenden von Relevanz (vgl. Bengler et al. 2021: 1011). Auch die befragten Expert:innen im Rahmen der Expert:inneninterviews betonten allesamt die grundsätzliche Relevanz der Mensch-Maschine Interaktion im Bereich automatisierter Systeme insbesondere für die Verkehrssicherheit. Dabei herrschte jedoch weitgehend Konsens darüber, dass der Unterscheidung zwischen den Automatisierungslevels und die daraus resultierenden Implikationen eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung zukommt, dem dieser Bericht in den folgenden Kapiteln auch entsprechend gerecht wird. Die Mensch-Maschine Interaktion muss dafür sorgen, dass Warnungen und Informationen der Systeme verständlich sind und den:die Lenker:in nicht überfordern. Nur so können Fahrer:innen Vertrauen in die Systeme gewinnen, die die (Akzeptanz für die) Nutzung der Systeme (gerade bei älteren Personen) erhöht bzw. garantiert und wodurch die Potenziale von Fahrassistenzsystemen und automatisierten Systemen höherer Stufen für die Verkehrssicherheit bestmöglich ausgeschöpft werden können (vgl. IIHS 2022, Brockmann et al. 2020: 60). Fahrassistenzsysteme und automatisierte Systeme höherer Stufen helfen also menschliche Schwächen auszugleichen, die Mensch-Maschine Interaktion bzw. -Schnittstelle darf durch gestiegene Komplexität diesen potentiellen Gewinn allerdings nicht mindern (vgl. Geisler 2021a: 401).

Problematisch bei der bereits heute aber auch zukünftig zunehmenden Anzahl von Fahrzeugen mit automatisierten Systemen ist jedoch die große Heterogenität der automatisierten Systeme und Systembezeichnungen: Bei der Nutzung unterschiedlicher Fahrzeuge ist es für die Fahrer:innen meist nicht auf Anhieb erkennbar, mit welchen Systemen ein Fahrzeug ausgestattet ist. Bengler et al. (2021) betonen in diesem Zusammenhang zudem, dass – wie auch heute schon erkennbar ist – die Bandbreite der verschiedenen Interaktionskonzepte deutlich zunehmen und sich mit hoher Dynamik ändern wird (vgl. Bengler et al. 2021: 1012). Erschwerend kommt hinzu, dass es heute noch keine rechtlich verbindlichen standardisierten und harmonisierten Mindestanforderungen an neue Signalbilder für die interne und externe Mensch-Maschine-Schnittstelle mit automatisierten Fahrzeugen gibt (vgl. Doublein 2020: 37).

Letztlich sind die Sicherheitseffekte von automatisierten Systemen vor allem im, aber auch außerhalb des Fahrzeugs stark abhängig vom Zusammenspiel zwischen Mensch und automatisiertem Fahrzeug bzw. Fahrzeug mit automatisierten Systemen und einem Bewusstsein der Akteure über die Kompetenzen (und Nicht-Kompetenzen) des Interaktionspartners. Insbesondere bei bestehenden Systemen (Automatisierungsstufen 1 und 2) steht dabei die interne Fahrzeug-Kommunikation im Vordergrund und funktioniert hier vor allem durch verschiedene Signale an den/die Fahrer:in (z. B. über Anzeigen). Bei höheren Automatisierungsstufen, insbesondere im Level 3, kommt es im Bereich der Fahrzeug-internen Interaktion auch zu Situationen, in denen ein Wechsel zwischen dem automatisierten Fahren (in welcher der:die Fahrer:in auch anderen Tätigkeiten nachgehen darf) und dem manuellen Fahren stattfindet, z. B. wenn die Führung des Fahrzeugs an den:die menschliche/n Fahrer:in zurückgegeben wird – auch hier spielt die interne Fahrzeug-Kommunikation aus Sicht der Verkehrssicherheit weiterhin eine bedeutende Rolle (vgl. Uhr 2016: 5). Speziell ab dem Automatisierungslevel 4, kommt aber der externen Kommunikation, d.h. der Kommunikation zwischen dem automatisiert fahrenden Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden außerhalb des Fahrzeugs auch aus Sicht der Verkehrssicherheit eine zunehmende Bedeutung zu. Sie ist im Mischverkehr besonders relevant, um die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden zu garantieren (vgl. Deublein 2020: 36) und zu einer Stärkung der Akzeptanz sowie Sensibilisierung und Steigerung des Sicherheitsempfindens vor allem bei ungeschützten Verkehrsteilnehmenden beizutragen – hierzu müssen jedoch speziell das Verhalten und die Wahrnehmung von ungeschützten Verkehrsteilnehmenden in den Designprozess von Benutzungsschnittstellen finden (vgl. Anund et al. 2019: 93). In diesem Kontext wird es zwar einfacher sein, technologiegestützte Kommunikationsmittel zu übernehmen, speziell die Imitation gestengestützter Kommunikationsmittel wird jedoch eine große Herausforderung. Eine Gefahr für die Verkehrssicherheit besteht insbesondere bei gegensätzlichen Botschaften eines automatisierten Fahrzeugs. Zudem muss bei der Verwendung informeller Zeichen beachtet werden, dass deren Interpretation in Abhängigkeit von unterschiedlichen Kulturen erfolgen, um diese richtig zu interpretieren (vgl. BASt 2021: 20).

Positive Effekte durch Fahrassistenzsysteme und automatisierte Fahrzeuge höherer Stufen für die Verkehrssicherheit entstehen zusammengefasst also insbesondere erst dann, wenn es nicht mehr nötig sein wird, dass Fahrer:innen ein Verständnis der einzelnen Funktionen benötigen, um Warnungen, Gesten etc. richtig zu interpretieren. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle und Kommunikation muss also dahingehend weiterentwickelt werden, dass Warnungen, Eingriffe und Signale so an den:die Fahrer:in und andere

Verkehrsteilnehmende angepasst werden, dass sie diese verstehen und eine Fehlinterpretation der Informationen ausgeschlossen ist (vgl. Kühn & Hannawald 2015: 70). Letztlich ist vor allem menschliches Vertrauen in die Systeme essenziell, um deren erwartete positive Effekte für die Verkehrssicherheit zu erzielen (vgl. Carsten & Martens 2019: 7). Die Kunst ist es dabei Systeme zu entwickeln, in die Menschen vertrauen und die gleichzeitig aber auch nicht überschätzt werden und auch nicht als störend wahrgenommen werden (vgl. Mueller et al., 2021; Carsten & Martens, 2019: 4).

In den folgenden Kapiteln wird auf relevante Aspekte der Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen insbesondere vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit eingegangen. Dabei wird zwischen bestehenden Systemen, also jene, die derzeit verbreitet in Fahrzeugen am Fahrzeugmarkt erhältlich sind, d.h. Systeme der Automatisierungsstufen 1 und 2, sowie zukünftigen Systemen, jene der Automatisierungsstufen 3 und 4 unterschieden.

4 Aspekte der Interaktion bestehender automatisierter Systeme (Level 1, 2) mit Menschen

Schon heute sind bereits zahlreiche Fahrassistenzsysteme in Fahrzeugen verbaut, die sich jedoch in ihren verschiedenen Kommunikationsmitteln deutlich unterscheiden.

Grundsätzlich unterstützen Fahrassistenzsysteme (Level 1) die Fahrer:innen bei ihrer primären Fahraufgabe. Sie informieren und warnen diese, erhöhen ihren Komfort und die Sicherheit, indem sie diese aktiv bei der Fahrzeugführung und Fahrzeugstabilisierung unterstützen. Fahrer:in, Fahrzeug mit Fahrerassistenzsystem und das Umfeld des Fahrzeugs wirken stark zusammen. Daher müssen bei der Entwicklung und Betrachtung der Fahrassistenzsysteme auch die Fähigkeiten und Defizite unterschiedlicher Nutzer:innen berücksichtigt werden, um letztendlich eine Verbesserung der Verkehrssicherheit erreichen zu können (vgl. Reif 2010: 104). Das Ziel von Fahrassistenzsystemen liegt letztlich in der Deckung eines Unterstützungsbedarfs bei den Fahrer:innen, z. B. Unterstützung in gefährlichen Situationen oder Überwindung der Leistungsgrenzen menschlicher Wahrnehmung (vgl. Winner et al. 2015). Dabei sind Fahrassistenzsysteme entweder auf die Verkehrssicherheit, auf den Komfort der Fahrer:innen oder beides ausgerichtet: Während Sicherheitssysteme vor allem der aktiven Sicherheit dienen, also dabei helfen Unfälle zu vermeiden oder in unvermeidlichen Fällen die Aufprallstärke zu minimieren, erhöhen Komfortsysteme eher den Komfort der Fahrer:innen (vgl. Uhr & Schumacher 2014: 10).

Auf politischer Ebene wurden die Potenziale von Fahrassistenzsystemen erkannt und mit der EU-Verordnung 2019/2144¹ sind einzelne Systeme mit besonders hohem Sicherheitspotenzial ab 2022 bzw. 2024 verpflichtend für neue Fahrzeugtypen bzw. neu zugelassene Fahrzeuge vorgeschrieben. Die Verpflichtung gilt dabei nach Art. 6 und 7 der Verordnung, unter anderem für den intelligenten Geschwindigkeitsassistenten, den

¹ Verordnung (EU) 2019/2144 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern. In: eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2144

Notfall-Spurhalteassistenten, den Müdigkeitsassistenten und den automatischen Notbremsassistenten (vgl. Atasayar et al. 2021: 15).

Neben assistierenden Fahrassistenzsystemen sind auch teilautomatisierte Systeme (Level 2) zunehmend in Fahrzeugen am Fahrzeugmarkt erhältlich. Hierbei muss der:die Fahrer:in zumindest in gewissen Anwendungsbereichen nicht mehr die Fahraufgabe (Längs- oder Querführung) selber ausführen, sondern die Fahrzeugführung (d.h. Quer- und Längsführung) wird durch das System selbständig übernommen. Der:die Fahrer:in muss das System jedoch dauerhaft überwachen und jederzeit vollständig übernehmen können (vgl. SAE International 2021: 12, Uhr 2016: 5). Teilautomatisierte Funktionen werden meist durch die Kombination verfügbarer Fahrassistenzsysteme, z. B. Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control) und Spurhalteassistent (Lane Keeping Assist) abgebildet, die die Längs- und Querführung des Fahrzeugs, z. B. als Autobahn- oder Stauassistent, übernehmen (vgl. FIS 2020, KfV 2022: 12).

Bei bestehenden Systemen der Automatisierungsstufen 1 und 2 steht aus Sicht der Verkehrssicherheit vor allem die Fahrzeug-interne Mensch-Maschine Interaktion bzw. Kommunikation im Vordergrund, weshalb in diesem Kapitel speziell auf diese Thematik eingegangen wird.

4.1 Einteilung von Fahrassistenzsystemen und verwendete Kommunikationsmittel

Grundsätzlich können verschiedene Fahrassistenzsysteme unterschieden werden, wobei es in der Literatur unterschiedliche Systematiken für die Einteilung gibt. Bubb & Bengler (2015) unterscheiden Fahrassistenzsysteme nach der Art der Aufgabe, die sie übernehmen und unterscheiden zwischen 1) Stabilisierungsaufgabe (z. B. Geschwindigkeitskontrolle/Tempomat, Geschwindigkeitsbegrenzer, Antiblockiersystem, Antischlupfregelung, elektronisches Stabilitätsprogramm, Bremsassistent) und 2) Bahnführungsaufgabe (z. B. Verkehrszeichenassistent/Verkehrszeichenbeobachter, Sichtverbesserungssysteme, Systeme für die Längsdynamik wie der Adaptive Tempomat und Notbremsassistent, Systeme für die Querdynamik, wie Spurverlassenswarner, Spurhaltesystem/-assistent, Spurwechselassistent und kombinierte Systeme wie Stauassistent, Einparkassistent) (vgl. Bubb & Bengler 2015: 529 ff). In ähnlicher Form unterteilen Bengler et al. (2021) die Fahrassistenzsysteme nach der Wirkweise und unterscheiden dabei: 1) informierende und warnende Funktionen, 2) kontinuierliche

automatisierende Funktionen und 3) in unfallgeneigten Situationen temporär eingreifende Funktionen (vgl. Bengler et al. 2021: 1013). Uhr & Schumacher (2014) unterteilen Fahrassistenzsysteme nach Grad bzw. Tiefe der Intervention in informierende, warnende, assistierende teilautonome und vollautonome Systeme (Uhr & Schumacher 2014: 10). Je nach Wirkweise bzw. Grad und Tiefe der Intervention des Systems kann dabei auch eine unterschiedliche Interaktion zwischen Mensch und Maschine bei der Anwendung der Systeme abgeleitet werden. Ewert (2014) betont in diesem Zusammenhang daher, dass Fahrassistenzsysteme auf verschiedene Weise kategorisiert werden können: 1) nach der Funktion die sie betreffen, d.h. Längssteuerung (ACC), Quersteuerung (LDW) oder Stabilisierung des Fahrzeugs (ESC), wobei weiter fortgeschrittene Systeme auch eine Kombination der genannten Funktionen vereinen, 2) nach dem Output, ob diese also informieren, warnen oder eingreifen bzw. ob dies punktuell oder kontinuierlich passiert (also ähnlich wie bei Bengler et al. 2021 und Uhr & Schumacher 2014) und 3) nach der Informationsmodalität, d.h. dahingehend, wie Informationen an die Lenkenden übermittelt werden, wobei sich dies vor allem auf die in Kapitel 2 beschriebenen Kommunikationsmittel bezieht. Hinsichtlich Letzterem lassen sich primär optische Meldungen, akustische Informationen und haptische Rückmeldungen unterscheiden (vgl. Ewert 2014: 6).

Nachdem der Fokus im Rahmen dieser Studie auf die Interaktion zwischen den Systemen und den Menschen gelegt wird, werden im Folgenden die Kommunikationskonzepte bzw. Eingriffe von einzelnen ausgewählten Fahrassistenzsystemen näher betrachtet.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über bestehende Fahrassistenzsysteme und deren unterschiedlichen Kommunikationsmitteln. Zum Teil weisen die unterschiedlichen Fahrassistenzsysteme auch eine Kombination an verschiedenen Funktionen auf.

Tabelle 1 Beispielhafter Überblick über Fahrassistenzsysteme (FAS) und teilautomatisierte Systeme, ihre Wirkweise und Art des Eingriffs bzw. der Information (eigene Darstellung nach Bengler et al. 2021, Uhr & Schumacher 2014, Smartrider.at 2021)

Fahrassistenzsystem	Wirkweise	Art des Eingriffs / der Information
Adaptive Cruise Control	Kontinuierliche automatisierende Funktion: FAS übernimmt Teile der Fahraufgabe	Eingriff: Automatische Anpassung der Geschwindigkeit anhand festgelegter Distanz bzw. Abbremsen bis zum Stillstand
Intelligenter Geschwindigkeitsassistent	Informierende und warnende Funktion	Akustische oder optische Warnung bei Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit
Parkassistent	Kontinuierliche automatisierende Funktion: FAS übernimmt Teile der Fahraufgabe / Informierende und warnende Funktion	Signalisation von ausreichend großer Parklücke Lenkeingriff
Notbremsassistent	In unfallgeneigten Situationen temporär eingreifende Funktion / informierende und warnende Funktion	Eingriff: Verstärkung von Bremsdruck und Einleitung von Vollbremsung Zusätzlich optische, akustische oder haptische Warnungen
Spurwechselassistent	Informierende und warnende Funktion	Optische Warnung
Spurhalteassistent	In unfallgeneigten Situationen temporär eingreifende Funktion / Informierende und warnende Funktion	Akustische oder haptische Warnung, Eingriff durch sanftes Gegenlenken
Warnsysteme bei Müdigkeit, nachlassender Aufmerksamkeit oder Konzentration	Informierende und warnende Funktion	Akustische oder optische Warnung
Autobahn- bzw. Stauassistent	Kontinuierliche automatisierende Funktion: FAS übernimmt Teile der Fahraufgabe	Selbständiges Spurhalten, Beschleunigen, Bremsen und wieder anfahren

4.2 Überblick über Informations- und Kommunikationsbereiche sowie Ein- und Ausgabemodalitäten bei Fahrassistenzsystemen innerhalb des Fahrzeugs

Generell gibt es im Fahrzeug vier Informations- bzw. Kommunikationsbereiche, die auch bei Fahrassistenzsystemen genutzt werden, mit unterschiedlichen Anforderungen an die Eigenschaften der jeweiligen Anzeige. Hierzu zählen 1) Kombiinstrument, 2) Windschutzscheibe, 3) Mittelkonsole, 4) Fahrzeugfond (vgl. Reif 2010: 123). Dabei werden dynamische Informationen (z. B. Fahrgeschwindigkeit) und Überwachungsinformationen (z. B. Tankanzeige) meist im Kombiinstrument dargestellt. Die Darstellung warnender Informationen erfolgt oftmals auf der Windschutzscheibe mit Hilfe eines Head-Up-Displays. Statusinformationen oder Bediendialoge mit Aufforderungscharakter (z. B. Navigation) werden zumeist in der Mittelkonsole mittels Display dargestellt und unterhaltende Information zumeist im Fahrzeugfond (vgl. Reif 2010: 123).

Entsprechend der Sinne des Menschen und den in Kapitel 1 beschriebenen Kommunikations- und Informationskanälen sowie der im vorherigen Kapitel dargestellten unterschiedlichen Kommunikationsmittel bei Fahrassistenzsystemen, werden im Bereich der internen Kommunikation im Bereich der Fahrassistenzsysteme unter Nutzung oben genannter Informations- bzw. Kommunikationsbereiche auch unterschiedliche Aus- und Eingabemodalitäten verwendet (vgl. Geisler 2021a 385 ff):

- **Optische Anzeigen und Eingaben:** Diese umfassen Zeigerinstrumente, Warnleuchten, digitale Displays, Head-up Displays oder Schalter, Beschriftungen sowie Kontrollleuchten. Optische Eingaben durch die bzw. den Fahrer:in können beispielsweise Hand- oder Fußgesten sein (diese finden bislang jedoch noch kaum Anwendung).
- **Akustische Anzeigen und Eingaben:** Hierbei werden häufig Warntöne in Kombination mit Hinweisen im Display als akustische Hinweise an die bzw. den Fahrer:in verwendet. Akustische Eingaben erfolgen zumeist über Sprachsteuerung.
- **Haptische Anzeigen und Eingaben:** Haptische Anzeigen bzw. Kommunikation erfolgt zumeist über Vibrationen (z. B. am Lenkrad). Haptische Eingaben können durch die bzw. den Fahrer:in grundsätzlich über die Pedale, das Lenkrad sowie Hebel oder Schalter erfolgen.

4.3 MMI-Aspekte und Grenzen bei ausgewählten Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen

Im Folgenden wird ein Überblick über MMI-Aspekte und Grenzen ausgewählter Fahrassistenzsysteme speziell mit Blick auf die Verkehrssicherheit gegeben (Geisler 2021a: 392ff, Geisler 2021b: 375 ff). Im Vordergrund stehen dabei jene MMI-Aspekte, die sich aus den Grenzen der Systeme ergeben. Ein detaillierter Überblick von (allgemeinen) Grenzen und Sicherheitsauswirkungen verschiedener Fahrassistenzsysteme wird in Studie B gegeben.

4.3.1 Adaptive Cruise Control bzw. Adaptiver Tempomat (ACC)

Allgemeine MMI-Aspekte

Das Mensch-Maschine-Interface des adaptiven Tempomats erlaubt die Einstellung der Wunschgeschwindigkeit und des Wunschabstands (z. B. sehr klein bis sehr groß) für die Folgefahrt (vgl. Geisler 2021a: 392, KFV 2020: 9). Die Aktivierung des adaptiven Tempomats erfolgt zweistufig. Zunächst ist der adaptive Tempomat grundsätzlich einzuschalten (Wechsel von Zustand Off auf Stand-by) und in einem zweiten Schritt zu aktivieren, entweder mit der aktuellen oder der zuletzt eingestellten Geschwindigkeit. Eine Erhöhung oder Senkung der Wunschgeschwindigkeit ist dabei über Schalter möglich. Der Wechsel von aktiv auf Stand-by kann von den Fahrer:innen durch einen Schalter oder das Betätigen der Bremse erreicht werden (vgl. Geisler 2021a: 392). Außer den Voreinstellungen (z. B. zur Einstellung des Wunschabstands zum Vorderfahrzeug) muss die Einschaltung bzw. Aktivierung des ACC aktiv während der Fahrt durchgeführt werden (vgl. KFV 2022: 9). Die Schaltelemente befinden sich herstellerabhängig entweder auf einem Hebel am oder hinter dem Lenkrad oder auf dem Lenkrad. Die permanente Anzeige des aktiven Systemzustands, der Wunschgeschwindigkeit und des Zustands, ob ein vorausfahrendes Fahrzeug erkannt wurde, erfolgt durch die Anzeige im Kombiinstrument und gegebenenfalls zusätzlich in einem Head-up-Display. Der Wunschabstand wird dabei zumindest dann angezeigt, wenn er verändert wird, bei den meisten Herstellern aber auch permanent. Die Fahrer:innen können temporär durch Betätigung des Gaspedals schneller fahren als im ACC eingestellt – dies wird als Übersteuerung bezeichnet und im Display angezeigt. Wenn das Gaspedal wieder losgelassen wird, übernimmt das ACC mit den zuvor eingestellten Werten die Regelung (vgl. Geisler 2021a: 392 f).

Systemgrenzen und damit zusammenhängende sicherheitsrelevante MMI-Aspekte

Frühere Systeme (erste ACC-Generation) regelten die Geschwindigkeit erst ab einer Mindestgeschwindigkeit von rund 30 km/h. Aktuelle Systeme (Full-Speed-Range-ACC oder ACC Stop&Go) umfassen den Geschwindigkeitsbereich von (bis zu) 210 km/h bis zum Stillstand (vgl. Gonter et al. 2021: 1118). Wichtig ist also zunächst ein Kenntnisstand über die Art des vorhandenen ACC im Fahrzeug.

Die Regelung der Geschwindigkeit ab einer Mindestgeschwindigkeit von rund 30 km/h bei früheren Systemen ist vor allem dann problematisch, wenn das Fahrzeug sich einem Stauende nähert. Wenn in diesen Situationen die Geschwindigkeit schrittweise auf unter 30 km/h sinkt, dann erfolgt eine Übernahmeaufforderung an die fahrende Person durch Warnton und Anzeige und das System schaltet sich ab.

Bei aktuellen Systemen hält das Fahrzeug z. B. beim Zufahren auf ein Stauende nur hinter Fahrzeugen, die zuvor als bewegliches Objekt erkannt wurden. Die Anzeige im Fahrzeug (im Kombiinstrument bzw. zusätzlich in einem Head-Up Display), ob ein Fahrzeug erkannt wurde, gewinnt hierbei also für die Sicherheit an Bedeutung (vgl. Geisler 2021a: 393). Zudem gilt es hinsichtlich Anfahrtssituationen zu berücksichtigen, dass das Fahrzeug nur dann vollautomatisch anfährt, wenn der Stopp sehr kurz war. Ist dies nicht der Fall, ist das Anfahren über das Gaspedal oder einen Schalter zu betätigen, da die Sensorik nicht ausreicht, um eine sichere Situation zu garantieren. Hierbei erfolgt meist eine Meldung in einem Display, die über den Zustand informiert bzw. zum Losfahren auffordert (vgl. Geisler 2021a: 393).

Da die Betätigung des Bremspedals zum sofortigen automatischen Deaktivieren der ACC-Funktion bzw. des Systems führt, ist für den/die Lenker:in eine Information, ob das System gerade aktiviert oder deaktiviert ist von besonderer Relevanz. Zur erneuten Aktivierung des Systems muss der/die Lenker:in wieder den entsprechenden Knopf bzw. Hebel betätigen (vgl. KFV 2022: 9). Problematisch ist hierbei, dass es während der Fahrt, insbesondere nach mehrmaligem Übersteuern des Systems durch Abbremsen (z. B. im Kolonnenverkehr) immer wieder zu Problemen bzw. Fehlermeldungen kommen kann, die zu einer Deaktivierung des Systems führen. Dies erfolgt zum Teil ohne Vorwarnung, wodurch die Übergabe sofort erfolgen muss. Da dies von Lenker:innen als mühsam empfunden wird, kann dies auch dazu führen, dass bestimmte Streckenabschnitte ohne eingeschaltetes ACC gefahren werden (vgl. KFV 2022: 12).

4.3.2 Spurhalteassistent

Allgemeine MMI-Aspekte

Bei Spurhalteassistenten erfolgt eine Warnung bzw. ein Eingriff des Systems bei Unterschreitung eines Schwellenwerts hinsichtlich der Zeit bis zur Übertretung des Fahrstreifens. Diese wird durch die mittels Kamera ermittelte(n) 1) Fahrstreifenbegrenzungen, 2) Position des eigenen Fahrzeugs innerhalb der Spur sowie 3) Bewegungsrichtung des Fahrzeugs abgeleitet (vgl. Geisler 2021b: 375). Spurhalteassistenten verfügen in der Regel über Einstellungen (z. B. zur Einstellung des Warn- beziehungsweise Eingriffszeitpunkts in den Stufen früh/mittel/spät) und Anzeigen und können ein- und ausgeschaltet werden; der Systemzustand (an/aus) wird dabei häufig über eine LED im Kombiinstrument angezeigt (vgl. Geisler 2021b: 375). Erfolgt durch das System eine Warnung, dann in der Regel akustisch durch einen Warnton oder haptisch durch eine Lenkradvibration. Erfolgt durch das System keine Warnung, sondern ein Eingriff, wird ein kleines Drehmoment auf die Lenkung gelegt, wodurch bereits etwas in die notwendige Richtung gelenkt wird (sanftes Gegenlenken). Auch die Spurkorrektur durch Warnung oder durch aktives Eingreifen der Systeme kann eingestellt werden (vgl. KFV 2022: 9).

Systemgrenzen und damit zusammenhängende sicherheitsrelevante MMI-Aspekte

Die Funktionalität von Spurhalteassistenten steht bei bestimmten Straßen- und Witterungsbedingungen nur teilweise oder gar nicht zur Verfügung. Dies ist insbesondere beim Vorhandensein von Fahrbahnmarkierungen im schlechten Zustand, bei durch Schnee oder Dreck verdeckten Fahrbahnmarkierungen oder in Baustellenbereichen mit komplexen und überlappenden Fahrbahnmarkierungen der Fall. Zudem können sich auch verschiedene Witterungsverhältnisse (z. B. Schnee/Regen) negativ auf die Qualität der kamerabasierten Erkennung auswirken (vgl. Geisler 2021b: 375f, KFV 2022: 12). Es ist daher von Wichtigkeit, dass einerseits der Zustand des Spurhalteassistenten (an/aus) angezeigt wird und darüber hinaus auch die vom System erkannten Spuren angezeigt werden. Insbesondere in der Erstbegegnungsphase kann eine derartige Darstellung inklusive grafischer Vorwarnung einen Beitrag dazu leisten, das System kennenzulernen und Vertrauen aufzubauen bzw. die Systemgrenzen einschätzen zu lernen (vgl. Geisler 2021b: 376). Zudem sollte berücksichtigt werden, dass bei eingreifenden Systemen ein aktives Gegenlenken der steuernden Person die Automatik überstimmt und das Drehmoment nicht weiter aufgebracht wird. Zudem sind die Systeme zumeist so

ausgelegt, dass sie, sobald die Hände für einige Sekunden vom Lenkrad genommen werden, eine Warnung ausgeben und sich kurz darauf deaktivieren (vgl. Geisler 2021b: 376). Es braucht durch die/den Fahrer:in also in jedem Fall einen ständigen Überblick, ob der Spurhalteassistent eingeschaltet oder ausgeschaltet ist.

4.3.3 Spurwechselassistent

Allgemeine MMI-Aspekte

Bei Spurwechselassistenten wird mittels Radarsensoren einerseits erkannt ob sich ein Fahrzeug auf der benachbarten Spur befindet sowie die Entfernung und relative Geschwindigkeit der erkannten Objekte im Vergleich zur eigenen Geschwindigkeit erfasst, um letztlich zu erkennen, ob ein Spurwechsel gefahrlos möglich ist oder nicht. (vgl. Geisler 2021b: 377). Das Angebot an Spurwechselassistenten reicht dabei von einfachen akustischen, visuellen oder taktilen Warnungen bis hin zum aktiven Eingreifen zur Verhinderung des Spurwechsels, bis die Gefahr vorbei ist (vgl. KFV 2022: 10): Bei warnenden Systemen erfolgt die Information, ob sich ein Fahrzeug (im toten Winkel) auf der benachbarten Spur befindet in der Regel mittels einer visuellen LED-Anzeige in den Außenspiegeln. Bei zusätzlicher Betätigung des Blinkers erfolgt darüber hinaus meist eine intensivere optische Warnung, eine akustische Warnung oder eine haptische Warnung durch Vibration des Lenkrads. Bei neueren Systemen, die oft in Kombination mit anderen Assistenzsystemen in Fahrzeugen verfügbar sind, kann bei aktiven Systemen auch eine Gegenkraft auf das Lenkrad gelegt werden, die durch kräftiges manuelles Lenken überstimmt werden kann, oder zur Vermeidung einer Kollision eine Bremskraft ausgelöst werden (vgl. Geisler 2021b: 377).

Systemgrenzen und damit zusammenhängende sicherheitsrelevante MMI-Aspekte

Problematisch ist beim Spurwechselassistent die Erkennungsgüte des Systems, die technisch bedingt unter 100% liegt und unter anderem von der Größe des anderen Verkehrsteilnehmenden abhängig ist. Der Spurwechselassistent gibt deshalb auch nur eine Warnung bzw. legt in Kombination mit anderen Systemen eine Gegenkraft auf das Lenkrad, wenn etwas erkannt wurde, gibt jedoch niemals grünes Licht für einen Spurwechsel (vgl. Geisler 2021b: 377). Generell sollten die Anzeigen in den Außenspiegeln so positioniert sein, dass sie die typischen Blickrichtungen beim Spurwechsel

berücksichtigen, um einerseits nicht übersehen zu werden und andererseits weitere Kontrollschritte zu erschweren (vgl. Geisler 2021b: 377).

4.3.4 Autobahn- und Stauassistent

Allgemeine MMI-Aspekte

Beim Autobahn- und Stauassistent handelt es sich um ein teilautomatisiertes System (Level 2), das in aktuellen Fahrzeugmodellen zumeist als eine Kombination aus ACC und Spurhalteassistent umgesetzt ist. Aktiviert wird das Fahrzeug in der Regel über Einschaltung des ACC-Systems sowie anschließender Einschaltung des Spurhalteassistenten, wobei jeweils auch die entsprechenden Voreinstellungen (siehe oben) vor Aktivierung des Systems durchzuführen sind (vgl. KFV 2022: 12)

Systemgrenzen und damit zusammenhängende sicherheitsrelevante MMI-Aspekte

Für den Autobahn- und Stauassistent bestehen – da er meist als eine Kombination aus ACC und Spurhalteassistent umgesetzt ist, ähnliche Systemgrenzen und Auswirkungen auf die MMI-Aspekte wie beim ACC und Spurhalteassistenten. Vor allem die Handhabung im Baustellenbereich (sowie auch in stärkeren Kurven) ist noch mit Vorsicht zu genießen. Die Information zur Erkennung bzw. Nicht-Erkennung von Spurmarkierungen sowie die Anzeige, ob ein Fahrzeug erkannt wurde ist auch hier von besonderer Relevanz. Dies umso mehr als speziell beim Autobahnassistent mit automatischer Spurhaltung – trotz der Voraussetzung, dass der:die Lenker:in das System und das Umfeld dauerhaft überwachen und jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein muss – die Verpflichtung die Lenkvorrichtung während der Fahrt mit mindestens einer Hand festzuhalten, aufgehoben ist (vgl. KFV 2022: 12). Wenn beispielsweise die Fahrbahnerkennung (z. B. im Baustellenbereich) vom Sensor nicht mehr erkannt werden kann, muss der:die Lenker:in das Lenken wieder vollumfänglich übernehmen (vgl. Westermeier et al. 2021: 129). Die Übernahmeaufforderung kann aber in einigen Fällen überraschend sein, wodurch eine entsprechende Ankündigung von besonderer Bedeutung ist. Dies tritt zum Beispiel auf wenn das ACC-System unbewusst, z. B. durch unbewusstes Bremsen oder durch bewusstes Bremsen und die Unwissenheit, dass dieses das ACC deaktiviert, deaktiviert wird (vgl. Westermeier et al. 2021: 132 f).

4.4 Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion bei Fahrerassistenzsystemen in Fahrzeugen vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit

Egal ob Fahrerassistenzsysteme eine informierende und warnende Funktion, eine kontinuierliche automatisierende Funktion, eine (in unfallgeneigten Situationen) temporär eingreifende Funktion oder eine Kombination dieser Funktionen aufweisen, die Integration bestehender aber auch zukünftiger Fahrerassistenzsysteme sowie teilautomatisierter Systeme muss – dies zeigen auch die im vorherigen Kapitel aufgezeigten Grenzen für beispielhafte Fahrerassistenzsysteme – immer durch geeignete Mensch-Maschine Interaktion (MMI) flankiert werden. Hierbei gilt es gemäß bestehender Forschungsergebnisse zum Thema verschiedene Aspekte zu berücksichtigen.

4.4.1 Verständliche und klare Darstellung des Zustands des Systems

Es ist von besonderer Wichtigkeit, dass für Nutzer:innen der Zustand des Fahrerassistenzsystems bzw. teilautomatisierten Systems jederzeit erkennbar ist und dass die entsprechenden Anzeigen an gut einsehbaren Positionen im Fahrzeug möglichst zu jedem Zeitpunkt abgelesen werden können (vgl. Bengler et al. 2021: 1016). Die Europäische Kommission (2020) betont in diesem Zusammenhang, dass die Unkenntnis der Fahrerin bzw. des Fahrers über den Zustand des Fahrerassistenzsystems (z. B. ein-/ausgeschalteter Spurhalteassistent oder Autobahnassistent) diese:n dazu verleiten kann bereitgestellte Informationen durch das System bzw. Fahrzeug und Situationen falsch zu interpretieren oder unangemessene Handlungen durchzuführen, die zu unerwarteten oder unerwünschten Konsequenzen führen. Fahrer:innen sind in diesen Fällen oft von den Auswirkungen ihrer Handlungen überrascht und verwirrt was passiert und was sie tun sollen, um das System wieder in den Normalbetrieb zu bringen (vgl. Europäische Kommission 2020: 31). Wichtig ist, dass die bzw. der Fahrer:in jederzeit eine Rückmeldung vom System hat, was es gerade tut und was es tun wird, eine klare Anzeige über den Zustand des Fahrerassistenzsystems ist von besonderer Bedeutung, um Verwirrung bei den Nutzer:innen zu reduzieren (vgl. Carsten 2019; Europäische Kommission 2020: 31).

4.4.2 Gezielte Bereitstellung von Information und Wahl des Kommunikationskanals

Werden Informationen an Lenkende übermittelt, gibt es wie aufgezeigt mehrere Möglichkeiten, wobei eine gezielte Bereitstellung der Information und entsprechende

Wahl des Kommunikationskanals von Wichtigkeit ist. Nach Ewert (2014) wird eine optische Meldung wegen der ohnehin schon hohen Auslastung des visuellen Kanals während des Fahrens als nicht optimal bezeichnet. Er betont die bessere Eignung von akustischen Informationen, da sie einen weniger belasteten Informationskanal nutzen (vgl. Ewert 2014: 6). Zudem haben akustische Informationen gegenüber visuellen Informationen den Vorteil, dass sie blickunabhängig sind (vgl. Brockmann et al. 2020: 63, Bazilinskyy et al. 2018: 83). Zudem sollten bei der Auswahl und Ausgestaltung der Kommunikation und des Interfaces im Fahrzeug vor ästhetischen Aspekten immer sicherheitskritische Überlegungen angestellt werden. Dies kann gute und schnelle Ablesbarkeit oder eine mögliche Blindbedienung bedeuten, sodass für möglichst wenig Zeit nicht auf die Straße geschaut wird (vgl. Geisler 2021a: 384). Wichtig ist auch, dass Bedien- und Anzeigedisplays (z. B. in der Form von Touch Displays) in der Nähe vom Lenkrad, also rechts mittig neben dem Lenkrad platziert werden sollten, denn je weiter weg Displays vom Blickfeld des/der Lenker:in platziert sind, desto mehr sorgen diese für ein Wegschauen von der Fahrtrichtung und für Ablenkung (vgl. KFV 2022: 13). Grundsätzlich gilt jedoch auch zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Formen von Fahrassistenzsystemen und ihre unterschiedlichen genutzten Kommunikationskanäle unterschiedliche Ansprüche an die Lenkenden stellen und damit auch spezifische Probleme verursachen können (siehe hierzu auch Kapitel 6) (vgl. Ewert 2014: 6).

4.4.3 Minimierung von unerwartetem Verhalten des Systems bzw. entsprechende Warnung vor bzw. in relevanten Situationen

Ein unerwartetes Verhalten des Systems, z. B. Beschleunigen beim Verlassen der Autobahn vor einer Kurve ohne das ein Fahrzeug erkannt wird (z. B. beim ACC), führt dazu, dass der:die Fahrer:in überrascht wird, weil das System eine Aktion ausführt, die nicht dem entspricht was die Fahrer:in bzw. der Fahrer erwartet. Solche unerwarteten Aktionen durch das System können beim:bei der Fahrer:in zu Stress und unerwünschten Handlungen führen, weshalb diese vermieden werden sollten – dieser Umstand sollte zukünftig noch stärker in der technischen Entwicklung berücksichtigt werden – bzw. die bzw. der Fahrer:in in entsprechenden Situationen gewarnt oder im Vorfeld auf diese Probleme hingewiesen werden sollte (vgl. Europäische Kommission 2020: 31). Hierzu gehört auch zum Beispiel, dass das System sich in bestimmten Situationen (wenn es an seine Grenzen kommt) einfach deaktiviert, was dem Fahrer direkt verständlich kommuniziert werden muss.

Letztlich muss die Mensch-Maschine-Schnittstelle so gestaltet sein, dass der:die Fahrer:in alle relevanten Informationen erhält, die eine angemessene und sichere Bedienung des Fahrzeugs in verschiedenen Automatisierungslevels (Level 1 und 2) ermöglichen (vgl. Europäische Kommission 2020: 32). Problematisch ist jedoch, dass derzeit die Komplexität der MMI bei automatisierten Systemen sehr hoch ist. Diese Komplexität resultiert durch a) unterschiedliche Automatisierungslevels in Fahrzeugen (Level 1, Level 2), je nachdem welches System bzw. welche Kombination von Systemen verwendet werden, b) unterschiedliche Konfigurationen von Funktionen, die auf den individuellen Präferenzen der/des Fahrer:in je nach Herstellertyp basieren, c) unterschiedliche Definitionen der Operational Design Domain durch verschiedene Hersteller aufgrund unterschiedlicher Umgebungsbedingungen, was zu Unterschieden in der Verfügbarkeit von Funktionen und Ein-/Ausschaltbedingungen bei gleichen Systemtypen führt sowie d) unterschiedliche Bedienelemente und Funktionslogik für die Funktionen im Fahrzeug bei verschiedenen Herstellern (vgl. Europäische Kommission 2020: 32).

4.5 Berücksichtigung von besonderen Aspekten spezifischer Personengruppen

Bei der Ausgestaltung der HMI sollten zunehmend auch die Aspekte spezifischer Personengruppen, beispielsweise mit Einschränkungen beim Hören und Sehen also z. B. bei älteren Personen oder Menschen mit Behinderungen stärker berücksichtigt werden – eine diesbezügliche Ausgestaltung fehlt bisher noch weitestgehend in bestehenden Systemen (vgl. Europäische Kommission 2020: 32).

Dies ist aus Sicht der Verkehrssicherheit vor allem deshalb wichtig, da insbesondere für ältere Personen ein Sicherheitspotenzial zur Verwendung von Fahrassistenzsystemen als Unterstützung gesehen wird: Ältere Personen machen nicht nur innerhalb der Bevölkerung einen großen (und immer größeren) Anteil aus, sondern sind auch aus Sicht der Verkehrssicherheit durch ihre (körperlichen) Defizite verstärkt gefährdet. Derzeit nutzt jedoch nur ein geringer Anteil von älteren Personen oder Personen mit Behinderungen Fahrassistenzsysteme, wobei ein Grund dafür unter anderem Probleme in der Bedienbarkeit und Verständlichkeit des Mensch-Maschine-Interface sein können (vgl. Brockmann et al. 2020: 56; Liang et al. 2020: 1, Fröhlich et al. 2020: 15). Gleichfalls bedingt Letzteres jedoch nicht nur die Anwendung an sich, sondern auch die Prävention von Risiken bei der Anwendung, die erst die volle Ausschöpfung der Sicherheitspotenziale bei diesen Personengruppen ermöglicht. Brockmann et al. (2020) halten in diesem Zusammenhang fest, dass es nicht nur um die optische Erscheinung von Mensch-Maschine-Interfaces geht, sondern auch die sichere Interaktion mit dem System und seinen Limitationen wichtig ist (vgl. Brockmann et al. 2020: 59).

Die Relevanz der Berücksichtigung von Bedürfnissen unterschiedlicher Personengruppen in der Ausgestaltung von automatisierten Systemen soll im Folgenden beispielhaft mit dem Fokus auf Senior:innen aufgezeigt werden. Viele der Einschränkungen, mit denen sich ein großer Anteil der Senior:innen mit zunehmendem Alter konfrontiert sehen, betreffen jedoch auch andere Nutzer:innengruppen. Lösungsansätze in der Ausgestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle können daher auch einem breiteren Spektrum an Nutzer:innen dienen. Beispielsweise dienen Konzepte zur Kompensation von visuellen Einschränkungen nicht nur Senior:innen, sondern auch Menschen mit Sehbehinderungen. Angemerkt sei hier jedoch, dass eine explizite Auseinandersetzung mit den Bedürfnissen dieser Gruppen dennoch notwendig ist.

Grundsätzlich muss dabei das Mensch-Maschine-Interface die Besonderheiten der verschiedenen Personengruppen, z. B. Einschränkungen in Sensorik, Motorik und Kognition und die Schwächen ausgleichen. Nur so kann eine positive Erfahrung mit dem System ermöglicht werden und Nutzungsbarrieren wie Angst oder eine geringe empfundene Nützlichkeit der Systeme überwunden werden (vgl. Brockmann et al. 2020: 74). Hierzu gehören unter anderem Aspekte im Zusammenhang visueller, auditiver, physischer und kognitiver Defizite (vgl. Brockmann et al. 2020 61 ff), die im Folgenden dargestellt werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass altersbedingte Defizite bzw. fahrrelevante Beeinträchtigungen auch schon im jüngeren Lebensalter auftreten und auch ältere Personen gleichen Alters sich stark in der Beeinträchtigung ihrer Fähigkeiten unterscheiden. Prinzipiell erscheint es daher sinnvoll, dass HMI Komponenten unter Berücksichtigung der jeweiligen Einschränkungen flexibel an die Bedürfnisse der einzelnen Nutzer:innen angepasst werden können (z. B. individuelle Einstellung der Helligkeit des Displays oder der Lautstärke von Warntönen) und so eine bestmögliche Passung zu den verschiedenen Bedürfnissen herstellen (vgl. Brockmann et al. 2020: 69) – schon heute sind in Fahrzeugen Möglichkeiten für spezifische Einstellungsprofile für einzelne Fahrer:innen verfügbar, die zukünftig noch stärker auch die HMI Komponenten umfassen sollten, um unterschiedliche Anforderungen und mögliche Einschränkungen der Fahrer:innen zu berücksichtigen.

4.5.1 Visuelle Einschränkungen und MMI

Visuelle Defizite können sich durch unterschiedliche Aspekte ergeben. Beispielsweise kann der besonders bei älteren Personen vorhandene Rückgang der Sehschärfe bedingen, dass bewegliche Objekte, z. B. auf Displays schlechter wahrgenommen werden können. Auch die Hell-Dunkel-Adaption, die bei älteren Personen verlangsamt ist, kann problematisch sein, wenn Fahrer:innen bei Nachtfahrten durch das helle HMI geblendet werden bzw. vom hellen HMI auf die dunkle Straße schauen und die Augen sich relativ schnell an die unterschiedlichen Lichtverhältnisse anpassen müssen. Aufgrund der Reduzierung des Blickfelds bei älteren Personen, sollten zudem alle relevanten Informationen für den/die Fahrer:in über das HMI im zentralen Blickfeld der Fahrer:innen dargestellt werden (vgl. Brockmann et al. 2020: 62). Allerdings bieten MMI speziell über Displays andererseits auch die Möglichkeit, sich bewegende, relevante Objekte aus dem Umfeld des/der Fahrer:in (die sonst noch schwerer erkennbar wären) hervorzuheben und die Wahrnehmung zu verbessern bzw. entsprechend über das Display ins zentrale Blickfeld der Fahrer:innen zu rücken (vgl. Brockmann 2020: 61 ff). Problematisch ist darüber hinaus ein Rückgang bzw. eine rückläufige Kontrastsensitivität und Farbwahrnehmung. Das HMI muss also so

gestaltet werden, dass Kontraste und unterschiedliche Farben gut wahrnehmbar sind (z. B. klare und einfache Displayfarben, geringe Displayhelligkeiten). Auch wenn dieses Prinzip bereits in unterschiedlichen Design Guidelines (z. B. DIN EN ISO 9241 oder in der Automobilbranche genutzten Guideline SAE J2217) festgehalten ist, muss es im Zusammenhang mit der Ausgestaltung von HMI für ältere Personen und speziell Menschen mit Sehbeeinträchtigungen stärker berücksichtigt werden (vgl. Brockmann et al. 2020: 63).

4.5.2 Auditive Einschränkungen und MMI

Prinzipiell können – wie die visuellen Fähigkeiten – auch die auditiven Fähigkeiten speziell bei älteren Personen eingeschränkt sein bzw. von einem Rückgang betroffen sein. Im Einklang mit der bereits im vorherigen Kapitel 4.4 beschriebenen hohen Eignung von akustischen Informationen betonen Brockmann et al. (2020), dass trotz eventueller Beeinträchtigungen der Hörleistung, ältere Fahrer:innen akustische Warnhinweise im Auto akzeptabel und wünschenswert finden. Aus ihrer Sicht sind vor allem multimodale Displays, die visuellen und akustischen Output nutzen sowie die jeweiligen Schwächen (visuell/akustisch) ausgleichen und so zu einer verbesserten Wahrnehmung relevanter Information führen, sinnvoll (vgl. Brockmann et al. 2020: 64).

4.5.3 Physische Einschränkungen und MMI

Physische Defizite speziell bei älteren Fahrer:innen können sich unterschiedlich äußern, z. B. durch eine reduzierte Bewegungsgeschwindigkeit sowie einen Rückgang in der Hals-Nacken-Beweglichkeit und im Bereich motorischer Fähigkeiten (Geschicklichkeit und Koordination). Speziell die reduzierte Bewegungsgeschwindigkeit sollte beim Zeitpunkt der Warnung über eine Gefahrensituation berücksichtigt werden. Andererseits können durch Bedienkonzepte wie Touchscreens, mit welchen die erforderliche Kraft Knöpfe zu drücken reduziert werden kann, altersbedingte Defizite hinsichtlich motorischer Fähigkeiten durch MMI kompensiert werden (vgl. Brockmann et al. 2020: 66).

4.5.4 Kognitive Einschränkungen und MMI

Berücksichtigt werden sollten jedoch nicht nur sensorische und physische Probleme, sondern auch gerade bei älteren Personen ebenso Defizite im Bereich der kognitiven Fähigkeiten. Ein altersbedingter Rückgang zeigt sich beispielsweise bei kognitiven Fähigkeiten wie beispielsweise der Aufmerksamkeit, der Fähigkeit zu Multitasking oder

der Reaktionsgeschwindigkeit (vgl. Brockmann et al. 2020: 66). Problematisch ist, dass ältere Menschen eine schlechtere Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit haben, also die Aufmerksamkeit schlechter so kontrollieren können, dass zwei Aufgaben simultan ausgeführt werden, indem die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf verschiedene Inputs oder Gedächtniselemente gelenkt wird. Dies spielt im Kontext von Fahrassistenzsystemen und MMI eine Rolle, wenn plötzlich Warnhinweise präsentiert werden, auf die die Aufmerksamkeit (zusätzlich zur Fahraufgabe) gelenkt werden muss. Vor allem für ältere Personen kann dies eine Herausforderung darstellen und zu Interferenz führen, also dazu, dass eine Überlagerung von Aufgaben oder Informationen stattfindet und diese dadurch nicht richtig ausgeführt oder wahrgenommen werden (vgl. Brockmann et al. 2020: 67). Zur Vermeidung von Interferenz, sollten multimodale Interfaces beispielsweise im Sinne einer gleichzeitigen Verarbeitung von einem Symbol auf dem Display und Warnton, verwendet werden. Letztlich sollte das HMI eines Assistenzsystems Aufmerksamkeitsressourcen sparen und nicht zu viel Aufmerksamkeit von der Aufgabe nehmen. Andererseits ermöglicht das HMI auch die Aufmerksamkeit der Fahrer:innen zu wecken und gezielt auf wichtige Informationen zu lenken (vgl. Brockmann et al. 2020: 68). Wie bereits bei dem Aspekt der reduzierten Bewegungsgeschwindigkeit sollte gleichfalls auch aufgrund einer reduzierten Reaktionszeit bei älteren Personen, eine ausreichend frühzeitige Warnung vor einer Gefahrensituationen bei Fahrassistenzsystemen berücksichtigt werden, sodass die zur Verfügung stehende Reaktionszeit verlängert wird und so zu einer erhöhten Verkehrssicherheit besonders für ältere Fahrer:innen führt (vgl. Brockmann et al. 2020: 68).

Die Relevanz der Berücksichtigung von besonderen Aspekten spezifischer Personengruppen wurde auch in einigen Expert:inneninterviews thematisiert. Neben Einschränkungen bedingt durch das Alter, sind hier auch körperliche und psychische Behinderungen zu nennen. Auch das Thema Gender spielt im Umgang mit automatisierten Systemen eine Rolle (siehe hierzu auch Studie C). Es gilt daher, bereits im Entwicklungsstadium automatisierter Systeme ein möglichst breites und für die Bevölkerung repräsentatives Spektrum an Nutzer:innen einzubinden. Des Weiteren wurden in den Gesprächen auch kulturelle Barrieren – beispielsweise Sprachbarrieren oder unterschiedliche Interpretationen von Symbolen und Gesten zwischen verschiedenen Kulturen – erwähnt, die aus Sicht der Verkehrssicherheit nicht vernachlässigt werden dürfen. Dies wird jedoch verstärkt erst im Kontext der Fahrzeug-externen Interaktion bei zukünftigen Systemen, insbesondere automatisierten Fahrzeugen der Stufe 4 (siehe auch Kapitel 5.2) relevant werden. Generell müssen Hersteller dafür sensibilisiert werden, dass nicht alle HMI Konzepte für alle Personen gleich (gut)

funktionieren können. Eine gewisse Form der Personalisierung/ Individualisierung der Systeme (z. B. über individuell angepasste Einstellungsprofile) wird daher vermutlich notwendig werden.

4.6 Exkurs: Tier-Maschine Interaktion

Aspekte der Kommunikation im Straßenverkehr können sich jedoch nicht nur zwischen Mensch und Maschine ergeben, sondern in spezifischen Situationen auch mit Tieren – man spricht hier von der Tier-Maschine Interaktion (vgl. Bendel 2015). Speziell Wildunfälle sind aus Sicht der Verkehrssicherheit von besonderer Relevanz, ereignen sich doch jährlich mehr als 80.000 Wildunfälle in Österreich. (vgl. KFV 2021). Relevant sind in diesem Zusammenhang insbesondere Wildtierwarner bzw. Nachtsicht-Systeme, die mit Infrarotsensoren die Wärmestrahlung von Tieren erkennen, frühzeitig warnen oder die Bremsung unterstützen können. Zusätzlich können auch Notbremsassistenten, die durch ihre Radarsensoren, besonders bei Dunkelheit oder Nebel ihre besonderen Stärken auch bei der Erkennung von Tieren ausspielen können, sinnvoll sein (vgl. ADAC 2020). In diesem Zusammenhang sind sowohl die bereits beschriebenen Aspekte im Bereich der internen Mensch-Maschine Interaktion im Fahrzeug relevant (z. B. ausreichend frühe Warnung bei Detektion von Wildtieren). Zudem kann auch die externe Kommunikation eine Rolle spielen. Schon heute gibt es entsprechende Warnmeldungen für Wildtiere nicht auf den Lenkenden gerichtet, sondern zu den Tieren. Zur Detektion von Tieren könnte zukünftig ein kombiniertes Konzept zum Einsatz kommen, bei der mit den Tieren interagiert wird und sie so gewarnt oder verscheucht werden (vgl. Bendel 2015).

5 Aspekte der Interaktion zukünftiger Systeme (Level 3, 4) mit Menschen

Wie eingangs erwähnt, nimmt auch bei zukünftigen Systemen höherer Automatisierungsstufen (Level 3 und 4) die Interaktion zwischen Mensch und Maschine eine bedeutende Rolle für die Verkehrssicherheit ein. Neben der Fahrzeug-internen Kommunikation (iHMI), die bereits bei den bestehenden Systemen (Level 1 und 2) von besonderer Wichtigkeit war, gewinnt speziell bzw. spätestens ab dem Automatisierungslevel 4, d.h. bei Level-4-Fahrzeugen bei denen durch die im August 2022 in Kraft getretene EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 rechtliche Rahmenbedingungen für deren Einführung bestehen, die Fahrzeug-externe Kommunikation (eHMI) eine zunehmende Bedeutung (vgl. Europäische Kommission 2020: 37). Darüber sind sich auch die befragten Expert:innen weitgehend einig. In diesem Zusammenhang steht die Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen, konventionellen Fahrzeugen sowie Fußgänger:innen und Radfahrenden im Straßenraum im Vordergrund. Für die Verkehrssicherheit sind relevante Themen dieser externen Interaktions- und Kommunikationskonzepte, insbesondere die Erkennbarkeit der Automatisierungsstufe des Fahrzeugs, sowie dass sich das Fahrzeug auf vorhersehbare Weise verhält und mit anderen Verkehrsteilnehmenden möglichst konfliktfrei kooperiert (vgl. Deublein 2020: 38).

5.1 Aspekte zukünftiger Systeme im Bereich der Fahrzeug-internen Interaktion

Insbesondere solange der:die Fahrer:in noch die Rückfallebene bildet, bleibt die Fahrzeug-interne Kommunikation (iHMI) auch im Bereich der Verkehrssicherheit von essenzieller Bedeutung. Während dies bei bestehenden Systemen der Automatisierungslevel 1 und 2, in welchen der:die Fahrer:in das System dauerhaft überwachen muss, ohnehin der Fall ist, ist dieser Umstand bei zukünftigen Systemen vor allem beim Automatisierungslevel 3 relevant. Hier muss der:die Fahrer:in das System zwar nicht mehr dauerhaft überwachen, da die Längs- und Querführung in spezifischen Anwendungsfällen (Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen) automatisiert ausgeführt wird, der:die Fahrer:in muss jedoch potenziell in der Lage sein, zu übernehmen, wenn das

System die Übernahme fordert (vgl. SAE International 2021: 12, Uhr 2016: 5). Speziell wenn das System die Übernahme fordert, wenn also die Führung des Fahrzeugs an die/den menschlichen Fahrer:in zurückgegeben wird, sodass diese/dieser eingreifen muss, spielt die Fahrzeug-interne Kommunikation weiterhin eine bedeutende Rolle (vgl. Deublein 2020: 38).

Mit der UN-Regelung Nr. 157 wurde die erste Regelung für ein Level 3-System, das sogenannte ALKS – Automated Lane Keeping System (Automatisches Spurhalteassistenzsystem) im Jahr 2020 angenommen und trat mit Januar 2021 in Kraft (vgl. UNECE 2021). Hierin sind auch Aspekte hinsichtlich Sicherheitsanforderungen für die Interaktionen mit Nutzer:innen beschrieben (vgl. UNECE 2021: 12), wobei diese aber allein erste grobe Rahmenbedingungen bzw. Anforderungen darstellen. So benötigen ALKS-Systeme beispielsweise Systeme zur Fahrer:innenerkennung und müssen Nutzer:innen in Übernahmesituationen visuell und zusätzlich auditiv und haptisch warnen (vgl. UNECE 2021: 15).

Speziell in Übernahmesituationen sind solche Warnkonzepte erforderlich, da der:die Fahrer:in in diesen Situationen seine:ihre Hände und Füße (wieder) in die richtige Position für die Fahrzeugkontrolle bringen muss, das Bewusstsein für die Fahrumgebung wiedererlangen muss und dann das entsprechende Manöver bzw. die entsprechende Aufgabe ausführen muss (vgl. Europäische Kommission 2020: 61). Neben den bereits in Kapitel 4.4 beschriebenen Leitsätzen, geht es hier vor allem darum, dass die interne Mensch-Maschine-Schnittstelle eine adäquate Übernahme der Führung des Fahrzeugs durch den Menschen nach fahrfremden Tätigkeiten ermöglicht (vgl. Uhr 2016: 29), Interaktionskonzepte zur Übernahmeaufforderung leicht verständlich sind und zudem genügend Zeit für eine sichere Übernahme durch den:die Fahrer:in (vgl. Vollrath 2016: 4) vorhanden ist. Studien zu dieser Thematik (z. B. Naujoks et al. 2018, Eriksson & Stanton 2017, Vollrath 2016) gehen davon aus, dass etwa 10 bis 15 Sekunden für die Deaktivierung der automatisierten Fahrfunktion und Wiedererlangung der Kontrolle durch den:die Fahrer:in erforderlich sind, wobei dies auch davon abhängt, womit der:die Fahrer:in ansonsten (z. B. fahrfremde Tätigkeiten) beschäftigt ist (siehe hierzu auch Kapitel 6) (vgl. Europäische Kommission 2020: 61). Von Relevanz ist dabei also sowohl eine Transparenz über den aktuellen Modus des Fahrzeugs (automatisiert oder manuell) als auch die entsprechende Anpassung der Rückdelegation des Systems an den:die Fahrer:in an die Verfassung des:der Fahrer:in, wobei es hierfür einer Sensierung bzw. Detektion und Wahrnehmung des:der Fahrer:in hinsichtlich seiner bzw. ihrer Aufmerksamkeit bedarf – zukünftig werden deshalb auch vermehrt Innenraumkameras (die schon heute für den

Müdigkeitsassistenten in Serie eingesetzt werden) sowie weitere Sensoren zur Erkennung von Blickabwendungen, Müdigkeit, Schlaf sowie medizinischen Parametern wie Herzfrequenz von Relevanz sein (vgl. Fürst et al. 2021: 975). Beim Automatisierungslevel 4, in denen in einem ausgelegten Bereich (ODD-spezifisch) alle Situationen automatisiert bewältigt und Fahrzeuge fahrer:innenlos betrieben werden können und keine Übernahmeaufforderung stattfindet (vgl. SAE International 2021: 12, Uhr 2016: 5), d.h. wenn der Fahrer komplett zum Passagier wird, sind hingegen weniger fahrrelevante Informationen in der Interaktion von Relevanz, sondern grobe Informationen über den Fahrtverlauf, die Position sowie zu Start und Ziel, die den Passagieren entsprechend kommuniziert werden müssen (vgl. Easymile 2020: 27). Wichtig ist, dass die interne Mensch-Maschine Schnittstelle hier beispielsweise über den Status von Systemfähigkeiten und -fertigkeiten, z. B. die prospektive Erfassung und Visualisierung des eigenen Manövers aber auch der Manöver anderer Verkehrsteilnehmenden informiert, insbesondere durch Berücksichtigung und Sichtbarmachung dynamischer (z. B. LSA-Informationen, andere Verkehrsteilnehmende) sowie auch statischer (z. B. Straßeneigenschaften) Verkehrselemente in Displays (vgl. Springer et al. 2019: 882). Letztlich ist hier also relevant, dass die Passagiere über die Fahrzeug-interne Kommunikation Informationen darüber erhalten, was das Fahrzeug macht und wann es zu einer Störung kommt bzw. dass das Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand gebracht wird. Daneben sind für die Passagiere jedoch auch Informationen über die Interaktionen des Fahrzeugs mit anderen externen Verkehrsteilnehmenden von Wichtigkeit. Insbesondere in mehrdeutigen Situationen bzw. Situationen mit Gefahrenpotenzial sollte für die Passagiere erkennbar sein, dass das Fahrzeug die Situation richtig einschätzt und durch Interaktion mit externen Verkehrsteilnehmenden löst. Dies ist nicht zuletzt auch für die Erhöhung des Vertrauens der Passagiere in das automatisierte Fahrzeug notwendig (vgl. Deublein 2020: 47).

5.2 Aspekte zukünftiger Systeme im Bereich der Fahrzeug-externen Interaktion

Zunehmende Bedeutung im Bereich der Mensch-Maschine Interaktion kommt bei zukünftigen Systemen, speziell ab dem Automatisierungslevel 4, der externen Kommunikation, d.h. der Kommunikation zwischen dem automatisiert fahrenden Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmenden außerhalb des Fahrzeugs, auch aus Sicht der Verkehrssicherheit zu (vgl. Europäische Kommission 2020: 37). Sie ist im Mischverkehr, d.h. im Nebeneinander von automatisierten Fahrzeugen, konventionellen Fahrzeugen und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden besonders relevant (vgl. Deublein

2020: 28), um die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden zu garantieren und ist zudem insbesondere für die Akzeptanz und sichere Integration von automatisierten Fahrzeugen von hoher Relevanz (Owens et al. 2017: 75).

Eine sichere Interaktion setzt in vielen Fällen die Fähigkeit voraus, die jeweilige Absicht zu signalisieren. Schon heute wird bei Fahrzeugen anderen Verkehrsteilnehmenden, die Absicht, die Spur oder die Richtung zu wechseln, durch die Verwendung des Blinkers signalisiert (vgl. Europäische Kommission 2020: 37). Letztlich geht der Diskurs im Bereich der externen Kommunikation automatisierter Fahrzeuge um die Frage, ob bei automatisierten Fahrzeugen ein besonderer Bedarf besteht Manöver- bzw. Fahrabsichten in einer Form zu signalisieren, die über die bei bestehenden Fahrzeugen bereits vorhandenen Vorrichtungen wie Blinker, Bremslicht, Hupe (siehe hierzu auch Kapitel 2) hinausgehen. Als Begründung für diese besonderen Anforderungen wird dabei häufig angeführt, dass – wie eingangs erwähnt – bereits heute der Straßenverkehr häufig durch nonverbale Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden geprägt ist und direkte Kommunikation durch Blickkontakt und Gesten ein wichtiges Element für sichere Interaktionen zwischen Fahrer:innen und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden sind, und auch automatisierte Fahrzeuge diesen Umstand berücksichtigen müssen (vgl. Europäische Kommission 2020: 38, Deublein 2020: 39). Grundsätzlich variiert die Bedeutung nonverbaler Hinweise und Interaktion im Straßenverkehr jedoch je nach Verkehrssituation (z. B. Entfernung, Zeitdruck), Alter der/s Fahrer:in, psychischer Verfassung oder Kultur. Speziell wenn die Entfernung zwischen den interagierenden Verkehrsteilnehmenden gering ist, verlassen diese sich mehr auf fahrerzentrierte Hinweise (z. B. Kopfnicken), während sie sich bei größerer Entfernung auf fahrzeugzentrierte Hinweise (z. B. Geschwindigkeitsreduktion) verlassen (vgl. Deublein 2020: 39).

Grundsätzlich kann im Bereich der Fahrzeug-externen Kommunikation bzw. externen Mensch-Maschine Interaktion zunächst zwischen der expliziten Kommunikation (Kommunikationsmaßnahmen, die über das Fahrverhalten des Fahrzeugs hinausgehen) und der impliziten Kommunikation (Parameter der Fahrzeugbewegung, die von anderen Verkehrsteilnehmenden als Information genutzt werden können) mit anderen Verkehrsteilnehmenden unterschieden werden (vgl. Weber et al. 2019: 15, BASt 2021: 21). Speziell in der Forschung wird dabei das Thema Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge sowie die Themen der impliziten und expliziten Kommunikation und beispielsweise auch die Frage ob eHMIs eher anzeigen sollten, welche Handlung das automatisierte Fahrzeug beabsichtigt oder eher, was der bzw. die Fußgänger:in tun sollte, umfassend diskutiert. Insbesondere im Bereich der expliziten Kommunikation wurden in

der Vergangenheit verschiedene Kommunikationsmittel (z. B. textliche Nachrichten, universelle Symbole, Lichtzeichen) erforscht (vgl. Deublein 2020: 47). Letztendlich steht am Anfang jedoch auch die Frage, welche Informationen überhaupt kommuniziert werden können.

5.2.1 Arten von zu kommunizierender Information

Im Bereich der externen Kommunikation durch automatisierte Fahrzeuge können grundsätzlich verschiedene Arten von Informationen an andere Verkehrsteilnehmende kommuniziert werden. Nach Wilbrink et al. (2018) und BASt (2021) lassen sich dabei folgende Arten von Informationen unterscheiden (vgl. Deublein 2020: 47 f, BASt 2021: 48):

- Informationen über den Fahrmodus des Fahrzeugs: Hierzu gehören Informationen, welche die spezifischen Merkmale des automatisierten Fahrzeugs beinhalten, beispielsweise, ob das automatisierte Fahrzeug im automatisierten Fahrmodus betrieben oder im manuellen Fahrmodus gefahren wird. Diese Informationen unterstützen andere Verkehrsteilnehmende die richtige Erwartungshaltung gegenüber dem Verhalten des automatisierten Fahrzeugs zu entwickeln.
- Informationen über die nächsten Manöver des Fahrzeugs: Hierzu gehören Informationen über nächste Fahrmanöver unter Berücksichtigung das die Fahrzeugbewegung wie z. B. Änderungen in der Trajektorie, Verzögerung und Beschleunigung eines Fahrzeugs und daraus resultierende Änderungen der Lückengröße für querende oder einbiegende Verkehrsteilnehmende von Relevanz sind.
- Informationen über die Wahrnehmung der Umgebung: Hierzu gehören Informationen, die anderen Verkehrsteilnehmenden helfen, zu erkennen, dass sie durch ein sich näherndes automatisiertes Fahrzeug erkannt wurden. Dies umfasst beispielsweise auch Fahrzeugbewegungen (z. B. Fahrzeugverzögerungen), die als Hinweis interpretiert werden, dass ein automatisiertes Fahrzeug die sich in der Nähe befindenden Verkehrsteilnehmenden erkannt hat und bereit ist, auf diese zu reagieren, und kann durch Signale wie Blickkontakt etc. verstärkt werden.
- Informationen über Kooperationsfähigkeiten: Hierzu gehören Informationen durch automatisierte Fahrzeuge, die andere Verkehrsteilnehmende über ihre Fähigkeiten aufklären, beispielsweise, dass sie im Stande sind mit anderen Verkehrsteilnehmenden eine direkte bilaterale Koordination von Handlung zu beginnen (z. B. Fußgehenden Vortritt gewähren).

5.2.2 Explizite Kommunikation

Explizite Kommunikation beschreibt Maßnahmen zur Kommunikation von Informationen (der oben beschriebenen Arten von Information), die über das dynamische Fahrverhalten des Fahrzeugs allein hinausgehen (vgl. Deublein 2020: 50, Weber et al. 2019: 15). Hierzu gehören Kopf- und Handbewegungen oder bereits bestehende eHMIs von manuell betriebenen Fahrzeugen wie z. B. Blinker. Im Bereich der Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmenden wurden in den letzten Jahren unterschiedliche Arten von eHMIs entwickelt und erforscht, um die im heutigen Straßenverkehr bestehenden Kopf- und Handgesten zu ersetzen oder implizite Signale zu unterstützen oder zu ergänzen (vgl. Deublein 2020: 50, Kessels 2021).

Arten von eHMI bei der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden

Die unterschiedlichen Arten von genutzten eHMI bei der Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmenden außerhalb des Fahrzeugs beruhen bisher insbesondere auf visueller Kommunikation und umfassen vor allem (vgl. Oudshoorn et al. 2021: 128; Ezzati Amini et al. 2021: 9f; Carmona et al. 2021: 6 ff, BASt 2021: 50, Dey et al. 2020: 2; Europäische Kommission 2020):

- Textbasierte eHMI: Bei dieser Gestaltungsform der Fahrzeug-externen Kommunikation wird mittels Text kommuniziert.
- Symbolbasierte eHMI: Bei der symbolbasierten eHMI werden bei der Fahrzeug-externen Kommunikation universelle, allgemein verständliche Symbole (z. B. Smileys oder Projektion eines Zebrastrreifens) verwendet.
- eHMI basierend auf abstrakten Elementen und Licht: Bei der Kommunikation basierend auf abstrakten Elementen wird via visuellen Formen und Licht kommuniziert.
- Anthropomorphe eHMI: Bei der Fahrzeug-externe Kommunikation mittels anthropomorpher eHMI werden menschliche Elemente bzw. menschliche Charakteristika (z. B. Imitation von Augen, Lächeln, etc.) genutzt.

Abbildung 4 Beispiel der verschiedenen Arten von eHMI

Textbasierte eHMI



Quelle: Deublein 2020: 39

Symbolbasierte eHMI



Quelle: Semcon 2018

Lichtbasierte eHMI



Quelle: Kessels 2021

anthropomorphe eHMI



Quelle: Jaguar Land Rover 2018

Auch die ausdrückliche Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge ist letztlich ein explizites Signal (vgl. BAST 2021: 21). Hier können u.a. oben angeführte eHMI Ansätze verwendet werden, um beispielsweise den aktuellen Fahrmodus (automatisiert ja/nein) anzuzeigen (vgl. BAST 2021: 51). Neben den vorrangig visuellen Ansätzen bei der externen Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen mit anderen Verkehrsteilnehmenden gibt es prinzipiell auch Ansätze basierend auf akustischer Kommunikation, beispielsweise durch akustische Warntöne, die zum Teil auch mit den oben beschriebenen Ansätzen kombiniert werden. Als Beispiele können hier unter anderem die Glocke bei den automatisierten Shuttlebussen von Easymile (vgl. Easymile 2020: 27) oder der Acoustic Beam beim automatisierten Shuttlebus von Zoox (vgl. Zoox 2018) genannt werden.

Beispiele für Ausgabemedien für die Umsetzung visueller eHMI bei der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden

Relevant bei der externen Kommunikation ist insbesondere auch die Unterscheidung zwischen adressierten Nachrichten, also jenen, die immer nur für einen bzw. eine

Verkehrsteilnehmer:in bestimmt sind (z. B. Fußgänger:in auf der linken Seite des Schutzstreifens, bitte überqueren Sie die Straße) und nicht adressierten Nachrichten, also jenen, die für alle Verkehrsteilnehmenden bestimmt sind (z. B. Jede:r, die:der diese Botschaft hört, kann jetzt die Straße überqueren) (vgl. Deublein 2020: 51; Wilbrink et al. 2018). Die oben beschriebenen vorrangig visuellen Ansätze für eHMI für die Kommunikation automatisierter Fahrzeuge mit externen Verkehrsteilnehmenden wurden in bisherigen Studien daher mittels verschiedenen Ausgabemedien an Fahrzeugen umgesetzt, die diesen Umstand versuchen zu berücksichtigen. Die häufigsten dieser Ausgabemedien – hierzu gehören unter anderem die gerichtete Signalleuchte, das 360°-LED-Lichtband, die Projektion sowie die elektrische Anzeigetafel (vgl. Deublein 2020: 50) – sollen im Folgenden beispielhaft beschrieben werden.

Die Entwicklung der gerichteten Signalleuchte, die im Zusammenhang mit einer auf lichtbasierenden eHMI Anwendung findet, beruht auf der Fragestellung, ob und wie adressierte Nachrichten ausschließlich an bestimmte Verkehrsteilnehmende zielgerichtet übertragen werden können. Ziel ist es, dass jeder erkannte und für eine spezifische Interaktionssituation relevante Verkehrsteilnehmende ein Lichtsignal sehen soll, das ihn wissen lässt, dass er durch das Fahrzeug erkannt wurde. Gleichzeitig soll das Signal für andere, möglicherweise nicht erkannte oder als nicht relevant klassifizierte Verkehrsteilnehmende nicht sichtbar sein. Bei der gerichteten Signalleuchte ermöglicht der direkte, gerichtete Lichtstrahl eine unmissverständliche und gut erkennbare Signalisierung bei allen Wetter- und Lichtverhältnissen, vergleichsweise mit der Funktionalität vorhandener optischer Fahrzeugsignale (Bremslicht, Blinker). Wichtig ist jedoch, dass der Lichtstrahl einer gerichteten Signalleuchte in eine Position gebracht werden muss, die nur von bestimmten Verkehrsteilnehmenden sichtbar ist – eine Form der adressierten Kommunikation. Ein gerichtetes Signalleuchtenkonzept ist in der Lage, zu kommunizieren, dass eine bestimmte Person von den Fahrzeugsensoren gesehen wurde, sobald sie das Lichtsignal sehen und gilt insbesondere, da es auch auf größere Entfernung mit einzelnen Verkehrsteilnehmenden kommunizieren kann, als vielversprechend (vgl. Deublein 2020: 51).

Beim 360°-LED-Lichtband handelt sich um einen direkt strahlenden horizontalen LED-Ring um das komplette Fahrzeug, der vollständig oder segmentweise beleuchtet werden kann und so die Kommunikation von Signalen ermöglicht, die aus jeder Perspektive sichtbar sind (vgl. Deublein 2020: 51, Weber et al. 2019: 25). Die getrennte Darstellung kurzer Lichtsegmente am Lichtband kann zusätzlich die Erkennung eines oder mehrerer Verkehrsteilnehmenden reflektieren und die Sichtbarkeit einschränken, sodass die

Wahrnehmung des Signals nur von Verkehrsteilnehmenden in ähnlicher Richtung möglich ist. Prinzipiell ist durch das Leuchtband also sowohl die Darstellung gerichteter Signale an Verkehrsteilnehmende als auch nicht-gerichteter Signale (z. B. Darstellung des Automatisierungsstatus) möglich (vgl. Deublein 2020: 52, Weber et al. 2019: 25).

Bei der Projektion werden textbasierte, symbolbasierte oder auf abstrakten Elementen basierende Informationen durch eine lichtbasierte Beleuchtungseinheit vor dem automatisierten Fahrzeug auf die Straße oder auf andere Oberflächen rund um das Fahrzeug projiziert – beispielsweise ein Zebrastreifen, wenn ein/e Fußgänger:in mit Querungsabsicht erkannt wurde und ihr/ihm der Vortritt gewährt wird (vgl. Deublein 2020: 52).

Die elektronische Anzeigetafel basiert auf der Displaytechnologie, die durch die Integration von lichtemittierenden Oberflächen in eine Matrix realisiert wird und hierdurch textbasierte, symbolbasierte oder auf abstrakten Elementen basierende Informationen dargestellt am Display direkt am Fahrzeug dargestellt werden können (vgl. Deublein 2020: 52).

Neuere Forschungsansätze zur Fahrzeug-externen Kommunikation umfassen auch den Einsatz von Augmented Reality / Virtual Reality Technologien. Es ist allerdings grundsätzlich noch zu früh, um für diese Kommunikationsform Implikationen für die Verkehrssicherheit abzuleiten.

Einschätzungen zu unterschiedlichen Ansätzen für die explizite Kommunikation und zur expliziten Kommunikation insgesamt bei automatisierten Fahrzeugen mit externen Verkehrsteilnehmenden

Hinsichtlich der unterschiedlichen Arten von eHMI zur expliziten Kommunikation besteht grundsätzlich ein Vorteil der textbasierten eHMI in seiner grundlegenden Unmissverständlichkeit. Als Nachteil werden jedoch insbesondere Sprachbarrieren genannt sowie die schlechte Lesbarkeit aus der Entfernung, aus bestimmten Winkeln oder bei Blendung (vgl. Oudshoorn et al. 2021: 128, Europäische Kommission 2020: 40). So können Textnachrichten in einer bestimmten Sprache oder einem bestimmten Alphabet unter Umständen nicht von allen verstanden werden, was insbesondere problematisch ist, wenn die zu kommunizierenden Informationen weltweit gelten sollen. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass nicht alle Menschen lesen können (vgl. Europäische Kommission 2020: 39 f). Ein Vorteil der symbolbasierten eHMI und der auf abstrakten

Elementen und Licht basierenden eHMI ist die Überwindung dieser möglichen Sprachbarrieren. Allerdings verlangt die symbolbasierte eHMI eine gewisse Form der Vertrautheit oder einen vorangehenden Lernprozess und auch speziell die auf abstrakten Elementen und Licht basierende eHMI benötigt zuvor ein gewisses Training, um die Bedeutung der Elemente oder Farben vollständig zu verstehen (vgl. Oudshoorn et al. 2021: 128). Akustische eHMIs werden hingegen von den befragten Expert:innen in den Expert:inneninterviews großteils als problematisch eingestuft, da akustische Signale aufgrund des bereits vorhandenen Lärms im Straßenverkehr oft schwierig zu hören sind und insbesondere problematisch für Menschen mit Hörbehinderung sind.

Problematisch ist jedoch grundlegend hinsichtlich der unterschiedlichen Ansätzen von eHMI zur expliziten Kommunikation auch, dass die Aufforderungen an die externen Verkehrsteilnehmenden sich zu bewegen oder über die Straße zu gehen, Sicherheitsrisiken bergen, da es keine Garantie für ein sicheres Überqueren der Straße gibt, da noch immer ein Fahrzeug auf einer benachbarten Fahrspur oder aus der Gegenrichtung kommen kann. Solche Situationen, in denen durch unterschiedliche HMI externen Verkehrsteilnehmenden die Aufforderung signalisiert wird über die Straße zu gehen (z. B. textbasiert oder mittels eines projizierten Zebrastreifens), kann also nicht mit einem existierenden Zebrastreifen verglichen werden, bei dem davon ausgegangen werden kann, dass andere Fahrzeuge diesen beachten und ebenfalls die Regeln kennen und auch Fußgänger:innen in jedem Fall auf den Verkehr achten (vgl. Europäische Kommission 2020: 40). Problematisch sind speziell visuelle eHMIs für die Kommunikation automatisierter Fahrzeuge mit externen Verkehrsteilnehmenden aber auch aus derzeit geltender rechtlicher Sicht: So dürfen laut EU-Vorschriften abgesehen von Blinkern und Nebelleuchten, Scheinwerfer an der Vorderseite von neuen Fahrzeugen nur weiß und Rücklichter (mit Ausnahme von Rückfahrcheinwerfern) rot leuchten. Rote oder grüne Leuchten, wie dies bei manchen eHMIs vorgesehen ist, wären also nicht möglich, insbesondere da Personen bei roten Lichtern an der Vorderseite des Fahrzeugs hinsichtlich der Fahrtrichtung des Fahrzeugs verwirrt sein könnten (vgl. Europäische Kommission 2020: 40). Speziell auch die Projektion von Information durch das automatisierte Fahrzeug hat das Problem einer derzeit nur gering realisierbaren Leuchtdichte, wodurch die Wahrnehmung insbesondere bei Tagesbedingungen eingeschränkt ist. Zudem sind Projektionen auch bei bestimmten Straßenverhältnissen (z. B. nasse oder schneebedeckte Fahrbahn) problematisch. Auch die Verwendung einer elektronischen Anzeigetafel wurde im Forschungsprojekt interACT (vgl. Weber et al. 2019) als nicht optimal für die explizite Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmenden eingestuft (vgl. Deublein 2020: 52). Die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem

Forschungsprojekt interACT legen zudem nahe, dass Botschaften für die eHMI mittels abstrakter Lichtsignale gegenüber Texten oder Symbolen zu bevorzugen sind. Dabei werden das 360°-LED-Lichtband für nicht-adressierte Nachrichten und die gerichtete Signalleuchte für adressierte Nachrichten als vielversprechendste Technologien angesehen, um die wesentlichen Interaktionsstrategien und Anwendungsfälle im Kontext des automatisierten Fahrens abzudecken (vgl. Deublein 2020: 55).

Neben diesen Aspekten gilt es jedoch auch zu berücksichtigen, dass sich zwar insgesamt zahlreiche Studien zur expliziten Kommunikation finden; diverse Studien jedoch darauf schließen lassen, dass der impliziten Kommunikation, d.h. dem Bewegungsverhalten bzw. der Position/Trajektorie (eine Form der impliziten Kommunikation) eine Schlüsselrolle in der Fahrzeug-externen Kommunikation zugeschrieben wird (vgl. z. B. Mirnig et al., 2021). Dies bestätigten auch die Expert:innen in den Interviews. Im Umkehrschluss wird dadurch auch die hohe Relevanz der Imitation menschlicher Kommunikationsmittel, von der bisher ausgegangen wurde, minimiert. Lee et al. (2021) begründen das damit, dass explizite Kommunikationsmittel (z. B. Hupen, Handgesten, etc.) nur eher selten eingesetzt werden. Deublein (2020) betont deshalb, dass eine explizite Kommunikation über eine eHMI grundsätzlich dann notwendig wird, wenn sich das automatisierte Fahrzeug gerade nicht bewegt, oder keine Trajektorie auswählen kann, die für Kommunikationszwecke ideal ist oder zusätzliche/ergänzende Informationen übermittelt werden sollen (vgl. Deublein 2020: 50). Eine Diskussion rund um die Themen explizite und implizite Kommunikation sowie die Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge findet sich in Kapitel 5.2.4.

5.2.3 Implizite Kommunikation

Implizite Kommunikation bezieht sich grundsätzlich auf alle Parameter der Fahrzeugbewegung, die von anderen Verkehrsteilnehmenden als Kommunikationsmittel verstanden werden können. Hierzu gehören beispielsweise die Trajektorie eines Fahrzeugs, die Beschleunigungs- und Verzögerungsmuster, die Fahrzeuggeschwindigkeit oder der Anhalteweg des Fahrzeugs in Bezug auf einen Fußgehenden oder Radfahrenden, der die Straße überqueren möchte (vgl. Deublein 2020: 48, Fuest et al. 2017: 710).

Wie eingangs erwähnt, spielt das Fahrverhalten bereits im heutigen Straßenverkehr für andere Verkehrsteilnehmende eine bedeutende Rolle im Bereich der Kommunikation. Grundsätzlich sollten automatisierte Fahrzeuge ebenfalls so konzipiert sein, dass sie sich erwartungskonform verhalten: Nach der Erkennung potenzieller Begegnungen durch das automatisierte Fahrzeug versucht die intelligente Fahrzeugsteuerung das kinematische

Fahrverhalten des Fahrzeugs so anzupassen, dass die anderen Verkehrsteilnehmenden die Absicht des Fahrzeugs intuitiv verstehen. In den meisten Interaktionssituationen kann bereits eine implizite Kommunikation mittels Fahrverhalten ein ausreichendes Kommunikationsmittel sein, um die zugrundeliegende Verkehrssituation zu lösen – eine zusätzliche Nutzung eines expliziten Kommunikationsmittels ist dann nicht mehr notwendig (vgl. Deublein 2020: 48).

Nach Deublein (2020) und Dietrich et al. (2018) ist im Bereich des Designs von impliziten eHMIs bei automatisierten Fahrzeugen relevant, dass das automatisierte Fahrzeug für Informationen, die sich auf das Vortritts- oder Vorfahrtgewähren beziehen, abbremst, d.h. seine Annäherungsgeschwindigkeit reduziert und so seine Absicht des Vortritts- oder Vorfahrtgewährens verdeutlicht. Dabei muss das Fahrzeug nicht unbedingt zum Stillstand kommen, sondern auch ein langsames Fahren (unter 3 km/h) reicht bei ausreichend großer Distanz/Lücke aus. Bei keiner Reaktion des anderen Verkehrsteilnehmenden oder Ablehnung der entstandenen Lücke, löst sich die Situation mit abnehmender relativer Distanz im Laufe der Zeit von selbst auf, bis das nachgebende Fahrzeug den anderen Verkehrsteilnehmenden sicher passieren und wieder beschleunigen kann. Beschließt der andere Verkehrsteilnehmende erst sehr spät die Straße noch vor dem automatisierten Fahrzeug zu queren, ist die absolute Geschwindigkeit des nachgebenden Fahrzeugs ausreichend gering, um mit einer angemessenen Verzögerung zum Stillstand zu kommen. Speziell in Gemeinschaftsraumsituationen wie einem Parkplatz sollte ein automatisiertes Fahrzeug vor dem Vorbeifahren an anderen Verkehrsteilnehmenden seinen Seitenabstand zu ihnen leicht vergrößern, um die Absicht, an ihnen vorbei fahren zu wollen anzuzeigen (vgl. Deublein 2020: 49 f).

5.2.4 Diskussion zu expliziter und impliziter Kommunikation und Wirkungen

Zwar nimmt wie eingangs erwähnt die explizite Kommunikation auch bereits im heutigen Straßenverkehr in manchen Situationen eine wichtige Rolle ein, bisherige Studien (z. B. Dey & Terken 2017, Risto et al. 2017, Dietrich et al. 2019) zur Kommunikation im Straßenverkehr auch ohne Automatisierung kommen jedoch vermehrt zu dem Schluss, dass ein Großteil der Kommunikation bereits heute schon über die implizite Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden erfolgt (vgl. Europäische Kommission 2020: 40 f, Dey & Terken 2017: 111).

Häufig wird deshalb auch im Zusammenhang mit automatisierten Fahrzeugen davon ausgegangen, dass in den meisten Interaktionssituationen bereits eine implizite Kommunikation mittels Fahrverhalten ein ausreichendes Kommunikationsmittel sein kann, um die zugrundeliegende Verkehrssituation zu lösen (vgl. Deublein 2020: 48) bzw. der Fokus auf die implizite Kommunikation gelegt werden muss (vgl. Zahnd et al. 2022: 16). Auch Versuche in früheren und aktuellen Forschungsprojekten (z. B. interACT, IAMCV), die das Verhalten von Verkehrsteilnehmer:innen hinsichtlich automatisierter Fahrzeuge mittels einer Wizard-of-Oz-Methodik in der Form untersuchten, dass das Fahrzeug zwar durch menschliche Fahrer:innen gelenkt wird, diese jedoch hinter dem Sitzbezug des Fahrzeugs versteckt sind (vgl. Dietrich et al. 2020: 54), kommen zu dem Ergebnis, dass nur ein geringer Anteil von Personen überhaupt wahrnimmt, dass kein:e menschliche:r Fahrer:in im Fahrzeug sitzt (vgl. Dietrich et al. 2020: 57, IAMCV 2022) und vielmehr auf das Verhalten bzw. die Bewegung des Fahrzeugs (Beschleunigung, Abbremsen) geachtet wird. Insbesondere um einen Informationsfluss, der sich bei der Anwendung expliziter Kommunikation ergeben könnte, zu vermeiden, sollte es primär das Ziel sein, dass ein menschenähnliches, erwartungskonformes, automatisiertes Fahrzeug versucht interaktionsbeanspruchende Situationen und Konflikte zu vermeiden, indem es das Fahrverhalten anhand einer impliziten Kommunikation möglichst frühzeitig (z. B. durch frühes Abbremsen, um Vortritt/Vorfahrt zu gewähren) an die bevorstehende Begegnung zwischen anderen Verkehrsteilnehmenden und Fahrzeugen anpasst (vgl. Deublein 2020: 56).

Explizite Kommunikation sollte hingegen erst in solchen Situationen, in denen die implizite Kommunikation durch kinematische Anpassungen nicht den gewünschten Effekt erzielen können, mittels eHMI wie Lichtband und gerichtete Leuchte genutzt werden (vgl. Deublein 2020: 56). Hierzu gehören Situationen wie wenn das automatisierte Fahrzeug keine Trajektorie auswählen kann, die für Kommunikationszwecke ideal ist (vgl. Deublein 2020: 50) oder wenn es beispielweise (wie auch heute schon im Straßenverkehr) an Kreuzungen Situationen gibt, in denen das automatisierte Fahrzeug bzw. der:die andere Verkehrsteilnehmende hinsichtlich des Fahrens zögern, weil sie sich jeweils nicht sicher sind, ob das Fahrzeug oder ob der:die andere Verkehrsteilnehmer:in zuerst fahren wird. In diesen Situationen könnte eine Bestätigung des automatisierten Fahrzeugs mittels expliziter Kommunikation, ob bzw. dass es zuerst fährt, hilfreich sein. Es ist jedoch von besonderer Bedeutung, dass die Meldung nicht von anderen Verkehrsteilnehmenden als diejenigen, für die sie bestimmt sind, missverstanden werden (vgl. Europäische Kommission 2020: 42). Problematisch ist bei der externen Kommunikation nämlich im Besonderen, dass anderen Verkehrsteilnehmenden klar sein muss, dass die

Kommunikation auch an sie gerichtet ist. Vor allem in komplexen Verkehrssituationen, in denen mehrere Verkehrsteilnehmende und Fahrzeuge vorhanden sind oder sich nähern besteht das Risiko, dass eine zusätzliche Information bzw. Kommunikation über die Erkennung von Verkehrsteilnehmenden durch das automatisierte Fahrzeug bzw. die die Absicht des automatisierten Fahrzeugs anzeigt, zur Verwirrung führen könnte. Auch von den befragten Expert:innen wird überwiegend empfohlen, dass insbesondere bzw. allenfalls die Intention des Fahrzeugs an externe Verkehrsteilnehmende vermittelt werden sollte. Von Anweisungen sollte hingegen weitgehend abgesehen werden, da nicht sichergestellt werden kann, dass sie von den richtigen Personen empfangen werden.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass zusätzliche Informationen die vom automatisierten Fahrzeug kommuniziert werden auch von den anderen Verkehrsteilnehmenden zusätzlich verarbeitet werden – vor allem bei gleichzeitigen, vielen Signalen, die gesendet werden, wäre der Aufwand von Verkehrsteilnehmenden hoch, auf mehrere Signale gleichzeitig zu achten und es kann zu einer Reizüberflutung kommen. Letztlich besteht auch die Gefahr das Signale durch andere Fahrzeuge oder Objekte verdeckt werden könnten und so schwierig erkennbar sind. Aus diesen Gründen besteht weniger ein genereller Bedarf an neuen eHMI zur Unterstützung der Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern, sondern speziell allein in oben genannten spezifischen Situationen (vgl. Europäische Kommission 2020: 41).

Dies setzt jedoch auch voraus, dass das automatisierte Fahrzeug in der Lage sein muss zu erkennen, dass es sich in einer Situation befindet, die ein solches Signal erfordert. Es muss also erkennen, dass sich ein:eine anderer:andere Verkehrsteilnehmer:in in einem Zustand der Unsicherheit darüber befindet, ob er bzw. sie weiterfahren soll oder nicht (vgl. Europäische Kommission 2020: 42).

Insgesamt zeigt sich somit – trotz zahlreicher Forschungsprojekte zur Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen durch explizite Kommunikation – ein Fokus hin zu einer verstärkt impliziten Kommunikation und weniger zu einer expliziten Kommunikation automatisierter Fahrzeuge durch zusätzliche eHMIs. Auch der derzeitige Betrieb von Level-4-Fahrzeugen beispielsweise von Cruise oder Waymo in San Francisco kommt gänzlich ohne solche eHMIs aus. Der Fokus hin zu einer impliziten Kommunikation automatisierter Fahrzeuge ist auch vor dem Hintergrund sehr unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer:innen von Bedeutung. So gehen die in den vorherigen Kapiteln angeführten Studien zur Untersuchung unterschiedlicher eHMIs zumeist von anderen Verkehrsteilnehmer:innen als gesunde und voll funktionsfähige

Menschen aus (vgl. Deublein 2020: 54), für gewisse Nutzergruppen (z. B. Sehbehinderte) werden diesbezüglich jedoch Einschränkungen für den Einsatz solcher eHMI bestehen und diese werden diese nicht wahrnehmen können. Letztlich sollte jedes automatisierte Fahrzeug daher angemessen auf andere Verkehrsteilnehmer:innen, insbesondere Fußgänger:innen und Radfahrer:innen reagieren (vgl. Zahnd et al. 2022: 36) und spezifische Erfordernisse für eine explizite Kommunikation sollten – ausgehend vom derzeitigen Status Quo im Straßenverkehr – vermieden werden, sondern stattdessen auf vorhandene Systeme bzw. Hinweise (z. B. Hupen, Lichtsignale) zurückgegriffen werden (vgl. Wintersberger et al. 2020: 127).

5.2.5 Explizite Kommunikation: Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge bzw. automatisierten Fahrens

Insgesamt wird die Frage, ob es notwendig ist, dass es bei einem Fahrzeug erkennbar sein sollte, ob es im automatisierten Fahrmodus ist bzw. automatisiert gefahren wird, umfangreich und kontrovers diskutiert (vgl. Europäische Kommission 2020: 42, Schieben et al. 2019: 78, Färber et al. 2015: 142). Allerdings liegen bislang praktisch kaum empirische Erkenntnisse vor, sondern lediglich meist Expert:innenmeinungen (vgl. BASt 2020: 51).

Hinsichtlich der Erkennbarkeit wird argumentiert, dass für Außenstehende so erkennbar ist, dass solche Fahrzeuge bzw. Fahrzeuge in diesem Modus die Verkehrsregeln vollständig einhalten (z. B. keine Geschwindigkeitsüberschreitung, Vorfahrt für Fußgänger:innen, wenn diese den Vorrang haben) und so könnten Auffahrunfälle, die durch ein unerwartetes Halten des automatisierten Fahrzeugs und eng dahinter fahrenden manuell gefahrenen Fahrzeugen und heute schon – wie in Studie B beschrieben – beim Testbetrieb von hochautomatisierten Fahrzeugen auftreten – verhindert werden (vgl. Europäische Kommission 2020 : 42). Auch Färber (2015) beschreibt, dass eine solche Kenntlichmachung auf die Besonderheit des automatisierten Fahrzeugs und somit auch auf potenzielles normabweichendes Verhalten – ähnlich wie bei der bereits heute gängigen Praxis der Kennzeichnung von Fahrschulfahrzeugen oder Übungsfahrzeugen durch eine blaue Tafel mit weißer Aufschrift „L“ und einer Tafel mit der Aufschrift „Übungsfahrt“ vorne und hinten am Fahrzeug (vgl. Österreich.gv.at 2022), hinweist (vgl. Färber 2015: 142, BASt 2020: 51 f). Problematisch ist zudem, dass auch kaum bekannt ist, ob es hierbei auch Unterschiede zwischen den Automatisierungsstufen geben sollte, also ob andere Verkehrsteilnehmende zwischen den Automatisierungsstufen, insbesondere 2

und 3 sowie 4 unterscheiden müssen (vgl. Schieben et al. 2019: 78). Dieser Aspekt wurde ebenfalls von einigen Expert:innen aufgeworfen.

Andererseits wird auch argumentiert, dass ein expliziter Hinweis bzw. eine explizite Erkennbarkeit, dass Fahrzeuge im automatisierten Fahrmodus sind, dazu führen würde, dass andere Verkehrsteilnehmende sich gegenüber automatisierten Fahrzeugen aggressiver verhalten, da sie wissen, dass die automatisierten Fahrzeuge auf Vorsicht programmiert sind, was zu unnötigen Verkehrsbehinderungen und Verzögerungen führen könnte (vgl. Europäische Kommission 2020: 42). Letztlich könnten sich hierdurch jedoch nicht nur negative Auswirkungen auf den Verkehrsfluss, sondern auch negative verkehrssicherheitsrelevante Folgen ergeben (siehe hierzu auch Kapitel 6.2.1) (vgl. BASt 2020: 52).

Die Europäische Kommission (2020) kommt in ihrer Studie zu dem Schluss, dass die Vorteile einer solchen Anzeige bzw. Erkennbarkeit die Nachteile überwiegen und dass die Anzeige als Verbesserung der sicheren Interaktion von automatisierten Fahrzeugen mit anderen Verkehrsteilnehmern vorgesehen werden sollte. Speziell Tests mit automatisierten Shuttlebussen machen deutlich, dass diese sehr schnell als normaler Teil des Verkehrsumfelds akzeptiert werden und Fußgänger:innen und Radfahrer:innen selten und allein bei den ersten Begegnungen die Funktionsweise der automatisierten Fahrzeuge (z. B. vor dem Fahrzeug vorbeigehen zur Testung der Bremsen) austesten (vgl. Europäische Kommission 2020: 42). Die BASt (2020) stellt hingegen in ihrer Studie klar, dass (noch) kein klares Bild in Richtung einer Empfehlung für oder gegen eine generelle Kenntlichmachung vorhanden ist. Sie stellt jedoch fest, dass sich die Erkennbarkeit insbesondere bei Fahrzeugen höherer Automatisierungsstufen und bestimmten Sensoren (z. B. Lidar) zum Teil aus dem physischen Design heraus ergibt, z. B. bei den automatisierten Shuttlebussen oder Aufbauten auf die Pkw, jedoch bei normalen Pkw (ohne Lidaraufbauten) von außen eine Erkennbarkeit meist nicht gegeben ist, da die Sensorik einerseits verbaut ist und diese insbesondere im Level 3 manuell und automatisiert gesteuert werden können und auch im automatisierten Modus der Fahrersitz in der Regel belegt sein wird (vgl. BASt 2020: 52). Deublein (2020) vertritt die Position, dass – unter Berücksichtigung des Umstands, dass auf externe Kommunikation generell in Situationen verzichtet werden sollte die keine Interaktion erfordern (z. B. Kommunikation, dass das automatisierte Fahrzeug keinen Vortritt gewährt) – kein spezifisches Signal zur dauerhaften Anzeige des Automatisierungsstatus des automatisierten Fahrzeugs installiert werden sollte. Stattdessen sollte das Fahrzeug nur dann signalisieren, dass es im automatisierten Modus fährt, wenn eine Interaktion

erforderlich ist (z. B. durch langsames Pulsieren zur Kommunikation der Verhaltensabsicht) (vgl. Deublein 2020: 54, Dietrich et al. 2018).

Wie schon vorher bei der Beschreibung unterschiedlicher eHMI thematisiert, stellt sich natürlich zudem auch die Frage, wie auch diese Form der externen Kommunikation umgesetzt bzw. dargestellt werden könnte. Die Europäische Kommission (2020) schlägt dabei die Umsetzung einer externen Anzeige in Form einer LED-Außenleuchte vor, die auf dem Fahrzeugdach angebracht wird, betont jedoch, dass speziell die Anbringung an großen Fahrzeugen eine größere Herausforderung darstellen kann und mehrere Leuchten erforderlich sein könnten, damit die Anzeige von allen Seiten sichtbar ist (vgl. Europäische Kommission 2020: 43). Die BASt (2020) betont zudem auch, dass eine explizite Anzeige des automatisierten Modus für nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmende eine steuerbare, sinnvollerweise standardisierte Anzeige voraussetzt, wobei mögliche Technologien hierfür ausgehend von den oben beschriebenen Anzeigemöglichkeiten wie den in Studien bewährtem Lichtband oder weiteren Möglichkeiten hinsichtlich Erkennbarkeit etc. untersucht werden müssten (vgl. BASt 2020: 52).

Insgesamt erscheint eine Kenntlichmachung bzw. Kennzeichnung des automatisierten Fahrmodus bzw. automatisierter Fahrzeuge für bestimmte Situationen der Literatur nach durchaus sinnvoll, eine zusätzliche Kenntlichmachung hängt jedoch auch davon ab, inwieweit man bereits aus dem physikalischen Design heraus erkennen kann, ob es sich um ein automatisiertes Fahrzeug handelt oder nicht. Letztendlich unterliegen jedoch die verschiedenen Möglichkeiten der Kennzeichnung – beispielsweise ob man sich an bestehenden Praktiken z. B. Kennzeichnung von Fahrschulfahrzeugen oder Übungsfahrzeugen durch eine blaue Tafel mit weißer Aufschrift „L“ orientieren oder neue Formen der Kennzeichnung nutzen soll – noch weiterem Forschungsbedarf. In Anbetracht von vorgesehenen, festgelegten Betriebsbereichen, in welchen automatisierte Level-4-Fahrzeuge gemäß der EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 in nächster Zeit verkehren sollen, erscheinen über die Kenntlichmachung am Fahrzeug hinaus auch Hinweisschilder sowie eine Information zum Betrieb automatisierter Fahrzeuge in diesen Gebieten – ähnlich wie dies bereits heute bei Tests von automatisierten Shuttlebussen der Fall ist – sinnvoll.

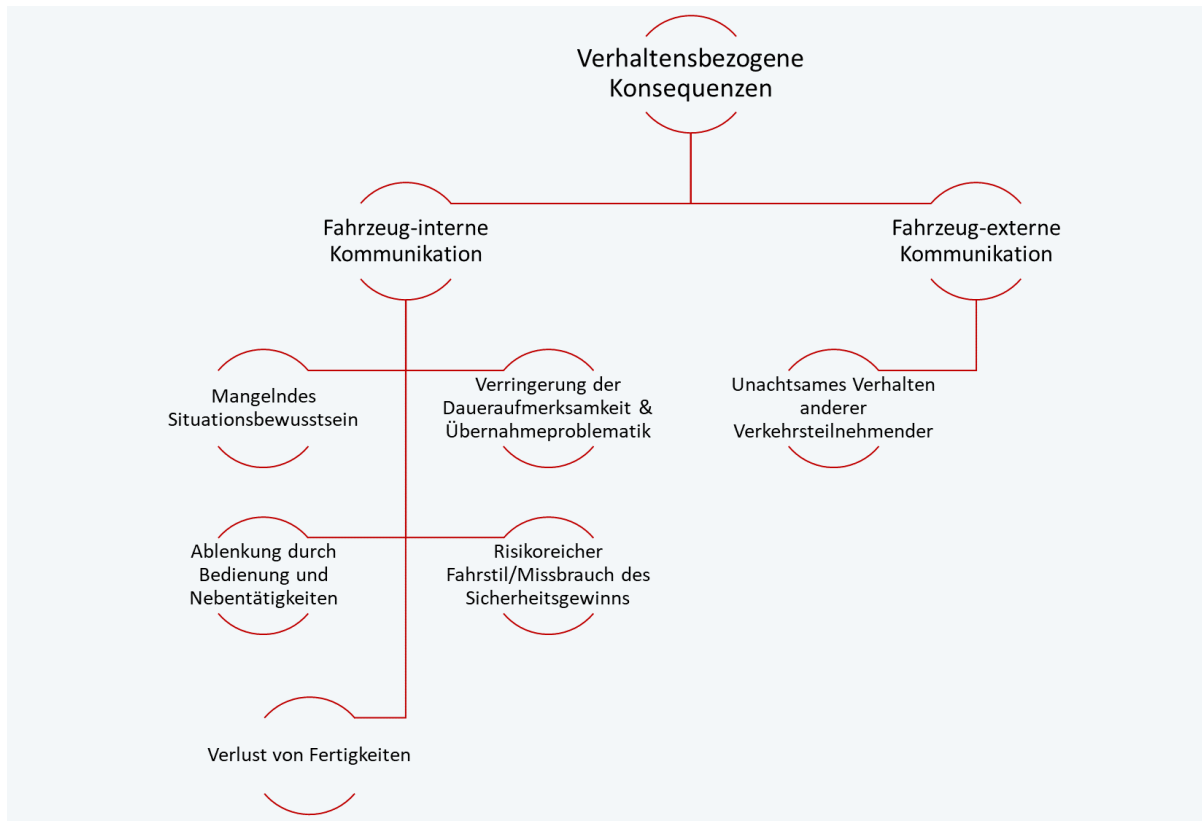
Die Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge wird nicht nur in der Literatur kontrovers diskutiert. Auch in den Expert:inneninterviews wurden unterschiedliche Ansichten dazu geäußert. Als Argumente für eine Kennzeichnung wurde beispielsweise genannt, dass dadurch die Akzeptanz durch andere Verkehrsteilnehmende gestärkt werden kann oder

dass diese bei Konflikten, Polizeikontrollen, etc. hilfreich sein kann. Ein Argument gegen eine Kennzeichnung war unter anderem, dass automatisierte Fahrzeuge dieselben Regeln befolgen müssen und daher eine Kennzeichnung keinen Mehrwert generiert. Unabhängig der Argumentation wird von den Expert:innen grundsätzlich kein Nutzen für die Verkehrssicherheit durch die Kennzeichnung der automatisierten Fahrzeuge erwartet. Generell wird aber die Notwendigkeit gesehen, die Menschen über Automatisierung und ihre unterschiedlichen Ausprägungen zu informieren und aufzuklären und sie dadurch für automatisierte Fahrzeuge zu sensibilisieren. Dazu könnte die Signalisierung des Automatisierungslevels bzw. -modus in der Fahrzeug-externen Kommunikation hilfreich sein.

6 Verhaltensbezogene Konsequenzen durch automatisierte Systeme

Durch die fortschreitende Implementierung der Automatisierung wird sich – wie bereits in den vorherigen Kapiteln beschrieben – die Rolle der Fahrer:innen verändern. Umso höher das Automatisierungslevel, umso passiver wird die Rolle der Fahrer:innen, die nun nicht mehr (alleine) für die Fahraufgabe verantwortlich sind: Immer mehr Teile der bisherigen Fahraufgabe werden an automatisierte Systeme delegiert, Aufgaben, die beim/bei der Fahrer:in verbleiben, enthalten weniger regelnde, jedoch mehr überwachende Anteile. Durch eine solche Veränderung der Fahraufgabe, in der automatisierte Fahrsysteme immer mehr Teile der Fahraufgabe übernehmen, werden zwar allgemeinhin überwiegend positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit erwartet, es sind jedoch auch unerwünschte verhaltensbezogene Konsequenzen zu erwarten, die gleichfalls zu berücksichtigen sind (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 13). Die verhaltensbezogenen Konsequenzen, die sich daraus ergeben, werden stark abhängig vom Automatisierungslevel sein, aber auch von den Benutzungsschnittstellen, über die die Mensch-Maschine Interaktion stattfinden wird. Sie meinen Verhaltensanpassungen, d.h. unbeabsichtigte oder unerwartete Verhaltensweisen, die aufgrund von Veränderungen durch die Automatisierung auftreten und die mit der zunehmenden Automatisierung erwarteten Sicherheitsgewinne (siehe hierzu Studie B) gefährden können (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 13). Im Folgenden sollen diese Veränderungen insbesondere in Bezug auf Fahrassistenzsysteme sowie auch automatisierte Fahrzeuge höherer Stufen dargestellt und diskutiert werden. Dafür erscheint erneut eine Differenzierung zwischen der Fahrzeug-internen Kommunikation (iHMI) und Fahrzeug-externen Kommunikation (eHMI) als nützlich. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die verkehrssicherheitsrelevanten, verhaltensbezogenen Konsequenzen unterschieden nach Fahrzeug-interner und Fahrzeug-externer Kommunikation.

Abbildung 5 Übersicht verhaltensbezogene Konsequenzen



6.1 Fahrzeug-interne Kommunikation

6.1.1 Mangelndes Situationsbewusstsein

Fahrerassistenzsysteme können Fahrer:innen zwar in ihrer Fahraufgabe unterstützen und automatisierte Systeme höherer Stufen können die Fahraufgabe in bestimmten Bereichen sogar übernehmen. Die Nutzung der Systeme kann jedoch auch dazu führen, dass das Situationsbewusstsein durch fehlerhafte, ungenaue, zu viele oder zu wenige Informationen bzw. Informationen am falschen Ort oder zum falschen Zeitpunkt verringert wird (vgl. Schlag & Weller, 2015: 74). Eine Verschlechterung des Bewusstseins tritt vor allem dann auf, wenn der:die Fahrer:in nicht permanent die für die Funktion wichtigen Details verfolgt bzw. (bei höheren Automatisierungsstufen auch als Passagier) darüber informiert wird (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 14). Weitere Gründe, die zu einem mangelnden Situationsbewusstsein führen können, sind die Annahme eines falschen Rollenverständnisses (vom aktiven Bedienen zum Überwachen) im Wechsel von aktiver

Informationsverarbeitung hin zu einem passiven Informationsempfangen sowie ein fehlendes Feedback über den Systemzustand (vgl. Schlag & Weller, 2015: 74).

In diesem Kontext thematisiert Geisler (2021b) auch potenzielle Gefahren, die durch fehlerhafte Signale der Fahrassistenzsysteme (niedrige Automatisierungslevels) entstehen und sich negativ auf das Situationsbewusstsein auswirken. Beispiele dafür sind eine fehlerhafte angeschlagene Auffahrwarnung, die zur Verwirrung führt oder ein unnötig eingreifender Notbremsassistent, der Auffahrunfälle provozieren kann. Das Situationsverständnis kann dem Autor nach in vielen Fällen durch HMI-Maßnahmen (z. B. Erläuterung im Nachgang oder in der Situation selbst) erhöht werden (vgl. Geisler 2021b: 373).

6.1.2 Verringerung der Daueraufmerksamkeit und Übernahmeproblematik

Insbesondere bei den Automatisierungsstufen 1 bis 3 wird das Fahrzeug von Mensch und Maschine gemeinsam gesteuert, man spricht hier von der Mensch-Maschine-Kooperation (vgl. Geisler 2021b: 396). Eine Gefahr, die durch automatisierte Systeme auf Fahrzeug-interner Ebene entsteht, ist, dass Fahrer:innen eine immer passivere Rolle im Fahrzeug einnehmen: Fahrassistenzsysteme und automatisierte Systeme nehmen dem/der Fahrer:in Teile der Fahraufgabe oder die gesamte Fahraufgabe in Teilbereichen ab bzw. vereinfachen diese, wodurch die Aufmerksamkeit nachlassen kann (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 13). Die Fahraufgabe wird also abgelöst durch die Aufgabe das automatisierte System zu beaufsichtigen.

Insbesondere bei Systemen der Automatisierungsstufe 2 muss der Fahrer während der Aktivierung der Funktion (z. B. Autobahnassistent, Stauassistent) aufmerksam sein und das System ständig überwachen (vgl. Kühn 2018: 11). Dies ist eine Aufgabe, die für Menschen generell schwierig zu bewältigen ist (vgl. Anund et al. 2019: 90), da sich die Leistungsfähigkeit bei Menschen bei geringer Erregung auf einem Minimum befindet und dies insbesondere bei solchen monotonen Aufgaben der Fall ist (vgl. Kühn 2018: 12).

Durch die ermüdende Dauerüberwachung der Fahraufgabe entsteht das Risiko, dass der Mensch im Rahmen der Überwachung der teilautomatisierten Systeme die Fahraufgabe nicht rechtzeitig übernehmen kann, wenn das System an seine Grenzen stößt (vgl. Anund et al. 2019: 90; Geisler 2021b: 399) – dies ist wie Westermeier et al. (2021) betonen vor allem dann der Fall, wenn falsche Vorstellungen zur Funktionsweise der Systeme vorherrschen (vgl. Westermeier et al. 2021: 134). Schlag & Weller (2015) thematisieren in

diesem Kontext auch die Problematik der Unterforderung des:der Fahrer:in bei der Teilautomatisierung während das automatisierte System die Fahraufgabe übernimmt und die im Falle der Übernahmeaufforderung sicherheitskritisch werden kann (vgl. Schlag & Weller 2015: 73).

Als ein ähnliches Sicherheitsrisiko auf SAE-Level 3 wird gesehen, dass das automatisierte Fahrzeug bei Erreichen seiner Systemgrenzen die Fahraufgabe an den:die Fahrer:in zurückgibt. Der:die Fahrer:in muss dabei innerhalb kürzester Zeit reagieren, was jedoch nicht garantiert ist, wenn der:die Fahrer:in einer Nebentätigkeit nachgeht, anstatt sich auf die Fahraufgabe konzentrieren zu müssen (vgl. Eriksson & Stanton 2017: 696; Geisler 2021b: 399; Morales-Alvarez et al. 2020: 11 f). Insbesondere die Kombination aus dem Zustand geringer Erregung und dem hohen, kurzzeitigen Stress wenn Störungen auftreten oder etwas nicht reibungslos funktioniert etc., führt beim bei dem/der Fahrer:in zu Problemen, wenn er/sie die Kontrolle über das zuvor automatisierte System schnell übernehmen soll (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 13 f): Die plötzliche Übernahmeaufforderung – speziell im Zusammenhang mit zuvor ausgeführten Nebentätigkeiten – führt zur Überforderung des Fahrers bzw. der Fahrer:in und auch zu geringerer Leistungsfähigkeit bis hin zum Versagen (vgl. Kühn 2018: 12).

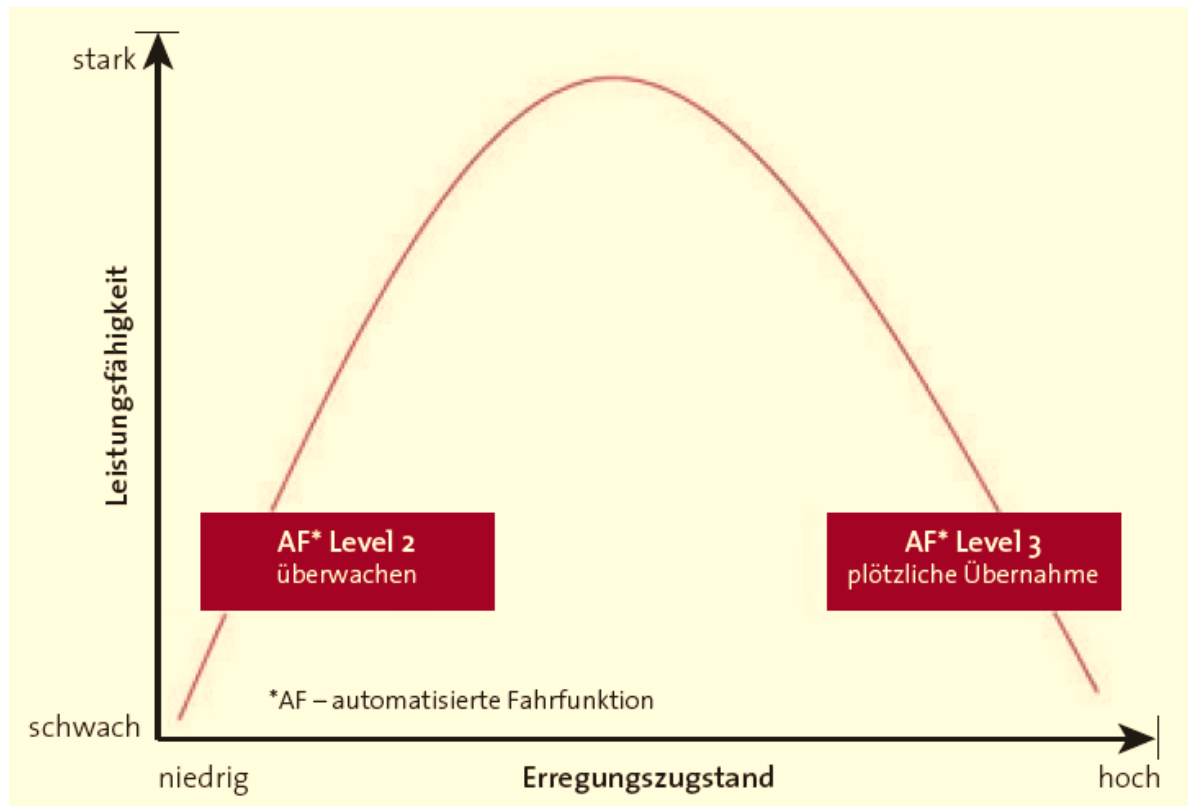
Eriksson & Stanton (2017) griffen dies in einem Experiment auf, dessen Resultate zeigten, dass Teilnehmende, die einer Nebentätigkeit nachgingen langsamer auf die Übernahmeaufforderung reagierten als im Kontrollscenario, bei dem das automatisierte System von den Fahrer:innen überwacht wurde. Auch Yoon et al. (2018) untersuchten diesen Umstand. Die Ergebnisse des Experiments lassen ebenfalls darauf schließen, dass das Nachgehen von Nebentätigkeiten die Übernahmezeit signifikant beeinflusst. Übernahmeaufforderungen sollten demnach geeignet sein, den:die Fahrer:in beim Aufbau des Situationsbewusstseins in Bezug auf die Fahrszenarien zu unterstützen, um eine möglichst schnelle und richtige Handlung zu motivieren (vgl. Greisler 2021b: 400). Ou et al. (2021) beispielsweise betonen dabei das Erzielen einer besseren Übernahmeleistung durch gerichtete Informationen als durch ungerichtete Informationen.

Über die Zeiten, die es für die Übergabe von den automatisierten Systemen zurück zum Menschen bedarf, findet sich in der Literatur kein eindeutiger Konsens. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass es unterschiedliche Interpretationen davon gibt, wann die Übergabe stattfindet (z. B. im Moment, wenn der:die Fahrer:in wieder zurück auf die Straße blickt, wenn das Bremsmanöver startet, etc.) und andererseits auf den unterschiedlichen Aufbau und die Fragestellungen der Studien. Die Reaktion ist zudem

auch immer abhängig von der Komplexität der Situation und den Begebenheiten der Straße. Derzeit gibt es noch keine Standardisierung zur Abschätzung der Übergabezeit (Morales-Alvarez et al. 2020). Auch Vogelpohl & Vollrath (2016) kamen in ihrer Untersuchung zum Schluss, dass die Übernahmezeiten sich je nach Definition unterscheiden. Während die Proband:innen in ihrer Studie nach hoher Ablenkung im automatisierten Modus nach 3-4 Sekunden nach dem Warnsignal den Blick wieder auf die Straße gerichtet hatten, nach 6-7 Sekunden die Hände wieder am Lenkrad und die Füße an den Pedalen hatten und das automatisierte System nach 7-8 Sekunden abschalteten, wurden für den ersten Blick in den Spiegel bzw. auf die Geschwindigkeitsanzeige 12-15 Sekunden benötigt. Diese Reaktionen sind allerdings notwendig, um ein Verständnis über die aktuelle Verkehrssituation zu erlangen. Verglichen mit der Situation im manuellen Modus konnten die Forschenden eine Verzögerung dieser Reaktionen um bis zu 5 Sekunden feststellen (vgl. Vogelpohl & Vollrath 2016).

Die oben beschriebenen Gefährdungsbilder aufgrund der Verringerung der Daueraufmerksamkeit im Zuge der Überwachung von automatisierten Systemen des Levels 2 sowie der plötzlichen Übernahme von Level 3 Systemen, die die erwarteten Sicherheitseffekte schmälern, werden auch nochmal anhand der folgenden Abbildung, die die Leistungsfähigkeit des Menschen im Zusammenhang mit dem Erregungszustand darstellt, aufgezeigt (vgl. Kühn 2018: 12).

Abbildung 6 Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Erregungszustand von Mensch im Kontext des automatisierten Fahrens (Quelle: Kühn 2018: 12)



Die Verringerung der Daueraufmerksamkeit und die Übernahmeproblematik wurden auch in den Gesprächen mit den Expert:innen häufig zur Sprache gebracht. So wird beispielsweise die stärkere Kontrollfunktion, mit der sich der:die Fahrer:in konfrontiert sieht als tendenziell kognitiv anspruchsvoller und ermüdender eingeschätzt, wodurch die Übernahme potenziell verlangsamt wird. Die Expert:innen sehen deshalb eine ausreichende Vorlaufzeit für die Übergabe als essenziell, damit der:die Fahrer:in sich in Fahrumgebung und -situation orientieren kann.

6.1.3 Ablenkung durch Bedienung und Nebentätigkeiten

Ein weiteres Risiko im Bereich der iHMI besteht in der potenziellen Ablenkung der Fahrer:innen bei der Bedienung der Systeme, insbesondere Fahrassistenzsysteme (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 14). Schlag & Weller (2015) sehen das Potenzial der Ablenkung bei Fahrassistenzsystemen insbesondere dann gegeben, wenn es sich bei der Kommunikation um visuelle Informationen handelt (vgl. Schlag & Weller 2015: 73) und der:die Fahrer:in beispielsweise (nicht wie bei einem Head-Up Display) auf das Amaturenbrett hinunterschauen muss und den Blick nicht auf die Straße richten kann, um relevante

Informationen zu erhalten. Zudem sorgt die zunehmende Bedienung der Fahrassistenzsysteme über Touch Displays vor allem dann für Ablenkung und ein Wegsehen von der Fahrtrichtung, wenn die Displays nicht mittig rechts neben dem Lenkrad, sondern weiter in der Fahrzeugmitte platziert sind (vgl. KFV 2022: 13). Ganz grundsätzlich fühlen sich dabei vor allem ältere Fahrer:innen durch Fahrassistenzsysteme (Bedienung, Informationen etc.) stärker abgelenkt (vgl. Burrige et al. 2020: 7). Problematisch ist es zudem, wenn sich die Einstellungen zu den Systemen in Untermenüs befinden und Einstellungen nur über mehrmaliges Auswählen der Menüpunkte vorgenommen werden können. Speziell für teilautomatisierte Systeme konnten beispielsweise Westermeier et al. (2021) im Rahmen einer Fahrstudie mit Testpersonen aufzeigen, dass sich bei der Verwendung teilautomatisierter Fahrfunktionen höhere Blickanteile auf das Dashboard zur Überwachung des Systems zeigten, als bei der manuellen Fahrt; die Testpersonen wendeten also mehr Zeit auf das System zu überwachen (vgl. Westermeier et al. 2021: 133). He et al. (2022) kamen für teilautomatisierte Systeme überdies zu dem Ergebnis, dass vor allem Fahranfänger:innen im Rahmen der Überwachung des Systems abgelenkt waren bzw. ihr Blick länger fernab der Straße gerichtet war, als bei erfahrenen Lenker:innen (vgl. He et al. 2022: 1).

Hinzu kommt, dass Fahrassistenzsysteme und teilautomatisierte Systeme – insbesondere aufgrund des Umstands der im vorherigen Kapitel 6.1.2 beschriebenen monotonen Aufgabe der Überwachung von Systemen und damit zusammenhängenden Unterforderung von Menschen – auch die Ablenkung durch Nebentätigkeiten begünstigen können, denen durch den Einsatz von Fahrassistenzsystemen vermehrt nachgegangen wird, wie Hungund et al. (2021) in ihrer Studiensynthese zeigen. Das Ablenkungspotenzial durch Nebentätigkeiten im Zusammenhang mit automatisierten Systemen wurde auch in einer Studie von Dunn et al. (2021) untersucht. Die Ergebnisse dieser Naturalistic Driving Studie, geben Hinweise darauf, dass insbesondere Fahrer:innen, die bereits Erfahrung im Umgang mit automatisierten Fahrsystemen hatten, fast doppelt so häufig durch Nebentätigkeiten o.ä. abgelenkt waren, wenn die Systeme aktiv waren, als wenn sie manuell fuhren. Fahrer:innen mit weniger Erfahrung und Vertrautheit mit Fahrassistenzsystemen fuhren seltener abgelenkt, wenn die Systeme aktiv waren; allerdings neigten sie zu Schläfrigkeit während der Systemaktivierung (vgl. Dunn et al. 2021). Metz et al. (2021) untersuchten in einer Studie im Fahrsimulator die Verhaltensanpassung im Kontext häufiger Nutzung von automatisierten Systemen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Vertrauen in die Systeme mit der Häufigkeit der Nutzung steigt, gleichzeitig aber die Aufmerksamkeit auf die Straße sinkt und vermehrt Nebentätigkeiten nachgegangen wird (vgl. Metz et al. 2021).

6.1.4 Risikoreicherer Fahrstil / Missbrauch des Sicherheitsgewinns

Eine weitere Konsequenz, die in der Literatur speziell im Zusammenhang mit Fahrassistenzsystemen thematisiert wird, ist eine negative Verhaltensanpassung der Fahrer:innen, in Form von einem weniger vorsichtigen Fahrverhalten oder einem risikoreicheren Fahrstil während der Nutzung von Fahrassistenzsystemen (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014a: 12). Hagl & Kouabenan (2020) stellten beispielsweise in ihrer Studie fest, dass Nutzer:innen von Fahrassistenzsystemen die Wahrscheinlichkeit für Unfälle als niedriger und ihre Kontrolle in riskanten Fahrsituationen als höher einschätzen als Nutzer:innen ohne Fahrassistenzsysteme. Die Autor:innen kommen daher zu dem Schluss, dass Fahrassistenzsysteme ein falsches Gefühl der Kontrolle vermitteln können.

6.1.5 Verlust von Fertigkeiten

Eine weitere negative verhaltensbezogene Konsequenz durch die zunehmende Automatisierung und die Übernahme von (Teilen) der Fahraufgabe durch automatisierte Systeme ist ebenso der potentielle Verlust an Fertigkeiten. So kann der:die Fahrer:in die Fertigkeit für die Funktion verlieren, die im Normalfall durch das automatisierte System übernommen wird (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 14).

6.2 Fahrzeug-externe Kommunikation

Während sich die bisher betrachteten verhaltensbezogenen Konsequenzen primär auf die Fahrzeug-interne Kommunikation bzw. iHMI und den/die Fahrer:in bezogen, ergeben sich auch im Bereich der Fahrzeug-externen verhaltensbezogene Konsequenzen.

6.2.1 Unachtsames Verhalten anderer Verkehrsteilnehmender

In Bezug auf die Fahrzeug-externe Kommunikation besteht durch die passive Fahrweise automatisierter Fahrzeuge, insbesondere der Automatisierungsstufe 4 das Risiko, dass – zumindest in der Anfangszeit Fußgänger:innen beispielsweise die Straße vor dem Fahrzeug queren in dem Wissen, dass es stehenbleiben wird, wodurch der Fahrfluss des automatisierten Fahrzeugs gestört wird (vgl. Tabone et al., 2021). Auch andere Studien zeigen, dass Fußgänger:innen ein risikoreicheres Verhalten gegenüber automatisierten Fahrzeugen zeigen, um herauszufinden, ob das Fahrzeug auch tatsächlich stehen bleibt. Eine weitere Gefahr ist, dass andere Verkehrsteilnehmende sich über geltende

Verkehrsregeln hinwegsetzen, um die passive Fahrweise automatisierter Fahrzeuge zu ihren Gunsten auszunutzen (vgl. Hilgarter & Granig, 2019).

Auch Deublein (2020) betont, dass durch ein übermäßiges Vertrauen in automatisierte Fahrzeuge andere Verkehrsteilnehmende davon ausgehen könnten, dass ein automatisiertes Fahrzeug in kritischen Situationen immer anhalten wird, was zu riskanten Verhaltensmustern führen würde. Zudem beschreibt er, dass die passive Fahrweise automatisierter Fahrzeuge bzw. deren vorsichtiges Verhalten auch dazu führt, dass Fußgänger:innen und Radfahrer:innen ein so großes Vertrauen in die Technologie haben, dass sie weniger auf den anderen Verkehr achten (vgl. Deublein 2020: 44). Abbildung 7 zeigt Beispiele für risikoreiches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmender am Beispiel des derzeitigen Betriebs von Level-4-Fahrzeugen von Cruise in San Francisco.

Abbildung 7 Beispiele für risikoreiches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beim Betrieb von Level-4-Fahrzeugen von Cruise in San Francisco (Quelle: Vogt 2022a, Vogt 2022b)



6.3 Weitere zu berücksichtigende Aspekte

Eine weitere verhaltensbezogene Konsequenz ist auch der prinzipiell falsche Gebrauch oder letztlich auch die Nicht-Nutzung von Fahrassistenzsystemen und automatisierten Systemen höherer Stufen (und damit Nicht-Ausschöpfung des Sicherheitspotenzials der Systeme), die sich aus einem mangelnden Verständnis der Systeme, Nutzungsbarrieren sowie daraus ergeben kann, dass die Funktionsweise der Systeme als störend empfunden wird.

6.3.1 Falscher Gebrauch und Nicht-Nutzung der Systeme durch mangelndes Verständnis über die Systeme

Ein mangelndes Verständnis über Fahrassistenzsysteme oder Systeme höherer Automatisierungsstufen, sei es in der Informationsvermittlung selbst als auch darüber hinaus führt letztlich zu Überschätzung sowie Misstrauen und kann in weiterer Folge auch zum falschen Gebrauch oder Nicht-Gebrauch von automatisierten Systemen führen.

Insbesondere, wenn Personen nicht genau wissen, wie die Systeme funktionieren, werden diese von Fahrer:innen oft überschätzt, wodurch sich Gefahren für die Verkehrssicherheit ergeben können, weil diese Systeme falsch bzw. beispielsweise auch außerhalb ihrer Funktionsgrenzen genutzt werden (vgl. Carsten & Martens, 2019, Deublein 2020: 29, Neuhuber et al. 2020: 223). Ein Misstrauen gegenüber der Fahrassistenzsysteme, das aus Unverständnis resultieren kann, hat zur Konsequenz, dass Systeme nicht genutzt werden oder in Situationen außer Kraft gesetzt werden, in denen das automatisierte System eigentlich hilfreich wäre (vgl. Carsten & Martens, 2019: 4; Europäische Kommission 2020: 31). Der Nicht-Gebrauch von Fahrassistenzsystemen und Level-2 Systemen kann des Weiteren auch daraus resultieren, dass sie als störend wahrgenommen werden (vgl. Mueller et al., 2021; Carsten & Martens, 2019: 4).

Eine Nicht-Nutzung der Systeme ist häufig auch bei älteren Personen oder Personen spezifischer Gruppen der Fall, da Diversitätsdimensionen und bei den spezifischen Personengruppen zu berücksichtigende Aspekte, die in Kapitel 4.5 beschrieben wurden, bei Interaktionskonzepten kaum berücksichtigt werden. So sehen sich speziell ältere Personen mit Nutzungsbarrieren (Unverständlichkeit, Bedienbarkeit und Erlernbarkeit von Benutzungsoberflächen) von Fahrassistenzsystemen konfrontiert. Dies führt zu einer geringeren Nutzung von Fahrassistenzsystemen durch diese Zielgruppe (siehe hierzu auch Studie C), die eigentlich besonders von solchen Systemen profitieren würden.

7 Fazit, Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Ziel der Studie war es einen Überblick darüber zu geben, wie automatisierte Systeme und Menschen in unterschiedlichen Teilbereichen miteinander agieren. Hierzu wurden eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt sowie Interviews mit Expert:innen im Themenbereich geführt. Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Literaturrecherche und den Expert:inneninterviews lassen sich zusammenfassend wertvolle Schlüsse zum Zusammenhang zwischen der Mensch-Maschine Interaktion im Kontext automatisierter Fahrzeuge und Verkehrssicherheit ziehen, die im Folgenden noch einmal skizziert und reflektiert werden sollen. Darauf aufbauend lassen sich auch Handlungsempfehlungen und Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Bereich der Interaktion zwischen automatisierten Systemen und Menschen in unterschiedlichen Teilbereichen sowie weiterer Forschungsbedarf in diesem Themenfeld ableiten.

7.1 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse

7.1.1 Veränderungen durch die Automatisierung für die Kommunikation im Straßenverkehr

Die zunehmende Automatisierung in der Mobilität wird Veränderungen auf unterschiedlichen Ebenen mit sich bringen. Im Bereich der Kommunikation im Straßenverkehr vollzieht sich ein immer stärkerer Wandel von einer Mensch-zu-Mensch-Interaktion hin zu einer zunehmenden Mensch-Maschine Interaktion (MMI) in und außerhalb des Fahrzeugs. Insgesamt zeigt sich, dass diese Interaktion umfangreiche Relevanz für die Verkehrssicherheit haben wird. In der Literaturrecherche sowie auch in den zahlreichen Expert:inneninterviews kristallisierte sich dabei als Kernbotschaft heraus, dass in vielen Aspekten nach den jeweiligen Automatisierungslevels unterschieden werden muss. Aussagen können daher nicht pauschal für „das automatisierte Fahren“ getroffen werden. Vielmehr bedarf es einer differenzierten Betrachtung für die unterschiedlichen Levels in unterschiedlichen Situationen, dem diese Studie auch entsprechend gerecht wurde und spezifisch zwischen bestehenden Systemen (Level 1, 2) und zukünftigen Systemen (Level 3, 4) differenzierte. Während bei bestehenden

Systemen (Level 1, 2) sowie bei Level-3-Systemen die interne Kommunikation mit den Lenkenden essenziell ist, um Status, Grenzen, Übernahmeaufforderungen, etc. zu kommunizieren, wird bei zukünftigen Level 4-Systemen, d.h. jene die in bestimmten Betriebsbereichen ohne Fahrer:in operieren, neben der internen Kommunikation von Fahrtverlauf und Position, die externe Kommunikation von Intentionen an externe Verkehrsteilnehmende zunehmend relevanter, um Verkehrssicherheit zu garantieren.

7.1.2 Unterschiede im Bereich der Kommunikation bestehender Systeme (Level 1, 2) mit den Menschen

Bei der Kommunikation bestehender Systeme (Level 1, 2), d.h. bei Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen, werden aktuell unterschiedliche Kommunikationsmittel und Kanäle für die Interaktion der Systeme mit dem:der Lenker:in genutzt. Neben optischen Anzeigen wie Leuchten und Displays verwenden Fahrassistenzsysteme auch akustische Signale oder haptische Vibrationen oder eine Kombination verschiedener Kommunikationsmittel. Die beispielhafte Beschreibung von MMI-Aspekten und Grenzen bei der Adaptive Cruise Control, beim Spurhalteassistent, beim Spurwechselassistent sowie beim Autobahn- und Stauassistent konnte aufzeigen, dass die unterschiedlichen MMI der Systeme und deren Bedienung sehr unterschiedlich und zum Teil komplex sind und verschiedene Systemgrenzen bestehen. Ein Wissen der Nutzer:innen über letztere ist dabei von Relevanz, um eine fehlerhafte Nutzung der Systeme zu reduzieren. Hinsichtlich der Ausgestaltung der Mensch-Maschine Interaktion bei Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen ist vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit vor allem 1) eine verständliche und klare Darstellung des Zustands des Systems für den Lenkenden, 2) die Minimierung von unerwartetem Verhalten des Systems bzw. eine entsprechende Warnung vor bzw. in relevanten Situationen sowie 3) eine gezielte Bereitstellung von Information und Wahl des Kommunikationskanals von Wichtigkeit. Besonders bei Warnungen von Fahrassistenzsystemen wird dabei die bessere Eignung von akustischen Informationen betont, da sie einen weniger belasteten Informationskanal nutzen und zudem gegenüber visuellen Informationen den Vorteil haben, dass sie blickunabhängig sind (vgl. Ewert 2014: 6, Brockmann et al. 2020: 63, Bazilinsky et al. 2018: 83). Visuelle Informationen durch Fahrassistenzsysteme sollten gut und schnell lesbar sein und möglichst im Blickfeld des Lenkers bzw. der Lenker:in zur Straße angezeigt werden. Bedien- und Anzeigedisplays sollten möglichst in der Nähe vom Lenkrad platziert sein, sodass ein Wegschauen von der Fahrtrichtung bzw. Straße und Ablenkung reduziert wird (vgl. Geisler 2021a: 384, KFV 2022: 13). Die Darstellung verschiedener Einschränkungen (z. B. visuell, auditiv, physisch) von Nutzer:innen am

Beispiel der Senior:innen konnte überdies deutlich machen, dass die Möglichkeit, die MMI der Systeme flexibel zu individualisieren (z. B. Einstellung Lautstärke, Kontrast), um den unterschiedlichen Bedürfnissen verschiedener Nutzer:innengruppen gerecht zu werden, unabdingbar sein wird.

7.1.3 Externe Kommunikation bei zukünftigen Systemen (Level 4) und Erkennbarkeit automatisierter Fahrzeuge für externe Verkehrsteilnehmende

Die externe Kommunikation von automatisierten Level-4-Fahrzeugen, also jene die in einem bestimmten Betriebsbereich ohne Fahrer:innen operieren, mit anderen Verkehrsteilnehmenden ist von besonderer Relevanz, um die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden zu garantieren. Hierbei kann grundsätzlich zwischen expliziter Kommunikation, insbesondere durch externe Human-Machine-Interfaces (eHMI), und impliziter Kommunikation, d.h. Kommunikation durch dynamisches Fahrverhalten (z. B. Bremsen, Beschleunigen) unterschieden werden. Vielfach untersucht wurde in vergangenen Forschungsprojekten dabei die explizite Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen mit anderen Verkehrsteilnehmenden über unterschiedliche Arten von eHMI (z. B. textbasierte, symbolbasierte, anchromorphe eHMI). Hierbei wird die Informationsvermittlung mittels abstrakter Lichtsignale gegenüber Texten oder Symbolen vorteilhafter eingestuft und allen voran 360°-LED-Lichtbänder für nicht-adressierte Nachrichten und gerichtete Signalleuchten für adressierte Nachrichten werden dabei als vielversprechendste Technologien für die explizite Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden angesehen (vgl. Deublein 2020: 55). Insgesamt wird aber davon ausgegangen, dass in den meisten Interaktionssituationen bereits eine implizite Kommunikation mittels Fahrverhalten ein ausreichendes Kommunikationsmittel sein kann, um die zugrundeliegende Verkehrssituation zu lösen. Das Ziel sollte daher primär sein, dass ein menschenähnliches, erwartungskonformes, automatisiertes Fahrzeug versucht interaktionsbeanspruchende Situationen und Konflikte zu vermeiden, indem es das Fahrverhalten anhand einer impliziten Kommunikation möglichst frühzeitig (z. B. durch frühes Abbremsen, um Vortritt/Vorfahrt zu gewähren) an die bevorstehende Begegnung zwischen anderen Verkehrsteilnehmenden und Fahrzeugen anpasst (vgl. Deublein 2020: 56). Explizite Kommunikation könnte jedoch in bestimmten Situationen (z. B. Situationen, in denen das automatisierte Fahrzeug bzw. der:die andere Verkehrsteilnehmende hinsichtlich des Fahrens zögern, weil sie sich jeweils nicht sicher sind, ob das Fahrzeug oder ob der andere Verkehrsteilnehmende zuerst fahren wird) zusätzlich hilfreich sein (vgl. Europäische Kommission 2020: 42). Prinzipiell sollten dabei

allenfalls die Intention des Fahrzeugs (nicht jedoch Anweisungen) an andere Verkehrsteilnehmende vermittelt werden. Ob hierzu oben genannte neue eHMI notwendig sind oder allein auf bereits vorhandene Systeme für explizite Kommunikation (z. B. Hupe, Lichtsignale) im Straßenverkehr zurückgegriffen werden soll, ist noch nicht umfassend geklärt. Jedoch besitzen neue eHMIs Einschränkungen hinsichtlich des Einsatzes beispielsweise für Personen mit Sehbehinderungen. Zudem besteht bei vielen gleichzeitigen Signalen durch neue eHMIs (durch zusätzliche Lichter, Projektionen, Geräusche etc.) die Gefahr einer Reizüberflutung und auch die derzeitigen Betriebe mit Level-4-Fahrzeugen in den USA oder China kommen ohne zusätzliche eHMIs zur expliziten Kommunikation aus.

Auch die Notwendigkeit zur Erkennbarkeit bzw. Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge für externe Verkehrsteilnehmende ist eine vieldiskutierte und polarisierende Debatte und unterliegt noch weiterem Forschungsbedarf. Eine Kenntlichmachung von automatisierten Fahrzeugen hätte dabei den Vorteil, dass – ähnlich wie bei der bereits heute gängigen Praxis der Kennzeichnung von Fahrschulfahrzeugen oder Übungsfahrzeugen durch eine blaue Tafel mit weißer Aufschrift „L“ – auf ein potenziell anderes Verhalten des Fahrzeugs hingewiesen würde (vgl. Färber 2015: 142), wobei hierbei noch kaum bekannt ist, inwieweit und ob zwischen den Automatisierungsstufen (z. B. Level 3, Level 4) unterschieden werden sollte. Ein spezifischer Nachweis eines Beitrags einer solchen Kenntlichmachung für die Verkehrssicherheit ist bislang zudem noch nicht vorhanden. Darüber hinaus hängt eine zusätzliche Kenntlichmachung auch davon ab, inwieweit man bereits aus dem physikalischen Design (z. B. Sensorik etc.) heraus erkennen kann, ob es sich um ein automatisiertes Fahrzeug handelt oder nicht (siehe Studie B für eine Übersicht unterschiedlicher Fahrzeug- und Designkonzepte). Speziell für den Einsatz von Level-4-Fahrzeugen, also jenen, die in einem bestimmten Betriebsbereich ohne Fahrer:in operieren und für welche durch die EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 nun erste rechtliche Grundlagen für einen Einsatz bestehen, erscheint zumindest eine Information eines solchen Betriebs insbesondere zu Beginn sinnvoll (z. B. durch Hinweisschilder), um andere Verkehrsteilnehmende über den Betrieb zu informieren bzw. auf den Betrieb dieser Fahrzeuge hinzuweisen – letzteres vor allem stark vor dem Hintergrund der Sensibilisierung der anderen Verkehrsteilnehmer:innen und weniger vor dem Hintergrund der Erhöhung der Verkehrssicherheit.

7.1.4 Verhaltensbezogene Konsequenzen bestehender Systeme (Level 1, 2) und zukünftiger Systeme (Level 3, 4) vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit

Durch die zunehmende Automatisierung und dem stetigen Wandel der Rolle der Fahrer:innen – von bzw. von der Fahrer:in zum bzw. zur Überwacher:in und Passagier:in – sind neben positiven Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit (siehe hierzu auch die Ergebnisse von Studie B und D) auch unerwünschte verhaltensbezogene Konsequenzen mit negativen Wirkungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu erwarten, die es gleichfalls zu berücksichtigen gilt.

Bei den bestehenden Systemen (Level 1, 2) ist dies vor allem das Risiko der potenziellen Ablenkung der Fahrer:innen bei der Bedienung und Verwendung der Systeme sowie eine Abwendung des Blickgeschehens von der Straße zur Interaktion und Überwachung der Systeme. Speziell bei teilautomatisierten Systemen (Level 2), in der:die Fahrer:in das System ständig überwachen muss, entsteht durch die ermüdende Dauerüberwachung der Fahraufgabe (monotone Aufgaben sind generell schwierig für den Menschen zu bewältigen) das Risiko, dass der Mensch im Rahmen der Überwachung der teilautomatisierten Systeme die Fahraufgabe nicht rechtzeitig übernehmen kann, wenn das System an seine Grenzen stößt, wobei dies vor allem dann der Fall ist, wenn falsche Vorstellungen zur Funktionsweise der Systeme vorherrschen (vgl. Anund et al. 2019: 90; Geisler 2021b: 399; Westermeier et al. 2021: 134). Hinzu kommt, dass Fahrassistenzsysteme und teilautomatisierte Systeme – insbesondere aufgrund des Umstands der monotonen Aufgabe der Überwachung von Systemen und damit zusammenhängenden Unterforderung von Menschen – auch die Ablenkung durch Nebentätigkeiten begünstigen können, obwohl der:die Fahrer:in das System eigentlich dauerhaft überwachen muss und weiterhin für die Fahraufgabe verantwortlich ist (vgl. Hungund et al. 2021). Bei zukünftigen Systemen (Level 3, 4) sind verhaltensbezogene Konsequenzen mit negativen Wirkungen auf die Verkehrssicherheit insbesondere die Überforderung des Fahrers bzw. der Fahrer:in (bei der plötzlichen Übernahme), der Verlust von Fertigkeiten sowie riskante Verhaltensmuster bei anderen Verkehrsteilnehmenden bei der Verwendung der Systeme. So kann insbesondere bei Level 3-Systemen die plötzliche Übernahme der Fahraufgabe beim Erreichen der Systemgrenzen zur Überforderung des Fahrers bzw. der Fahrer:in führen. Dabei kann vor allem die Kombination aus dem Zustand geringer Erregung, da der:die Fahrer:in vollständig von der Durchführung der Fahraufgabe entbunden ist und Nebentätigkeiten nachgehen kann, und dem hohen, kurzzeitigen Stress wenn Störungen auftreten oder etwas nicht reibungslos funktioniert etc., bei dem:der Fahrer:in zu Problemen führen, wenn er:sie die Kontrolle

über das zuvor automatisierte System schnell übernehmen soll (vgl. Kühn 2018: 12). Darüber hinaus kann die zunehmende Nutzung von Level 3-Fahrzeugen im automatisierten Fahrmodus sowie Level 4-Fahrzeugen letztlich auch zum potentiellen Verlust an Fahr-Fertigkeiten führen, was dann problematisch ist, wenn der:die Fahrer:in nach einer längeren Zeit der Nutzung von automatisierten Fahrzeugen höherer Stufen wieder der manuellen Ausübung der Fahraufgabe nachgehen muss. Speziell für Level-4 Fahrzeuge besteht zumindest zu Beginn von deren Einführung aufgrund der passiven Fahrweise zudem das Risiko, dass andere Verkehrsteilnehmer:innen, z. B. Zufußgehende, die Straße kurz bzw. sehr knapp vor dem Fahrzeug queren in dem Wissen, dass es stehenbleiben wird, was zu unerwartetem Bremsen des Fahrzeugs und gefährlichen Situationen führen kann (vgl. Tabone et al., 2021).

Letztlich muss sowohl bei bestehenden Systemen als auch zukünftigen Systemen berücksichtigt werden, dass eine weitere verhaltensbezogene Konsequenz prinzipiell auch der falsche Gebrauch oder die Nicht-Nutzung der Systeme darstellt, die sich aus einem mangelnden Verständnis der Systeme (und daraus entstehendem Überschätzen der Systeme oder Misstrauen), Nutzungsbarrieren (z. B. nicht-berücksichtigte Diversitätsdimensionen, schwere Erlernbarkeit, Unverständlichkeit) sowie daraus ergeben kann, dass die Funktionsweise als störend empfunden wird (vgl. Mueller et al., 2021; Carsten & Martens, 2019: 4).

7.2 Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Abgeleitet von den Erkenntnissen der Studie lassen sich im Bereich der Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit Menschen folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

7.2.1 Fahrzeug/Technologie

3. Mensch-Maschine Interaktion intuitiv und einfach gestalten und Teilelemente vereinheitlichen: Grundsätzlich sollte bei der Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion von Seiten der Hersteller noch stärker auf Intuition, Spontanität und Simplizität geachtet werden und die Systeme auf bestehende und bekannte Interaktionskonzepte aufbauen. Hier hilft es auch Nutzer:innen frühzeitig in die Entwicklungsprozesse miteinzubeziehen. Besonders die Mensch-Maschine Interaktion (MMI) und dazugehörige Bedienkonzepte von bestehenden Systemen (Level 1, 2) sind derzeit zum Teil sehr unterschiedlich. Wenngleich eine umfassende Standardisierung

nur schwer erreicht werden kann, könnten jedoch Teilelemente von der MMI vereinheitlicht werden, ohne die Differenzierung der Hersteller allzu stark einzuschränken. Hierzu gehören beispielsweise die Aktivierung der Systeme sowie die Aktivierung und Bedienung von dazugehörigen Infotainmentsystemen oder der Sprachsteuerung (siehe hierzu auch Studie C).

4. Individuelle Anpassungsmöglichkeiten für MMI vorsehen: Um verstärkt unterschiedliche Bedürfnisse verschiedener Nutzer:innengruppen, insbesondere Personen mit Einschränkungen (z. B. Defizite in sensorischen, physischen und kognitiven Fähigkeiten) zu berücksichtigen, sollten Hersteller verstärkt individuelle Anpassungsmöglichkeiten für MMI und Bedien- und Anzeigeelemente von Fahrassistenzsystemen sowie bei automatisierten Fahrzeugen höherer Stufen vorsehen. Schon heute sind in Fahrzeugen Möglichkeiten für spezifische Einstellungsprofile für einzelne Fahrer:innen verfügbar, die zukünftig noch stärker auch die MMI-Komponenten (z. B. Helligkeit und Kontrast des Displays, Lautstärke von Warntönen) umfassen sollten, um Systeme stärker individualisieren und personalisieren zu können und so unterschiedliche Anforderungen und mögliche Einschränkungen der Fahrer:innen zu berücksichtigen. Auch bei zukünftigen Systemen, insbesondere Level-4-Systemen sollte für Passagiere beispielsweise die Möglichkeit vorgesehen werden, dass diese auditive Informationen zusätzlich zur Darstellung visueller Informationen und umgekehrt, aktivieren können. Um die Inklusion von bestehenden Systemen (Level 1, 2) und zukünftigen Systemen (Level 3, 4) zu gewährleisten, sollten also physische und kognitive Einschränkungen aufgrund des Alters oder Behinderungen bereits im Entwicklungsprozess der Systeme mitgedacht werden (z. B. Berücksichtigung möglichst heterogener Gruppe potenzieller Nutzer:innen im Rahmen des Entwicklungsprozesses).
5. Keine Möglichkeit zum Vornehmen von komplexen Einstellungen zu den Systemen während der Fahrt und verstärkte Nutzung und Verbesserung der Sprachsteuerung: Die Bedienung von Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen kann besonders dann ablenkend sein (und so negative Wirkungen auf die Verkehrssicherheit haben), wenn Touch Displays zur Bedienung weiter in der Fahrzeugmitte platziert sind und sich Einstellungen zu den Systemen in Untermenüs befinden und nur über mehrmaliges Auswählen der Menüpunkte vorgenommen werden können. Komplexe Einstellungen zu Fahrassistenzsystemen, teilautomatisierten Systemen aber auch automatisierten Systemen höherer Stufen (insbesondere Level-3-Systemen) per Touchscreen und Blättern in Untermenüs sollten

durch die Hersteller während der Fahrt gänzlich abgeschaltet werden und nicht möglich sein. Zudem sollte die Bedienung und Einstellung von Systemen von den Herstellern stärker über die Sprachsteuerung umgesetzt werden, da so die Augen auf der Straße und die Hände am Lenkrad bleiben können. Von Relevanz ist bei der schon vielfach eingesetzten Sprachsteuerung jedoch dabei, dass die Leistungsfähigkeit der Sprachsteuerung noch weiter optimiert wird (siehe hierzu auch Studie C), beispielsweise indem die zum Teil eingespeicherten Grundbefehle erweitert werden oder die Spracherkennung optimiert wird (vgl. KfV 2022: 13). Hierbei kann die immer stärkere Integration von Apple Carplay und Android Auto (die sich durch eine hochentwickelte Sprachsteuerung auszeichnen) in das Fahrzeug (vgl. Ramnath et al. 2020: 1) zukünftig auch Verbesserungen für die Sprachsteuerung im Zusammenhang mit automatisierten Systemen im Fahrzeug bringen.

6. Berücksichtigung von HMI-Thematiken bei Bewertungen von Rating-Agenturen wie EuroNCAP: Die Ausgestaltung der Mensch-Maschine Interaktion sowie Bedienkonzepte sind bislang bei Bewertungen von Rating-Agenturen wie beispielsweise EuroNCAP noch kaum Thema, vielmehr wird dabei vor allem auf die Wirksamkeit und Funktion der Systeme im Rahmen von Testszenarien geachtet. Zukünftig sollten jedoch verstärkt auch die HMI-Komponenten der Systeme (Anzeigen- und Bedienelemente) und Handhabung im Rahmen der Tests insbesondere auch vor dem Hintergrund des Themas Ablenkung bewertet werden. Zumindest in der zukünftigen Vision von EuroNCAP zur Weiterentwicklung der Bewertung bis 2030 findet dieser Umstand bereits Berücksichtigung (vgl. EuroNCAP 2022: 8).
7. Kopplung von Fahrassistenzsystemen und teilautomatisierten Systemen mit Systemen zur Fahrer:innenüberwachung: Um bei bestehenden Systemen (Level 1, 2) dem Risiko der Ablenkung durch Nebentätigkeiten und einem falschen Gebrauch der Systeme entgegenzuwirken, sollten Fahrassistenzsysteme und insbesondere teilautomatisierte Systeme mit Kamera-basierten Systemen zur Fahrer:innenüberwachung gekoppelt werden. Dabei sollte das teilautomatisierte System deaktiviert werden, wenn erste Warnungen durch das System zur Fahrer:innenüberwachung innerhalb einer bestimmten Zeit ohne Reaktion bleiben (vgl. AAA 2022: 5, Consumer Reports 2020: 7). Auch von Nutzer:innen wird dabei die Kopplung von teilautomatisierten Systemen und Systemen zur Fahrer:innenüberwachung als wichtig erachtet (vgl. Consumer Reports 2022: 5). Die in der im Juli 2022 in Kraft getretenen EU-Verordnung 2019/2144 für neue Fahrzeugtypen bzw. Erstzulassungen aller Kraftfahrzeugklassen

vorgesehenen Warnsysteme bei Müdigkeit und nachlassender Aufmerksamkeit der Fahrer:innen leisten hierzu einen wichtigen Schritt.

7.2.2 Information und Ausbildung

1. Vermittlung von Funktionsumfang, technischen Grenzen und verkehrssicherheitsrelevanten verhaltensbezogenen Konsequenzen: Die Studie konnte aufzeigen, dass es derzeit sehr vielfältige Fahrassistenzsysteme und teilautomatisierte Systeme gibt und die MMI und Bedienkonzepte der Systeme (interne Kommunikation) sehr unterschiedlich sind. Speziell ein mangelndes Verständnis der Nutzer:innen über die Systeme kann dabei zum falschen Gebrauch bzw. Nicht-Gebrauch der Systeme führen und die Wirksamkeit der Systeme mit Blick auf die Verkehrssicherheit einschränken. Zudem ergeben sich bei bestehenden Systemen auch verkehrssicherheitsrelevante, verhaltensbezogene Konsequenzen, wie insbesondere eine Verringerung der Daueraufmerksamkeit sowie Ablenkung und Nebentätigkeiten durch die Verwendung der Systeme. Speziell bei bestehenden Systemen ist dabei die Vermittlung des Funktionsumfangs der Systeme und deren technischen Grenzen, jedoch auch der möglichen verkehrssicherheitsrelevanten, verhaltensbezogenen Konsequenzen durch die Verwendung der Systeme von Relevanz. Gleiches gilt insbesondere auch bei Level-3-Systemen, bei welchen den Nutzer:innen klar sein muss, was das System genau tut und unter welchen Bedingungen es einsetzbar ist bzw. in welchen Bedingungen es möglicherweise zu einer Übernahme auffordern kann und was typische Übernahme-situationen aufgrund der technischen Grenzen sein können, da speziell in diesen Situationen Überforderungen der Fahrer:innen bestehen. Hier sind sowohl die Hersteller in der Pflicht, die – über derzeit vorhandene Bedienungsanleitungen hinaus – bessere Informationen zum Funktionsumfang und den technischen Grenzen der Systeme beispielweise auf ihrer Homepage oder in der Form von Video-Tutorials bereitstellen sollten, jedoch auch die Fahrzeughändler:innen, die Käufer:innen über den Funktionsumfang und Grenzen der Systeme, jedoch auch über die verkehrssicherheitsrelevanten, verhaltensbezogenen Konsequenzen bei der Verwendung der Systeme aufklären müssen. Zusätzlich sollten diese Inhalte sowie in näherer Zukunft auch automatisierte Systeme höherer Stufen (Level 3, 4) auch in der Fahrausbildung thematisiert werden (siehe hierzu auch Studie C).
2. Begleitende Informationsmaßnahmen bei der Einführung von Level-4-Fahrzeugen: Bei der Einführung von Level-4-Fahrzeugen, also jenen, die in einem bestimmten

Betriebsbereich ohne Fahrer:in operieren und für welche durch die EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 nun erste rechtliche Grundlagen für einen Einsatz bestehen, sollten begleitende Informationsmaßnahmen zumindest zu Beginn eines solchen Betriebs umgesetzt werden. Vor dem Hintergrund der Sensibilisierung der anderen Verkehrsteilnehmer:innen können beispielsweise Hinweisschilder auf den Betrieb dieser Fahrzeuge hinweisen und andere Verkehrsteilnehmer:innen darüber informieren. Zudem erscheinen auch Informationsveranstaltungen mit der Bevölkerung im jeweiligen Betriebsgebiet der Fahrzeuge sinnvoll, um über den Betrieb und insbesondere darüber zu informieren, in welchen Bereichen und Zeiten bzw. Bedingungen und im Rahmen welches Anwendungszweckes die Fahrzeuge genutzt werden können. Hierbei sollte auch auf die verkehrssicherheitsrelevante, verhaltensbezogene Konsequenz hingewiesen werden, dass andere Verkehrsteilnehmende nicht die passive Fahrweise automatisierter Fahrzeuge zu ihren Gunsten ausnutzen, da dies zu kritischen Situationen führen kann. In erster Linie sollten vor allem die Betreiber der Level-4-Fahrzeuge im Zuge des Einsatzes zu solchen begleitenden Informationsmaßnahmen verpflichtet werden. Hierzu gehören auch Informationen darüber in welchen Situationen ein:eine Remote-Intervention-Operator:in (der:die laut EU-Durchführungsverordnung 2020/1426 vorgesehen werden muss) eingreifen könnte. Gleichfalls benötigt es durch den fahrer:innenlosen Betrieb in einem bestimmten Betriebsbereich sowohl für Nutzer:innen als auch für Einsatzkräfte Informationen darüber, was im Notfall bzw. im Falle von Unfällen bzw. Zwischenfällen zu tun ist (vgl. Cruise 2021, Waymo 2023).

3. Zielgruppenspezifische Informationsvermittlung: Grundsätzlich relevant bei den Maßnahmen im Bereich der Informationsvermittlung und Ausbildung ist, dass die unterschiedlichen Lenker- und Nutzer:innengruppen berücksichtigt werden müssen, sodass diese zielgruppenspezifisch beispielsweise über die Funktionen und Grenzen der automatisierten Systeme aufgeklärt werden (vgl. Uhr & Schuhmacher 2014: 25, Fröhlich et al. (2020): 31). So benötigen beispielsweise ältere Nutzer:innengruppen niederschwellige Einführungen, die sie an ihrem Wissens- und Kompetenzstand abholen wie z. B. spezielle Schulungen und personalisierte Trainings, die auch Unsicherheiten und Ängste thematisieren (vgl. Fröhlich et al., 2020: 31f).

7.2.3 Forschung

1. Stärkere Interdisziplinarität bei Forschungsprojekten: Speziell aus den Interviews mit den Expert:innen wurde deutlich, dass die Herausforderungen im Bereich der

automatisierten Mobilität gerade auch im Bereich der Interaktion mit Menschen vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit größere interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung notwendig machen. Neben den verschiedenen Fachdisziplinen wie den Ingenieurwissenschaften und den Sozialwissenschaften umfasst dies unter anderem auch die Rechtswissenschaften. Bei Forschungsförderungen im Bereich automatisierter Mobilität und Verkehrssicherheit und speziell im Bereich der Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit Menschen sollte demnach die Interdisziplinarität der Forschungsteams über verschiedene Disziplinen als Anforderung berücksichtigt werden.

Darüber hinaus lässt sich anhand der Ergebnisse der Studie weiterer Forschungsbedarf im Bereich der Interaktion automatisierter Fahrzeuge mit Menschen entlang folgender Aspekte identifizieren:

2. Systeme zur Fahrer:innenüberwachung: Wie bereits erwähnt sollten speziell teilautomatisierte Systeme stärker mit Systemen zur Fahrer:innenüberwachung gekoppelt werden. Bei zukünftigen Level-3-Systemen wie dem sogenannten ALKS-System werden solche Systeme zukünftig eine größere Bedeutung erlangen, da gemäß der UNECE-Regelung 157 bei solchen Systemen ein System zur Fahrer:innenerkennung vorhanden sein muss und in Übernahme-situationen vor allem visuell und zusätzlich akustisch bzw. haptisch warnen muss (vgl. UNECE 2021: 16). Derzeit befinden sich unterschiedliche Systeme zur Fahrer:innenüberwachung am Markt (z. B. indirekte Erkennung über Lenkradbewegungen oder Analyse der Fahrlinien oder direkt durch Kameras, die die Augenlid- und Gesichtsbewegungen monitoren). Erste Studien deuten hierbei auf eine erhöhte Wirksamkeit und Akzeptanz von Systemen zur Fahrer:innenüberwachung mit direkter Erkennung über die Augenlidbewegungen (vgl. Consumer Reports 2022: 5, AAA 2022: 25). Speziell in Anbetracht von Level-3-Systemen mit Systemen zur Fahrer:innenerkennung mit einer unterschiedlichen Ausgestaltung von Warnkonzepten beispielsweise für Übernahme-situationen besteht auch hier weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Wirksamkeit unterschiedlicher Ausgestaltungen von Warn- und Bedienkonzepten der Systeme (insbesondere hinsichtlich Interaktionsdesign, Triggerbedingungen zur Übernahme der Steuerung etc.).
3. Remote-Operation bei Einsatz von Level-4-Fahrzeugen: Speziell beim Einsatz von Level-4-Fahrzeugen, d.h. solche, die in einem bestimmten Betriebsbereich ohne Fahrer:in operieren, gewinnt das Thema Remote-Operation sowohl beim Testen als

auch beim Regelbetrieb zunehmend an Bedeutung. So sind laut EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 für den Einsatz von Level-4-Fahrzeugen im Regelbetrieb solche Remote-Operatoren vorgesehen, die in Notfällen eingreifen können. Dabei werden neben den technischen Details auch die Anforderungen an die HMI im Bereich von Remote Operator:innen und deren Kenntnisse und Kompetenzen relevant, wobei diesbezüglich noch großer Forschungsbedarf herrscht. Hierbei wird es auch um eine intuitiv ausgestaltete Mensch-Maschine Interaktion für die Remote-Operator:innen (Überwachung mehrerer Fahrzeuge) sowie auch zwischen Passagier und Remote-Operator:innen im Rahmen von Interventionsprozessen (dezidiertes Support, z. B. Beseitigung von Störungen oder bei Notfällen) gehen. Zwar gibt es derzeit erste Forschungsprojekte zum Arbeitsplatz-Design von Remote- bzw. Teleoperatoren (vgl. Schäfer 2022) sowie erste Erfahrungen zu Design- und Bedienkonzepten für Remote-Operatoren aus dem derzeitigen Betrieb von Level-4-Fahrzeugen in den USA (vgl. Wang 2022) sowie mit Frankreich auch ein erstes Land, welches bereits ein Décret mit Eignungsbedingungen und Ausbildungspflichten für Remote-Operatoren erlassen hat (vgl. Légifrance 2022). Dennoch besteht in diesem Bereich noch weiterer, umfassender Forschungsbedarf, beispielsweise dahingehend, welche HMI-Aspekte es in der Gestaltung der Systeme unbedingt zu beachten gilt (die EU-Durchführungsverordnung 2022/1426 gibt gemäß Punkt 6.2 hier lediglich die Verwendung von eindeutigen visuellen Zeichen durch die audiovisuelle Schnittstelle für den Kontakt zwischen Passagier und Remote-Operator vor), damit eine hohe Verkehrssicherheit gewährleistet werden kann. Diesbezügliche Forschung kann hier auch mit den österreichischen Testumgebungen (z. B. Digitrans, die sich bereits intensiv mit der Thematik im Logistikbereich auseinandersetzen) erfolgen, wo entsprechende Funktionalitäten getestet werden könnten. Im Zusammenhang mit dem Thema Remote-Operation ist zudem das Thema der Datenverbindung (Sicherheit und Zuverlässigkeit) von Relevanz (siehe hierzu Studie B) – auch hier besteht noch Forschungsbedarf bzw. müssen aktuelle Diskussionen (siehe z. B. UK Law Commission 2023) berücksichtigt werden.

4. Explizite Kommunikation bei Level-4-Fahrzeugen und Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge: Weiterer Forschungsbedarf besteht darüber hinaus hinsichtlich des Themas der expliziten Kommunikation bei Level-4-Fahrzeugen für andere Verkehrsteilnehmer:innen. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass vermutlich in den meisten Situationen, die implizite Kommunikation über das dynamische Fahrverhalten (Beschleunigen und Bremsen) für andere Verkehrsteilnehmer:innen ausreichend ist, um Verkehrssicherheit zu garantieren.

Dennoch könnte beispielsweise im Rahmen von Situationen, in denen es beim derzeitigen Einsatz von Level-4-Fahrzeugen in den USA oder China zu Problemen kommt (siehe hierzu Studie B), untersucht werden, ob diese kritischen Situationen und Unfälle durch explizite Kommunikation (in unterschiedlicher Form) verhindert hätten werden können. Auch hinsichtlich der Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge kristallisierte sich anhand der Studie kein eindeutiges Ergebnis heraus. Hier wäre im Rahmen des Einsatzes von z. B. Level-4-Fahrzeugen empirische Forschung nötig, welche Wirkungen beispielsweise deren Betrieb mit und ohne expliziter Kennzeichnung auf die Verkehrssicherheit hat.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispielhafter Überblick über Fahrassistenzsysteme (FAS) und teilautomatisierte Systeme, ihre Wirkweise und Art des Eingriffs bzw. der Information (eigene Darstellung nach Bengler et al. 2021, Uhr & Schumacher 2014, Smartrider.at 2021)	27
---	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Überblick über den Aufbau der Studie	8
Abbildung 2 Sender-Empfänger-Kommunikationsmodell (Quelle: eigene Darstellung nach Shannon & Weaver 1949 und BAST 2021: 16)	10
Abbildung 3 Wandel von Mensch-Mensch-Interaktion zu einer Mensch-Maschine Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen (Quelle: eigene Darstellung, nach Deublein 2020: 36).....	18
Abbildung 4 Beispiel der verschiedenen Arten von eHMI	48
Abbildung 5 Übersicht verhaltensbezogene Konsequenzen	61
Abbildung 6 Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Erregungszustand von Mensch im Kontext des automatisierten Fahrens (Quelle: Kühn 2018: 12).....	65
Abbildung 7 Beispiele für risikoreiches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beim Betrieb von Level-4-Fahrzeugen von Cruise in San Francisco (Quelle: Vogt 2022a, Vogt 2022b).....	68

Literaturverzeichnis

AAA – American Automobile Association (2022). Effectiveness of Driver-Monitoring-Systems. In: newsroom.aaa.com/wp-content/uploads/2022/01/Driver-Monitoring-Full-Report-February-2022-Final.pdf

ADAC (2020). Wie Assistenzsysteme vor Wildunfällen schützen. In: presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/wie-assistenzsysteme-vor-wildunfaellen-schuetzen.html

Anund, A., Marcos, I. S., Strand, N. (2019). Driving automation and its effects on drivers – a human factor perspective. In: Lu, M. (Hg.). Cooperative Intelligent Transport Systems: Towards high-level automated driving. IET, UK. S. 87-103. In: digital-library.theiet.org/content/books/10.1049/pbtr025e_ch5

BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen (2021). Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern. Bergisch-Gladbach.

Bazilinskyy, P., Petermeijer, S. M., Petrovych, V., Dodou, D., de Winter, J. C. (2018). Take-over requests in highly automated driving: A crowdsourcing survey on auditory, vibrotactile, and visual displays. Transportation research part F 56, S. 82-98.

Bendel, O. (2015). Überlegungen zur Disziplin der Tier-Maschine-Interaktion. In: gbs-schweiz.org/blog/ueberlegungen-zur-disziplin-der-tier-maschine-interaktion/

Bengler, K., Dietmayer, K., Eckstein, L., Stiller, C., Winner, H. (2021). Fahrerassistenzsysteme und Automatisiertes Fahren. In: Pischinger, S. & Seiffert, U. (Hg.). Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, ATZ/MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 1009-1072.

Bmvt – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2018). Aktionspaket Automatisierte Mobilität 2019-2022. Wien. In: bmk.gv.at/dam/jcr:c6bff4ce-45e0-48ae-b415-1afa08849874/automatisiert2019_ua.pdf

Brockmann, M., Schreiber, M., Wingen, S., Immoor, P. (2020). Fahrerassistenzsysteme im Kontext altersgerechter HMI-Gestaltung. In: Proff, H., Brand, M., Schramm, D. (Hg.). Altersgerechte Fahrerassistenzsysteme. Springer Gabler. Wiesbaden. S. 55-78.

Bubb, H. & Bengler, K. (2015). Fahrerassistenz. In: Bubb, H., Bengler K., Grünen, R. E., Vollrath, M. (Hg.). *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 525-582.

Burrige, H., Edwards, S., Guo, A., Luxton-White, C., Mayer, M., Mohammed, S., Philips, D., Sayers, E., Shergold, I., Vaganay, A. (2020). Experiences of Advanced Driver Assistance Systems amongst Older Drivers. An evidence review for the Department of Transport. In: assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/897693/experiences-of-advanced-driver-assistance-systems-amongst-older-drivers.pdf

Carmona, J., Guindel, C., Garcia, F., de la Escalera, A. (2021). ehmi: Review and guidelines for deployment on autonomous vehicles. *Sensors*, 21(9), 2912.

Carsten, O. (2019). The need for commonality in HMI Design for automated vehicles. Presentation at 2nd Annual Automotive HMI and Display Forum, 13–14 November, Berlin, Germany.

Carsten, O. & Martens, M. H. (2019). How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. *Cognition, Technology & Work* 21, S. 3-20. In: link.springer.com/article/10.1007/s10111-018-0484-0

Consumer Reports (2020). Active Driving Assistance Systems: Test Results and Design Recommendations. In: data.consumerreports.org/wp-content/uploads/2020/11/consumer-reports-active-driving-assistance-systems-november-16-2020.pdf

Consumer Reports (2022). Consumer Perceptions of ADAS: Driver Monitoring Systems. In: data.consumerreports.org/wp-content/uploads/2022/05/Consumer-Reports-ADAS-Report-DMS_May122022.pdf

Cruise (2021). Guide to Driverless Testing for First Responders. In: getcruise.com/firstresponders/

Deublein, M. (2020): *Automatisiertes Fahren. Mischverkehr*. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.

Dey, D., Habibovic, A., Löcken, A., Wintersberger, P., Pfleging, B., Riener, A., Martens, M., Terken, J. (2020). Taming the eHMI jungle: A classification taxonomy to guide, compare, and assess the design principles of automated vehicles' external human-machine interfaces. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100174.

Dey, D. & Terken, J. (2017). Pedestrian interaction with vehicles: Roles of explicit and implicit communication. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutoUI)*, Oldenburg, Deutschland. S. 109–113.

Dietrich A., Bengler K., Portouli, E., Nathanael, D., Ruenz, J., Wu, J., Merat, N., Madigan, R., L., Y.M., Markkula, G., Giles, O., Fox, C., Camara, F. (2018). interACT D.2.1 Preliminary description of psychological models on human-human interaction in traffic. In: interact-roadautomation.eu/wp-content/uploads/interACT_WP2_D2.1-PsychologicalModels_v1.0_approved_Uploadwebsite.pdf

Dietrich, A., Bengler, K., Markkula, M., Giles, O., Lee, Y.M., Pekkanen, M., Madigan, R., Merat, M. (2019). Final description of psychological models on human-human and human-automation interaction. Deliverable D2.2.2 of interACT. DLR, Braunschweig, Deutschland. In: interact-roadautomation.eu/wp-content/uploads/interACT_D2.2_Interaction_Models_190902_v1.0_website-3.pdf

Dietrich, A., Boos, A., Bengler, K., Mun Lee, Y., Madigan, R., Merat, N., Weber, F., Tango, F., Avsar, H., Utesch, F., Portouli, E., Nathanael, D. (2020). interACT D.6.2. Evaluation report on on-board user and road users interaction with AVs equipped with the interact technologies. In: interact-roadautomation.eu/wp-content/uploads/interACT_D6_2_v1.0_FinalWebsite.pdf

Dunn, N. J., Dingus, T. A., Soccolich, S., & Horrey, W. J. (2021). Investigating the impact of driving automation systems on distracted driving behaviors. *Accident Analysis & Prevention*, 156, 106152.

Easymile (2020). Safety Report. In: easymile.com/sites/default/files/easymile_safety_report.pdf

Eriksson, A. & Stanton, N.A. (2017). Take-over time in highly automated vehicles: Noncritical transitions to and from manual control. *Human Factors*, 59(4). S. 689-705.

Europäische Kommission (2020). Study on the effects of automation on road user behaviour and performance. In: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6d947c46-140d-11eb-b57e-01aa75ed71a1/language-en

Europäische Kommission (2022). New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. In: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4312

EuroNCAP (2022). EuroNCAP Vision 2030. A Safer Future for Mobility. In: cdn.euroncap.com/media/74190/euro-ncap-vision-2030.pdf

Ewert, U. (2014). Fahrerassistenzsysteme. bfu-Faktenblatt N. 13. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.

Ezzati Amini, R., Katrakazas, C., Riener, A., & Antoniou, C. (2021). Interaction of automated driving systems with pedestrians: challenges, current solutions, and recommendations for eHMIs. *Transport Reviews*, 41(6), S. 788-813.

Färber, B. (2015). Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In: Maurer, M., Gerdes, C. J., Lenz, B., Winner, H. (Hg.). *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer: Heidelberg. S. 127-146. link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-45854-9.pdf

FIS – Forschungsinformationssystem (2020). Technische Systeme als Voraussetzung für automatisiertes und vernetztes Fahren In: forschungsinformationssystem.de/servlet/is/502753/?clsId0=276664&clsId1=276670&clsId2=0&clsId3=0

Fröhlich, P., Sackl, A., Diamond, L., Himmelsbach, J., Garschall, M., & Wurhofer, D. (2020). Anforderungs- und Akzeptanz-Analyse des altersgerechten Automatisierten Fahrens. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). In: a4f.tech-experience.at/wp-content/uploads/2020/10/21.09.2020-A4F-Anforderungs-und-Akzeptanzanalyse-des-Altersgerechten-Automatisierten-Fahrens_FINAL_08102020.pdf

Fuest, T., Sorokin, L., Bellem, H., Bengler, K. (2017). Taxonomy of traffic situations for the interaction between automated vehicles and human road users. In: Stanton, N. A. (Ed.).

Advances in Human Aspects of Transportation. Proceedings of the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham. S. 708-719.

Fürst, S., Scharnhorst, T., Brabetz, L., Beck, M., Lahmeyer, R., Krieger, O., Kasties, G., Pfaff, W., Lachmayer, R., Abel, H.-B., Blume, H.-J., Heyen, G., Schneider, G. (2021). Digitalisierung/Elektrik/Elektronik/Software. In: Pischinger, S. & Seiffert, U. (Hg). Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, ATZ/MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 861-1008.

Geisler, S. (2021a). Von Fahrerinformation über Fahrerassistenz zum autonomen Fahren. In: Reuter, C. (Hg.): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion. 2. Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden. S. 383-403.

Geisler, S. (2021b). Menschliche Aspekte bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. In: Reuter, C. (Hg.): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion. 2. Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden. S. 363-382.

Gonter, M., Knoll, P., Leschke, A., Seiffert, U., Weinert, F. (2021). Fahrzeugsicherheit. In: In: Pischinger, S. & Seiffert, U. (Hg). Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, ATZ/MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg. S. 1073-1160.

Haas, S. M., Mathis. L.-A., Baumann, M. (2020). External HMI for self-driving vehicles: Which information shall be displayed? Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 68, S. 171-186. In: doi.org/10.1016/j.trf.2019.12.009

Hagl, M., & Kouabenan, D. R. (2020). Safe on the road—Does Advanced Driver-Assistance Systems Use affect Road Risk Perception?. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 73, S. 488-498.

He, D., Kanaan, D., Donmez, B. (2022). Distracted when using driving automation: a quantile regression analysis of driver glances considering the effects of road alignment and driving experience. Frontiers in Future Transportation, 3. S. 1-10. In: frontiersin.org/articles/10.3389/ffutr.2022.772910/full

Hilgarter, K., & Granig, P. (2019). Automatisierte Fahrzeuge und die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern. 13. Forschungsforum der österreichischen Fachhochschulen 24-25.April, Wiener Neustadt, Österreich.

Hungund A.P., Pai G., & Pradhan A.K. (2021). Systematic Review of Research on Driver Distraction in the Context of Advanced Driver Assistance Systems. *Transportation Research Record*, 2675(9), S. 756-765.

IAMCV (2022). Interaction of Autonomous and Manually Controlled Vehicles. In: jku.at/intelligent-transport-systems/forschung/geofoerderte-forschungsprojekte/iamcv/

IIHS – Insurance Institute for Highway Safety (2022). Advanced driver assistance. Limitation and drawbacks of advanced technologies. In: iihs.org/topics/advanced-driver-assistance#limitations-and-drawbacks-of-advanced-technologies

Imbsweiler, J. Ruesch, M., Heine, T., Linstedt, K., Weinreuter, H., León, F. P., Deml, B. (2018). Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr. Frühjahrsjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 2018, Frankfurt am Main. In: gfa2018.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/inhalt/B.4.4.pdf

Jaguar land Rover (2018). The virtual eyes have it. In: www.jaguarlandrover.com/2018/virtual-eyes-have-it

KFV – Kuratorium für Verkehrssicherheit (2021). Wildunfälle: Was vor den massiven Unfällen schützt. In: kfv.at/wildunfaelle-was-vor-den-massiven-unfaellen-schuetzt/

KFV – Kuratorium für Verkehrssicherheit (2022). Fahrerassistenzsysteme in Alltagssituationen. Praxistest. Wien. In: kfv.at/download/fahrerassistenzsysteme-in-alltagssituationen-praxistest/?wpdmdl=12675&refresh=623842bae65eb1647854266

Kessels, C. (2021). The eHMI: How Autonomous Cars Will Communicate With the Outside World. In: theturnsignalblog.com/blog/ehmi/

Knoll, K., Hofleitner, B., Feßler, A. K., Hauger, G., Fian, T., Adensam, N., Hohenecker, N., Schlembach, C., Lehmann, T., Sammer, G., Neuhold, R., Benesch, E. (2021). *Automatisierte Mobilität inklusive!* Bundesministerium für Klimaschutz. Wien.

Kühn, M. & Hannawald, L. (2015). Verkehrssicherheit und Potenziale von Fahrerassistenzsystemen. In: Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., Singer, C. (Hg.). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg + Teubner Verlage, Springer Fachmedien, Wiesbaden. S. 55-70. In: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-05734-3_4

Kühn, M. (2018). Erhöht automatisiertes Fahren die Sicherheit? Unfallforschung kompakt N. 78. Unfallforschung der Versicherer. GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. In:

udv.de/resource/blob/74880/8d69b2e12b2e5531daf72aec6474c2be/78-erhoeht-automatisiertes-fahren-die-sicherheit--data.pdf

Lee, Y. M., Madigan, R., Giles, O., Garach-Morcillo, L., Markkula, G., Fox, C., Camara, F., Rothmueller, M. Vendelbo-Larsen, S.A, Rasmussen, P.H. Dietrich, A., Nathanael, D., Portouli, V., Schieben, A., Merat, N. (2021). Road users rarely use explicit communication when interacting in today's traffic: implications for automated vehicles. *Cognition, Technology & Work*, 23, S. 367-380

Légifrance (2022). Arrêté du 2 août 2022 portant application de l'article R. 3152-3 du code des transports relatif à l'habilitation des intervenants à distance dans le cadre des systèmes de transport routier automatisé. In:

legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046151685

Liang, D., Lau, N., Baker, S. A., Antin, J. F. (2020). Examining Senior Drivers' Attitudes Toward Advanced Driver Assistance Systems After Naturalistic Exposure. *Innovation in Aging*, Volume 4 (3). S. 1-12. In:

academic.oup.com/innovateage/article/4/3/igaa017/5859522

Liedecke, C. (2016). Haptische Signale am Fahrerfuß für Aufgaben der Fahrzeugsteuerung. Dissertation. Universität Stuttgart. Springer Vieweg. Wiesbaden. In:

link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-15828-6.pdf

Matschi, H. (2015). Evolution der Interaktion zwischen Mensch und Maschine im Auto. Ganzheitliche Gestaltung eines HMI. All-Electronics. In: all-electronics.de/automotive-transportation/evolution-der-interaktion-zwischen-mensch-und-maschine-im-auto.html

Metz, B., Wörle, J., Hanig, M., Schmitt, M., Lutz, A., & Neukum, A. (2021). Repeated usage of a motorway automated driving function: Automation level and behavioural adaption. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 81, S. 82-100.

Mirnig, A. G., Gärtner, M., Wallner, V., Gafert, M., Braun, H., Fröhlich, P., Sutte, S., Sypniewski, J., Meschtscherjakov, A., Tscheligi, M. (2021, September). Stop or Go? Let me Know! A Field Study on Visual External Communication for Automated Shuttles. In: 13.

International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, S. 287-295.

Morales-Alvarez, W., Sipele, O., Léberon, R., Tadjine, H. H., & Olaverri-Monreal, C. (2020). Automated driving: A literature review of the take over request in conditional automation. *Electronics*, 9 (12), 2087.

Mueller, A. S., Reagan, I. J., Cicchino, J. B. (2021). Addressing Driver Disengagement and Proper System Use: Human Factors Recommendations for Level 2 Driving Automation Design. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 15(1), S. 3-27

Naujoks, F., Höfling, S., Purucker, C., Zeeb, K. (2018). From partial and high automation to manual driving: Relationship between non-driving related tasks, drowsiness and take-over performance, *Accident Analysis and Prevention*, 121, S. 28-42.

Neuhuber, N., Pretto, P., Kubicek, B. (2022). Interaction strategies with advanced driver assistance systems. *Transportation Research Part F*, 88. S. 223-235.

ÖAMTC (2014): ESP und Gangwechselanzeige sind ab 1. November Pflicht für neu zugelassene Fahrzeuge in der EU. In: ots.at/presseaussendung/OTS_20141028_OTS0053/oeamtc-esp-und-gangwechselanzeige-sind-ab-1-november-pflicht-fuer-neu-zugelassene-fahrzeuge-in-der-eu

Oltersdorf, K.M. (2011). Beschreibungssprache für Human-Machine-Interface im Automobil. Möglichkeiten der Entwicklung einer gemeinsamen „Sprache“ für den transdisziplinären Diskurs. Dissertation. Hochschule für Bildende Künste Braunschweig. In: opus.hbk-bs.de/files/87/Oltersdorf_Dissertation_2011.pdf

Österreich.gv.at (2022). Übungsfahrten – Ausstattung des Übungsfahrzeugs. In: oesterreich.gv.at/themen/dokumente_und_recht/fuehrerschein/1/6/Seite.040402.html

Ou, Y. K., Huang, W. X., & Fang, C. W. (2021). Effects of different takeover request interfaces on takeover behavior and performance during conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 162, 106425.

Oudshoorn, M., de Winter, J., Bazilinsky, P., Dodou, D. (2021). Bio-inspired intent communication for automated vehicles. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 80, S. 127-140.

Pimminger, I. (2019). Praxishilfe Barrierefreiheit. Hinweise zur Verbesserung der Zugänglichkeit von Maßnahmen für Menschen mit Behinderungen im Europäischen Sozialfonds. In: [esf-bw.de/esf/fileadmin/user_upload/Foerderperiode_2014-2020/Der ESF FP 2014-2020/Querschnittsziele/Querschnittsziele im ESF/Praxishilfe Barrierefreiheit barrierefrei Aktualisierung.pdf](https://esf-bw.de/esf/fileadmin/user_upload/Foerderperiode_2014-2020/Der_ESF_FP_2014-2020/Querschnittsziele/Querschnittsziele_im_ESF/Praxishilfe_Barrierefreiheit_barrierefrei_Aktualisierung.pdf)

Ramnath, R., Kinnear, N., Chowdhury, S., & Hyatt, T. (2020). Interacting with Android Auto and Apple CarPlay when driving: The effect on driver performance. IAM RoadSmart Published Project Report PPR948. In: grahamfeest.com/wp-content/uploads/2020/03/effect-of-in-vehicle-infotainment-on-driver-performance.pdf

Reif, K. (2010). *Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsystem*. Springer. Wiesbaden.

Risto, M., Emmenegger, C., Vinkhuyzen, E., Cefkin, M., Hollan, J. (2017). Human-vehicle interfaces: The power of vehicle movement gestures in human road user coordination. In: *Proceedings of the ninth international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design*, Manchester Village, Vermont, USA. S. 186–192.

Röhner, J. & Schütz, A. (2016). *Psychologie der Kommunikation. Basiswissen Psychologie*. 2. Auflage. Springer. Wiesbaden. In: link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-10024-7

SAE International (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016_202104. In: sae.org/standards/content/j3016_202104/

Schäfer, P. (2022). DLR forscht am Arbeitsplatz-Design von Teleoperatoren. In: springerprofessional.de/automatisiertes-fahren/unternehmen---institutionen/dlr-forscht-am-arbeitsplatz-design-von-teleoperatoren/20300222

Schieben, A., Wilbrink, M., Kettwich, C., Madigan, R., Louw, T., Merat, N. (2019). Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design

considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), S. 69-85. In: link.springer.com/article/10.1007/s10111-018-0521-z

Schlag B. & Weller G. (2015). Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen. In Winner, H., Hakuli, S., Lotz F. & Singer C. (Hrsg). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3., überarbeitete und ergänzte Auflage) (S.55-71). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Semcon (2018). The Smiling Car concept by Semcon - autonomous car interacting with humans by smiling. In: news.cision.com/semcon/i/the-smiling-car-concept-by-semcon---autonomous-car-interacting-with-humans-by-smiling,c2329635

Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana Champaign: University of Illinois Press

Smartrider.at (2021). Clevere Autos denken mit. In: smartrider.at

Springer, S. Schmidt, C., Schmalfuß, F. (2019). Informationsbedarf von Nutzern konventioneller, vernetzter und automatisierter, vernetzter Fahrzeuge im urbanen Mischverkehr. *Forschung im Ingenieurwesen* 83, S. 875-884. In: link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10010-019-00328-7.pdf

Sullivan, J. M., Flanagan, M. J., Pradhan, A. K., Bao, S. (2016). Literature Review of Behavioral Adaptation to Advanced Driver Assistance Systems. Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety. In: aaafoundation.org/wp-content/uploads/2017/12/BehavioralAdaptationADAS.pdf

Tabone, W., de Winter, J., Ackermann, C., Bärghman, J., Baumann, M., Deb, S., Emmenegger, C., Habibovic, A., Hagenzieker, M., Hancock, P.A., Happee, R., Krems, D., Lee, J.D., Martens, M., Merat, N., Norman, D., Sheridan, T.B., Stanton, N. A. (2021). Vulnerable road users and the coming wave of automated vehicles: Expert perspectives. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 9, 100293.

Uhr, A. (2016). *Automatisiertes Fahren. bfu-Grundlage*. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern. In: konzeptgarage2025.ch/download/bfu_grundlage_automatisiertes_fahren.pdf

Uhr, A. & Schumacher, A. (2014). Informationskonzept und Wissenstransfer Fahrerassistenzsysteme. Bestandesaufnahme und Empfehlungen. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.

UK Law Commission (2023). Remote Driving: Advice to Government. In: s3-eu-west-2.amazonaws.com/lawcom-prod-storage-11jsxou24uy7q/uploads/2023/02/RD-Advice-paper-for-20-02-23.pdf

UNECE (2021). UN-Regelung Nr. 157 — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des automatischen Spurhalteassistenzsystems (ALKS) [2021/389]. In: op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/36fd3041-807a-11eb-9ac9-01aa75ed71a1

Vogelpohl, T., & Vollrath, M. (2016). Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung-Teil 1: Review der Literatur und Studie zu Übernahmezeiten (No. 39).

Vogt, K. (2022a). Twitter Video. In: twitter.com/kvogt/status/1602766709806747648?

Vogt, K. (2022b). Twitter Video. In: twitter.com/kvogt/status/1587189791179034626?

Vollrath, M. (2016). Automatisches Fahren – gut für den Fahrer? bfu-Forum «Selbstfahrende Autos – wird sich die Sicherheit automatisch erhöhen?» – 16.11.2016 – Bern. In: mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/3993/02_2016_vollrath_mark_selbstfahrende_autos_abstract_de.pdf?lm=1480936442

Wang, C. (2022). Remote Assistance. The command center of Cruise`s autonomous vehicles. In: cwang.squarespace.com/remote-assistance

Waymo (2023). First Responders. Waymo Emergency Response Guide and Law Enforcement Interaction Protocol. In: waymo.com/firstresponders/

Weber, F., Sorokin, L., Schmidt, E., Schieben, A., Wilbrink, M., Kettwich, C., Dodiya, J., Oehl, M., Kaup, M., Willrodt, J.-H., Lee, Y.M., Madigan, R., Markkula, G., Romano, R., Merat, N. (2019). interACT D.4.2. Final interaction strategies for the interACT Automated Vehicles. In: interact-roadautomation.eu/wp-

[content/uploads/interACT_WP4_D4.2_Final_Human_Vehicle_Interaction_Strategies_v1.1_uploadWebsiteApproved.pdf](#)

Westermeier, E. Pucher, G., Pfau, N., Stocker, A. (2021). Einfluss teilautomatisierter Fahrfunktionen auf die Verkehrssicherheit – Ergebnisse aus der Fahrstudie „GENDrive“. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 7-2021. Wichmann Verlag. Berlin. S. 124-135. In: [gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/AGIT_2021/537707015.pdf](#)

Wilbrink, M., Schieben, A., Kaump, M., Willrodt, J.-H., Weber, F., Lee, Y. M., Markkula, G., Romano, R., Merat, N. (2018). interACT D.4.1. Preliminary interaction strategies for the interACT Automated Vehicles. In: [interact-roadautomation.eu/wp-content/uploads/interACT_WP4_D4.1_Preliminary_Human_Vehicle_Interaction_Strategies_v1.0_approved_Uploadwebsite.pdf](#)

Winner, H. Hakuli, S., Wolf, G., Singer, C. (2015). Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. Auflage. Vieweg + Teubner Verlage, Springer Fachmedien, Wiesbaden.

Wintersberger, P., & Riener, A. (2016). Trust in technology as a safety aspect in highly automated driving. i-com, 15(3), S. 297-310.

Wintersberger, P., Löcken, A., Frison, A., Riener, A. (2020). Evaluierung von Benutzeranforderungen für die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und ungeschützten Verkehrsteilnehmern. In: Riener, A., Appel, A., Dorner, W., Huber, T., Kolb, J.C., Wagner, H. (Hg.): Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. S. 115-132. In: [link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-59406-3.pdf?pdf=button](#)

Yoon, S. H., Kim, Y. W., & Ji, Y. G. (2019). The effects of takeover request modalities on highly automated car control transitions. Accident Analysis & Prevention, 123, 150-158.

Zahnd, B., Baumberger, R., Perret, F., Morari, M., Bucheli, D., Hohl, C., Elser, M. (2022). Menschen zu Fuss und automatisiertes Fahren / Situationsbeurteilung anhand des automatisierten Einparkassistenten. Zürich. In: [stiftung-praevention.ch/pdfs/Schlussbericht_AutomatisiertesFahren.pdf](#)

Zoox (2018). Method for robotic vehicle communication with an external environment via acoustic beam forming. In: [patents.google.com/patent/US9878664B2/en](#)

Abkürzungen

eHMI	external Human-Machine Interface
FAS	Fahrassistenzsystem
iHMI	internal Human-Machine Interface
MMI	Mensch-Maschine Interaktion
ODD	Operational Design Domain
StVO	Straßenverkehrsordnung

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 1 711 62-655864

road.safety@bmk.gv.at

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)